

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ALTERAÇÕES DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS E DAS FRAÇÕES  
HÚMICAS DE UM NITOSSOLO VERMELHO NA SUCESSÃO MILHETO – SOJA  
EM SEMEADURA DIRETA**

**SANDRO ROBERTO BRANCALIÃO**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da Unesp – Câmpus de Botucatu,  
para obtenção do título de Doutor em  
Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU-SP  
Agosto - 2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ALTERAÇÕES DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS E DAS FRAÇÕES  
HÚMICAS DE UM NITOSSOLO VERMELHO NA SUCESSÃO MILHETO – SOJA  
EM SEMEADURA DIRETA**

**SANDRO ROBERTO BRANCALIÃO**

**Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Helena Moraes**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da Unesp – Câmpus de Botucatu,  
para obtenção do título de Doutor em  
Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU-SP  
Agosto - 2005

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E  
TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO  
UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Brancalião, Sandro Roberto, 1974-

B816a Alterações de propriedades físicas e químicas e das  
frações húmicas de um nitossolo vermelho na sucessão  
milheto-soja em semeadura direta / Sandro Roberto  
Brancalião. - Botucatu : [s.n.], 2005.  
vi, 132 f. : iol., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado) -Universidade Estadual Paulista, Fa-  
culdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2005  
Orientador: Maria Helena Moraes  
Inclui bibliografia.

1. Milheto. 2. Plantio direto. 3. Físico-química do solo.  
4. Matéria orgânica. 5. Cobertura morta. 6. Milheto - Raí-  
zes. 7. Soja. I. Moraes, Maria Helena. II. Universidade  
Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de  
Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas III. Título.

A Deus pela vida e a Nossa Senhora por sempre acreditar

Aos meus pais, Edis e Ilze e para minha irmã Marcela, pelo apoio, doação e sobretudo por acreditarem sempre e muito em mim

Aos meus avós Aníbal e Elzira (*in memoriam*) e Eduardo e Jandira

### ***Agradeço***

Para Poliana, companheira nos momentos bons e difíceis, que saiba o quanto é importante a sua presença na minha vida, pelo incentivo, meu exemplo de profissional e mulher que amo, com carinho,

### ***Dedico***

Ao meus pais frutos da terra, brava terra, história, presente e futuro, que Deus os ilumine sempre. Obrigado por ser seu filho.

A Cristina (*in memorian*)

### ***Ofereço***

Agradecimento especial à professora Maria Helena Moraes, pelo incentivo, apoio e formação nesta trajetória durante a Faculdade de Ciências Agrônômicas.

Aos professores do DPV – Agricultura, em especial a Leandro Borges Lemos, pelo meu direcionamento durante minha caminhada na pós – graduação.

A todos os professores do Departamento de Recursos Naturais - Solos que de alguma forma contribuíram para este trabalho. Aos amigos Carlos Cesar Breda, Ricardo Pupo e Mário Sugizaki, agradecimento pelo aprendizado e incentivo durante essa caminhada.

A todos os professores e funcionários da FCA, pelo incentivo, aprendizado e convívio ao longo desta jornada na Terra dos Bons Ares e das Boas Escolas, em especial a Mauricio Dutra Zanotto, Ciro Antonio Rosolem, Silvio Jose Bicudo, Carlos Alexandre Costa Crusciol, João Nakagawa, Roberto Lyra Villas Boas, Sérgio Freitas e Iraê Guerrini.

Ao técnico Milton Marques, exemplo de profissional e dedicação à experimentação agrícola.

A Roberto Carvalho do Prado (Ciência do Solo), Mariana Ferreira Barbosa, Adilson Pelá, Jose Salvador Simoneti Foloni, Jose Carlos Feltran, Leandro Jose Grava de Godoy, Gustavo Pavan Mateus, Laerte Marques, Rogério Farinelli e Fernando Penariol pela amizade e convívio nestes anos em Botucatu .

A todos do Centro de Solos e Recursos Ambientais (IAC), muito obrigado pelo apoio e compreensão.

A Universidade Estadual Paulista pela minha formação. A CAPES, pela bolsa concedida.

### **Biografia do Autor**

Sandro Roberto Brancalião, natural de Olímpia (SP), filho de Ilze Terezinha Thomazine Brancalião e Edis Moacir Brancalião, nascido a 18 de abril de 1974, formado engenheiro agrônomo em 1999 pela FCAV–UNESP-Jaboticabal, mestre em Agronomia/Agricultura pela FCA-UNESP- Botucatu em 2002 e doutorado defendido em setembro de 2005. Atualmente é pesquisador científico do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais do Instituto Agronômico de Campinas, atuando principalmente na área de manejo de solos e sistema plantio direto.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTA DE TABELAS .....	III
LISTA DE FIGURAS .....	VI
1 RESUMO .....	1
2 SUMMARY .....	3
3 INTRODUÇÃO .....	5
4 REVISÃO DA LITERATURA .....	8
4.1 Milheto, Soja e o Sistema de Semeadura Direta .....	8
4.2 Sistema Radicular .....	14
4.3 Propriedades Químicas do Solo .....	15
4.4 Frações Húmicas da Matéria Orgânica do Solo .....	19
4.5 Propriedades Físicas do Solo.....	22
5 MATERIAL E MÉTODOS .....	28
5.1 Localização e Caracterização da Área Experimental.....	28
5.2 Histórico da Área .....	31
5.3 Delineamento Experimental e Tratamentos .....	32
5.4 Cultura do Milheto (2003) .....	32
5.5 Manejo da Fitomassa para cada Época .....	32
5.6 Sistema Radicular .....	34
5.7 Cultura da Soja (2003-2004) .....	34
5.8 Coleta de Amostras .....	35
5.9 Análises Químicas .....	35
5.9.1 Determinação do índice pH .....	35
5.9.2 Determinação do teor de matéria orgânica do solo .....	36
5.9.3 Determinação dos teores trocáveis de cálcio, magnésio, potássio e capacidade de troca catiônica do solo .....	36
5.10 Fracionamento químico da matéria orgânica do solo .....	37
5.10.1 Descrição do Método .....	37

5.11 Análises Físicas .....	38
5.12 Análises Estatísticas .....	39
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	40
6.1 Cultura do Milheto .....	40
6.1.1 Massa de matéria seca do milheto .....	40
6.1.2 Cobertura do solo .....	43
6.1.3 Sistema radicular do milheto .....	45
6.1.3.1 Comprimento radicular .....	45
6.1.3.2 Área de superfície radicular (AS) .....	49
6.1.3.3 Diâmetro médio radicular (Dm) .....	51
6.2 Propriedades Químicas .....	54
6.2.1 Índice pH .....	54
6.2.2 Teor de matéria orgânica do solo .....	58
6.2.3 Carbono orgânico total .....	61
6.2.4 Bases trocáveis (Ca, Mg e K) .....	64
6.2.5 Capacidade de troca catiônica .....	73
6.3 Fracionamento Químico da Matéria Orgânica do Solo .....	76
6.3.1 Carbono ligado aos ácidos húmicos (C-AH) .....	77
6.3.2 Carbono ligado aos ácidos fúlvicos (C-AF) .....	79
6.3.3 Carbono ligado a fração humina .....	80
6.4 Propriedades Físicas .....	85
6.4.1 Densidade do solo .....	85
6.4.2 Porosidade total, macroporosidade e microporosidade .....	88
6.4.3 Grau de flocculação .....	94
6.4.4 Estabilidade de agregados .....	97
6.4.5 Resistência à penetração .....	100
6.5 Cultura da Soja .....	104
6.5.1 Altura final de plantas e produtividade da soja .....	104
7 CONCLUSÕES .....	110
8 LITERATURA CITADA .....	112



## LISTA DE TABELAS

	<b>Página</b>
1 Análises químicas do solo realizadas antes da instalação do SSD (fevereiro-1999) .....	29
2 Análises físicas do solo realizadas antes da instalação do SSD (fevereiro-1999) .....	29
3 Análises químicas do solo realizadas no segundo ano do SSD (outubro-2000) .....	30
4 Análises físicas do solo realizadas segundo ano do SSD (outubro-2000) .....	30
5 Dados pluviométricos mensais (mm) na Fazenda Experimental Lageado para o período de janeiro de 2003 a maio de 2004 .....	31
6 Cronograma de manejo da cultura do milho .....	33
7 Análise de variância da quantidade de matéria seca total e porcentagem de cobertura do solo pelo milho em função de épocas e manejos .....	41
8 Quantidade de massa de matéria seca total do milho em função da época de semeadura e do manejo da fitomassa .....	41
9 Cobertura do solo (%) em função da época de semeadura e do manejo da fitomassa do milho.....	43
10 Análise de variância do comprimento radicular do milho (cm) em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa .....	45
11 Interação E x M para os valores de comprimento radicular em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho .....	47
12 Análise de variância área de superfície radicular do milho (cm) em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa .....	49
13 Interação E x M para os valores de área de superfície radicular (cm <sup>2</sup> ) em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho .....	50
14 Análise de variância do diâmetro médio radicular do milho (cm) em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa .....	52
15 Interação E x M para os valores de diâmetro médio radicular (cm) em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho .....	53
16 Análise de variância para os valores do índice pH do solo em função da época de semeadura e do manejo da fitomassa do milho .....	55
17 Interação E x M para os valores do índice pH do solo em função de épocas de	

semeadura e manejos da fitomassa do milho	57
18 Resultados da análise de variância para os teores de matéria orgânica do solo em função da época de semeadura e do manejo da fitomassa do milho	58
19 Interação E x M para os teores de matéria orgânica do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	59
20 Resultados da análise de variância para os teores de carbono orgânico do solo em função da época de semeadura e do manejo da fitomassa do milho	61
21 Interação E x M para os teores de carbono orgânico (Corg) do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	63
22 Resultados da análise de variância para os teores de cálcio do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	64
23 Interação E x M para os teores de cálcio do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	65
24 Resultados da análise de variância para os teores de magnésio do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	67
25 Interação E x M para os teores de magnésio do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	69
26 Resultados da análise de variância para os teores de potássio do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	70
27 Interação E x M para os teores de potássio do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	71
28 Resultados da análise de variância para os valores de capacidade de troca catiônica do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	74
29 Interação E x M para os valores de capacidade de troca catiônica do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	75
30 Resultados da análise de variância para as frações húmicas em função da época e do manejo do milho	76
31 Interação E x M para o ácido húmico (C-AH) em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	76
32 Interação E x M para os teores de ácido fúlvico (C-AF) do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	77
33 Interação E x M para os teores de humina (HU) do solo em função de épocas de	

semeadura e manejos da fitomassa do milho	79
34 Resultados da análise de variância para a densidade do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	81
35 Interação E x M para os valores de densidade do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	86
36 Resultados da análise de variância para os valores de porosidade total do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	88
37 Interação E x M para os teores de porosidade total do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	89
38 Resultados da análise de variância para os valores de macroporosidade do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	90
39 Interação E x M para os valores de macroporosidade do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	91
40 Resultados da análise de variância para os valores de microporosidade do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	92
41 Interação E x M para os valores de microporosidade do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	93
42 Resultados da análise de variância para os valores do grau de flocculação do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	95
43 Interação E x M para os valores de grau de flocculação do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	96
44 Resultados da análise de variância para o índice DMP na agregação do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	97
45 Interação E x M para os valores do índice DMP na agregação do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	99
46 Análise de variância para os valores de resistência a penetração do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	100
47 Interação E x M para os valores de resistência a penetração do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho	101
48 Análise de variância da produtividade e altura de plantas da cultura da soja	104
49 Resultados da produtividade e de altura de plantas da cultura da soja, em semeadura direta, sob diferentes épocas e manejos da cultura do milho no outono-inverno	105

**LISTA DE FIGURAS**

	<b>Página</b>
1 Quantidade total de massa de matéria seca produzida pelo milho em função da época de semeadura e do manejo da fitomassa.....	42
2 Teor de matéria orgânica do solo (MOS) e do carbono orgânico (CO) para os sistemas de manejo nas épocas de semeadura E <sub>1</sub> (a) e E <sub>3</sub> (b) na camada de 0-0,05 m.....	62
3 Porcentagem das frações húmicas do solo na camada de 0-0,05 m, em função da época de semeadura e do manejo da fitomassa do milho .....	83
4 Porcentagem das frações húmicas do solo na camada de 0,05-0,10 m, em função da época de semeadura e do manejo da fitomassa do milho .....	83
5 Teor de carbono das frações húmicas ácido húmico (AH), ácido fúlvico (AF) e húmica (HU) do solo para a época de semeadura do milho E <sub>1</sub> .....	84
6 Produtividade da soja em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho .....	106

## 1 RESUMO

O experimento, conduzido em Nitossolo Vermelho distroférico, na Fazenda Experimental Lageado-FCA-UNESP-Botucatu, teve por objetivo estudar no sistema de semeadura direta as prováveis alterações das propriedades físicas e químicas e das frações húmicas do solo, através da utilização da cultura do milho em pré-safra a cultura da soja, em três épocas de semeadura e sob cinco manejos da fitomassa. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram representadas por três épocas de semeadura da cultura do milho ( $E_1$ ,  $E_2$  e  $E_3$ ). As subparcelas foram representadas por manejos da ceifa da fitomassa, sendo: Manejo 1 ( $M_1$ ) - ceifa a cada florescimento e retirada da fitomassa; manejo 2 ( $M_2$ ) - ceifa a cada florescimento e permanência da fitomassa; manejo 3 ( $M_3$ ) - ceifa no florescimento e retirada da fitomassa; manejo 4 ( $M_4$ ) - ceifa no florescimento e permanência da fitomassa e manejo 5 ( $M_5$ ) - livre crescimento. Foram coletadas amostras de solo com estrutura deformada e indeformada para a realização das análises físicas e químicas. Tanto para a análise física quanto para a química, as mesmas profundidades foram amostradas: 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. Para o fracionamento químico da matéria orgânica, amostrou-se de 0-0,05 e 0,05-0,10 m. Em relação

as culturas avaliou-se a altura de plantas e a produtividade da soja e para o milho, o seu sistema radicular, a quantidade de massa seca produzida pela parte aérea e a porcentagem de fitomassa em cobertura deixada sobre o solo. A produtividade de massa de matéria seca foi maior na primeira época de semeadura, excetuando-se o M<sub>3</sub> para a segunda época e do M<sub>2</sub> para a terceira época de semeadura. A segunda época de semeadura proporcionou maior fitomassa em cobertura. O comprimento radicular do milho foi maior para as épocas E<sub>2</sub> e E<sub>3</sub> na superfície e o M<sub>4</sub> mostrou maior diâmetro médio radicular entre 0,20-0,40 m. As épocas E<sub>1</sub> e E<sub>3</sub> apresentaram menor acidez ativa (índice pH) na camada de 0-0,05 m. Quanto mais antecipada a época de semeadura maior foi o acúmulo de matéria orgânica e consequentemente de carbono orgânico no solo, na camada de 0-0,05 m e o M<sub>4</sub> da terceira época incrementou o teor de matéria orgânica do solo. Na camada superficial do solo o teor de bases trocáveis foi maior nas épocas E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub>. A capacidade de troca catiônica do solo foi maior na E<sub>1</sub> nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10 m. As frações ácido húmico e ácido fúlvico foram maiores no tratamento E<sub>1</sub>M<sub>2</sub> (com ceifa a cada florescimento), com adição contínua de fitomassa em cobertura. A densidade do solo, a microporosidade e a resistência a penetração mostraram valores maiores, e a porosidade total, macroporosidade e diâmetro médio ponderado dos agregados valores menores na E<sub>3</sub>. A altura final de plantas de soja decresceu da E<sub>3</sub>, para a E<sub>2</sub> e para a E<sub>1</sub>. A macroporosidade do solo e a produtividade da cultura da soja resultaram em interação positiva no tratamento E<sub>2</sub>M<sub>4</sub>.

CHANGES OF THE PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES AND THE HUMIC FRACTIONS OF A “NITOSSOLO VERMELHO” IN THE MILLET – SOYBEAN SUCCESSION UNDER A NO-TILLAGE SYSTEM

SP. Botucatu, 2005. 132p. Tese (Doutorado em Agronomia – Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: SANDRO ROBERTO BRANCALIÃO

Adviser: Maria Helena Moraes

## 2 SUMMARY

This work was carried out at Lageado Experimental Station – FCA – Unesp – Botucatu, from October 2001 until April 2004, consisting in a millet – soybean succession, in a no-tillage system, at three sowing, and the aim was evaluate the physicals and chemicals and humics fractions of a “Nitossolo Vermelho Distroférico”. The experimental design used was randomized blocks, in a split-plot schedule with four replications, having the sowing ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ) as parcel and harvest handling as subparcel. Where the harvest handling were 1 ( $H_1$ ) – harvest each blooming and covering withdrawal; 2 ( $H_2$ ) – harvest each blooming and covering permanency; 3 ( $H_3$ ) – only in the first harvest on blooming and covering withdrawal;  $H_4$  - only in the first harvest on blooming and covering permanency, and  $H_5$  – free growing, with no harvest. Disturbed and undisturbed samples were collected from four soil layers (0-0,05, 0,05-0,10 and 0,10-0,20 m) to evaluate the physical and chemical properties. The physical parameters measured were: bulk density, total porosity, macroporosity, microporosity, total clay, disperse clay, flocculation degree, aggregation stability (dry sieving) and penetration resistance (Compact Test); the chemicals was: pH, organic mater, exchangele basis (Ca, Mg, K), cationic exchangeable capacity (CEC) and the quantification of the humic fractions (C-AH, C-AF and C-HU) All the parameters were performed on Department of Natural Research’s (Soil Science-FCA), in different depths 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. About the humic fractions were analysed only 0-0,05 e 0,05-0,10 m. The pearl millet matter drought mass productivity decreased in the order  $S_1 > S_2 > S_3$ . The soil cover provided by fitomassa of milheto was larger in the  $S_2 > S_2$  and  $S_3$  and in the  $H_4$  (with only fitomassa cut and permanence). The  $S_2$  and  $S_3$  showed larger length radicular in the layers of 0-0.05 and 0.05-0.10 m and the  $H_4$  (with only fitomassa cut and permanence) larger average diameter radicular between 0.20-0.40 m. The times  $S_1$  and  $H_4$  resulted smaller active acidity

(index pH) in the layer of 0-0.05 m. The improvement of the soil organic matter amount was at early sowing in the layer of 0-0.05 m and the treatment S<sub>3</sub>H<sub>4</sub> showed larger soil organic matter content. In the soil superficial layer the exchangeable bases content was larger in the times S<sub>1</sub> and S<sub>2</sub>. The soil exchange capacity was larger in the E<sub>1</sub> in the layers of 0-0.05 and 0.05-0,10 m. The acid humic and fulvic fractions were larger in the treatment S<sub>1</sub>H<sub>2</sub> (with harvest to each bloom) The soil density, microporosity and the penetration resistance showed values larger, and the total porosity, macroporosity and aggregate diameter pondered showed smaller values in the S<sub>3</sub>. The height of soybean plants decreased from S<sub>3</sub>, to S<sub>2</sub> and to S<sub>1</sub>. Soil macroporosity and the soybean productivity resulted in positive interaction in the treatment S<sub>2</sub>H<sub>4</sub>.

---

Keywords: no-tillage, millet, sowing, humic fractions, physical and chemical properties, cover crops, root.



### 3 INTRODUÇÃO

O sistema de semeadura direta (SSD) tem sido uma das melhores alternativas para a manutenção da sustentabilidade dos recursos naturais e na utilização agrícola dos solos tropicais, onde o acúmulo de matéria orgânica normalmente faz-se em velocidade bem menor do que em regiões de clima temperado.

Por apresentar benefício ambiental amplo, é possível que o SSD seja a contribuição mais importante que a agricultura está proporcionando em termos de adequação e validação de tecnologia, paralelamente à causa ambiental, tendo em vista que, neste sistema de cultivo, não havendo remoção de partículas do solo, há menor perda de fertilizantes e agroquímicos, o que se traduz em menor poluição de águas superficiais (WIETHÖLTER et al., 1998).

A expansão do SSD fez-se de forma incisiva na década de 90, embora no Brasil existam registros acerca de aproximadamente 35 anos, fato este ocorrido inicialmente no Rio Grande do Sul. Entretanto, houve grande difusão por agricultores e pesquisadores do Paraná, significando melhorias e incrementos na conservação do solo e potencial produtivo de lavouras graníferas destas regiões. Hoje, a área agrícola de semeadura direta perfaz um total de cinquenta milhões de hectares, o que demonstra as perspectivas e realidade observadas, principalmente na região do cerrado.

A cultura da soja (*Glycine Max L. Merrihl*) tem grande importância econômica como *comoditie* e contribui para alavancar o crescimento da agricultura no país, desde que medidas conservacionistas sejam executadas e um plano de manejo adotado. Parte da resolução de alguns problemas é dependente do plano de rotação de culturas, partindo-se daí a necessidade de se conhecer uma sucessão específica para melhorar as inferências que possam ser feitas a respeito de culturas antecedentes e subseqüentes no SSD.

A associação de sistemas de sucessão ou rotação de culturas com elevado aporte de resíduos favorece o acúmulo de grande quantidade de carbono orgânico, tornando-o um importante dreno de CO<sub>2</sub> da atmosfera, no que se refere à mitigação do efeito estufa. Dentro deste conceito, torna-se relevante a participação do milheto, tendo em vista a utilização da soja, que é uma cultura de grande importância econômica, no esquema de sucessão de culturas.

A introdução de plantas de cobertura com resistência a seca, como o milheto (*Pennisetum americanum*, *P. typhoideum* e *Pennisetum glaucum* (L.) Leek), dentre outras é viável, pois estas propiciam a manutenção de resíduos culturais, além de diminuir a amplitude térmica e conservar melhor a umidade do solo, já que este é um fator determinante na redução da erosão hídrica, pois ela dissipa a energia cinética das gotas da chuva exatamente à superfície do solo. A cobertura do solo justifica-se ainda como a barreira física ao livre escoamento superficial, diminuindo a velocidade e, assim, sua capacidade erosiva e desagregadora, diminuindo o selamento superficial das partículas do solo.

A morfologia do sistema radicular e suas interações com a cobertura e propriedades do solo podem ajudar a explicar o comportamento do milheto em sucessão com a soja, que vem crescendo sobremaneira em nosso país. Desta forma, torna-se necessário o estudo de combinações com sucessão de culturas que melhor estabeleçam variações de exploração do perfil, dado a alternância de culturas com sistema radicular diferenciado, que satisfaçam as exigências climáticas dentro do contexto do inverno seco. É notório que este aspecto é calcado no que se sabe sobre os períodos de umedecimento e secamento do solo, que auxiliam na formação de agregados e conseqüente melhoria da estrutura.

Devido às particularidades do manejo do SSD e as relações com a estabilização do mesmo, o fracionamento da matéria orgânica permite inferir com relação à qualidade da matéria orgânica e seu potencial de acúmulo, tendo em vista que a melhoria de

algumas propriedades físicas do solo, além da possível neutralização da acidez são aspectos importantíssimos diante do manejo adequado do solo.

O sistema de semeadura direta é a melhor alternativa para reverter à situação de degradação gerada pelo cultivo convencional. Desde que seja adotado de modo correto, apresenta vantagens sobre os sistemas que revolvem o solo. Como vantagens, o sistema de semeadura direta diminui a erosão, melhora os níveis de fertilidade do solo, mantém ou aumenta os teores de matéria orgânica, proporciona redução dos custos de produção, já que é notória a menor economia de combustível, em razão da ausência das operações de preparo, permitindo a melhor racionalização no uso de máquinas, implementos e equipamentos, possibilitando que as diferentes culturas sejam implantadas nas épocas indicadas e, finalmente, proporciona estabilidade na produção e melhoria de vida do produtor rural e da sociedade.

O objetivo do presente trabalho foi verificar a influência de diferentes épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho nas propriedades químicas e físicas de um Nitossolo Vermelho e na produtividade da soja.

## **4 REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.1 Milheto, Soja e o Sistema de Semeadura Direta**

O milheto é uma boa opção de cultivo no inverno, no Mato Grosso do Sul, fornecendo quantidade razoável de palha, que permite sucesso na semeadura direta da cultura posterior (SALTON & KICHEL, 1997). De acordo com os autores, o milheto, planta anual da família das gramíneas, de clima tropical, apresenta crescimento ereto com porte alto, podendo atingir até 4 ou 5 m de altura quando cultivado no verão. Na “safrinha” admite-se 1,50-1,80 m. Tem como centro de origem as savanas africanas e apresenta capacidade de produzir grãos em condições extremamente secas e em solos de baixa e média fertilidade; todavia, tem boa resposta a adubações em solos com maior quantidade de cargas e com boa disponibilidade hídrica. O ciclo da planta é de aproximadamente 130 dias. A produção de sementes varia entre 500 e 1.500 kg.ha<sup>-1</sup> e as variedades cultivadas atualmente são a Comum, BN-1, BN-2 e BRS-1501, ADR-300, ADR-500.

Todavia, quando semeado no início do outono, o milheto é altamente responsivo em função dos cortes a que pode ser submetido, haja vista sua sensibilidade ao

fotoperíodo de outono e inverno, além de se observar um mínimo de 30 mm para germinação. Desta forma, pode ser uma boa opção como planta de cobertura de outono-inverno, embora a época recomendada para o milheto seja o verão. Com sua utilização na safrinha, por ser planta de dia curto, sofre o estímulo do fotoperíodo de outono inverno, ou seja, do aumento das horas de escuro e via de regra floresce precocemente em torno de 50 dias. Temperaturas mais altas e precipitação oportuna também favorecem a planta.

Para a Embrapa-Norte (MEDEIROS, 2005), em estudos sobre forrageiras, a produtividade de massa seca, num contexto de três experimentos em diferentes áreas, abrangendo dentre outras plantas, o milheto BN-2 e o ‘braquiarião’ (*Brachiaria brizantha sp.*), ambos plantados nos primeiros dias de maio, após 45 dias, resultaram, respectivamente, em 4,2 e 6 toneladas de massa seca por hectare.

Lemos et al. (2003), estudando a influência de épocas e manejos do milheto na cultura da soja, constataram que quanto maior a quantidade de fitomassa em cobertura (palha restante sobre o solo), maior a produtividade na primeira quinzena de março, ou seja, na primeira época de semeadura e na terceira época, sendo estes resultados verificados para o ano agrícola 1999/2000 em Botucatu (SP).

Para Sodré Filho et al. (2004), em sistema de plantio direto, o milheto resultou em 7 Mg ha<sup>-1</sup> de massa seca. Pode-se explicar este fato a maior luminosidade da região do cerrado.

Além da indiscutível elevada produção de fitomassa, Cordeiro & Souza (1999) constataram que a cobertura vegetal morta do milheto influenciou positivamente algumas características agronômicas da soja e, em especial, na produtividade de grãos, sendo que o tratamento com vegetação espontânea não foi eficiente na melhoria de nenhuma variável analisada. Os mesmos pesquisadores que trabalharam com o milheto, ressaltaram a importância e a eficiência da rotação de culturas. Entretanto, pode-se elencar algumas combinações de rotação de culturas: aveia - milheto - soja: seqüência boa para produção de soja, devido à reciclagem de nutrientes; aveia - soja - nabo forrageiro – milho: para se obter bons rendimentos de soja e milho devido a excelentes efeitos na reciclagem de nutrientes K e N para o milho, sendo também boa opção para formação de cobertura morta; aveia - soja – trigo: maiores rendimentos de soja e trigo.

De acordo com Rosolem et al. (2003) o milheto é cultivado em épocas

com deficiência hídrica, o que pode afetar a absorção de potássio, além do que, o seu uso é comumente empregado na chamada “safrinha”, após a colheita da soja ou milho, aproveitando a umidade residual das últimas chuvas do verão, ou no final de setembro, antecedendo a cultura da soja, quando as chuvas são antecipadas (EMBRAPA, 1997). Salton & Hernani (1994) observaram em Bonito (MS), que o milheto africano acumula na parte aérea cerca de 377 kg ha<sup>-1</sup> de K, sendo bastante exigente deste nutriente quando comparado ao milho (196 kg ha<sup>-1</sup> de K), como relatado por Bül (1993). Em anos secos, a resposta à aplicação de potássio é maior, indicando estreita correlação entre o conteúdo de água no solo, a difusão de potássio e a absorção de nutrientes pelas plantas (GRIMME, 1990).

No sistema de semeadura direta, no qual o milheto vem sendo cultivado, pode ocorrer maior concentração de potássio disponível nas camadas superficiais dos solos, principalmente nas linhas de semeadura da cultura anterior, que mesmo sem adubação localizada de potássio, apresenta maior concentração desse nutriente próximo às plantas do que nas entrelinhas, o que é explicado pela reciclagem da parte aérea, concentrando-se no solo (KLEPKER & ANGHINONI, 1995).

A semeadura direta não deve ser vista apenas como um procedimento de cultivo em solo não-revolvido e protegido por resíduos vegetais de culturas anteriores. Atualmente, o conceito de semeadura direta assume a visão integrada de um sistema. Assim, o SSD envolve a combinação de práticas culturais ou biológicas, tais como: (1) o uso de produtos químicos e, ou, práticas mecânicas no manejo de culturas destinadas a adubação verde para a formação de cobertura do solo, mediante a manutenção dos resíduos culturais na sua superfície; (2) a combinação de espécies com exigências nutricionais, produção de fitomassa e sistema radicular diferenciados, visando constituir uma rotação de culturas; e (3) a adoção de métodos integrados de controle de plantas daninhas, mediante a cobertura do solo e herbicidas específicos (SÁ, 1998), além do que, é notória a necessidade de alternarem-se moléculas de herbicidas pós-emergentes durante a estabilização do sistema de semeadura direta.

A cobertura vegetal é a defesa natural de um solo contra a erosão. A proteção pela fitomassa pode ser assim enumerada: (a) proteção direta contra o impacto da gota de chuva; (b) dispersão de água, interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo;

(c) decomposição das raízes das plantas que, formando canalículos no solo, aumentam a infiltração de água; (d) melhoria da estrutura do solo por adição de matéria orgânica, aumentando assim sua capacidade de retenção de água; (d) diminuição da velocidade de escoamento do deflúvio pelo aumento do atrito na superfície (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

Almeida & Rodrigues (1985) relataram que devido à presença de palha e à maior estabilidade da estrutura dos solos em plantio direto, após a ocorrência das chuvas, os tratores podem entrar antecipadamente no campo para preparar o solo, fazer tratamentos fitossanitários, aplicações de herbicidas e adubações de cobertura em épocas mais oportunas, além de favorecer o melhor planejamento agrícola anual.

Devido ao não revolvimento do solo, a manutenção dos resíduos culturais na superfície no SSD promove condições distintas. A ausência de mobilização leva a uma decomposição mais lenta e gradual do material orgânico, tendo como consequência alterações químicas, físicas e biológicas do solo que irão repercutir na produtividade e na fertilidade das culturas (HOLTZ & SÁ, 1995)

No início da década de 80, constatou-se que o clima influi diretamente na constante decomposição dos resíduos orgânicos, o que está de acordo com a lei de Vant' Hoff, em que a cada aumento de 10°C na temperatura, a reação é aumentada de duas a três vezes. Desta forma, embora a produção vegetal seja elevada, a taxa de decomposição também é elevada (ANDERSON, 1982). O mesmo autor verificou que não havia diferença na natureza química da matéria orgânica do solo das regiões tropicais, subtropicais e temperadas, mas sim que a diferenciação é evidenciada na taxa de decomposição do material orgânico entre essas regiões.

De acordo com Gonçalves (2003), em região de inverno seco, a manutenção de 6 t ha<sup>-1</sup> de massa seca é muito difícil devido a baixa produtividade alcançada nos meses mais frios e secos. A decomposição dos resíduos, bem como a sua manutenção é dependente de fatores edafoclimáticos, que variam de região para região.

Em estudos de persistência de resíduos vegetais em SSD, realizados em Santa Catarina por Bertol et al.(1998), houve redução de 80% de massa produzida com redução de 60% na cobertura. Em Botucatu, pode existir, dependendo do ano agrícola, uma redução de 60% na massa seca e 40% na cobertura do solo, num período de 180 dias para a

cultura do milho (GONÇALVES, 2003).

A quantidade de carbono orgânico efetivamente adicionado ao solo depende, principalmente, da quantidade de resíduos adicionada e da facilidade de decomposição desses resíduos. Desta forma, há dependência entre o plano de manejo executado (rotação/sucessão) nas culturas, além da adição de matéria seca da parte aérea e da cobertura morta. Segundo Derpsch et al. (1985) e Da Ros & Aita (1996), não se deve sempre considerar que grande parte do carbono orgânico adicionado ao solo seja sempre devido a decomposição das raízes de plantas de cobertura e raízes comerciais.

O uso de cobertura vegetal na proteção dos solos tem sido objeto de estudo, freqüentemente em regiões de clima tropical e subtropical, de vários pesquisadores. Dentre eles, Dechen et al. (1981), Castro et al. (1986), Dedeczek et al. (1986), Silva et al. (1986), Lopes et al. (1987), Lombardini Neto et al. (1988), Pereira (1990) e Derpsch & Calegari (1992) obtiveram resultados variáveis em função da persistência de palha e seu efeito na cobertura do solo, bem como na estabilização do sistema adotado e dificuldades no incremento da matéria orgânica.

Dentre as diversas plantas de cobertura, o milheto apresenta características favoráveis à reciclagem de nutrientes (SALTON & HERNANI, 1994), pois esta planta do mesmo gênero que o capim elefante, pode, com menos de 60 dias, alcançar cerca de 5 t.ha<sup>-1</sup> de massa seca. Entretanto, adapta-se bem às condições de inverno seco, promovendo cobertura para a superfície, com conseqüente benefício quanto às propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Ayanaba, 1986 avaliando oito culturas de cobertura na África Ocidental, com relação ao acúmulo de massa seca verificou uma contribuição de 6,7 t ha<sup>-1</sup> por parte do milheto.

O milheto ainda é a espécie vegetal mais utilizada para cobertura do solo no Estado do Mato Grosso. Esta espécie é semeada no outono, após a colheita da soja, ou na primavera, em seqüência ao algodoeiro; posteriormente, é feita a semeadura da soja ou do algodoeiro sobre a palhada do milheto. Nas condições dos nossos solos tropicais, o maior desafio é a produção e manutenção da cobertura do solo por resíduos vegetais e para isso é necessário conhecer os detalhes referentes às espécies e também as condições edafoclimáticas locais, assim como os objetivos pretendidos (LAMAS & STAUT, 2005).



Lamas & Staut (2005) encontraram uma porcentagem de cobertura remanescente para o milheto, por ocasião da colheita do algodão, de 68%, no Centro Oeste, sendo maior a produção de matéria seca pelo milheto quando semeado na primavera, chegando a valores em Sorriso (MT) de  $9,7 \text{ t ha}^{-1}$ , enquanto que em Primavera do Leste (MT) obtiveram  $7,8 \text{ t ha}^{-1}$ . Já no outono, a produtividade de massa de matéria seca foi  $6,15$  e  $4,7 \text{ t ha}^{-1}$ , respectivamente, para as duas cidades. A braquiária, por sua vez, produziu mais de  $10 \text{ t ha}^{-1}$ , proporcionando uma fitomassa em cobertura em torno de 93%.

Lamas & Staut (2005) salientaram que, independentemente do local, quando a semeadura foi realizada no período da primavera, poucas foram as espécies estudadas que produziram mais de  $5 \text{ t ha}^{-1}$  de massa de matéria seca. Quando a semeadura foi realizada no outono, a produção de matéria seca foi superior a  $5 \text{ t ha}^{-1}$ , sendo que de acordo com Hernani & Salton (2001), uma produção superior a esse patamar é considerado boa produção em termos quantitativos. Sobretudo, pode-se afirmar que além de uma ideal uniformização da palha, a quantidade de palha é importante tanto em termos de proteção do solo, como no que se refere ao controle de plantas indesejáveis (OLIVEIRA et al., 2001).

Na região de Botucatu (SP), em um Nitossolo Vermelho, a 14 anos em SSD os valores de massa seca de cobertura vegetal variaram de  $2,1 \text{ t ha}^{-1}$  para tremoço branco (*Lupinus albus*), em SSC até  $5,1 \text{ t ha}^{-1}$  verificado para o milheto, cultivado em sistema de semeadura direta (GONÇALVES, 1999). Nestas mesmas condições, todavia, semeada no verão, a crotalaria juncea produziu  $11.759 \text{ kg ha}^{-1}$  (SANTOS et al., 1999).

Alvarenga et al. (2001), estudando épocas de semeadura e adequação de plantas de cobertura, citam que a habilidade de uma determinada espécie crescer em ambiente menos favorável é fator decisivo, uma vez que as culturas comerciais são estabelecidas nas épocas mais propícias.

A escolha da planta adequada para incrementar a porcentagem de solo coberto tem íntima relação com a adaptação climática. Para as regiões sudoeste do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, que apresentam inverno úmido, as culturas mais utilizadas são trigo, aveia e ervilhaca. Na regiões sudeste e Centro-Oeste do Brasil, que apresentam inverno seco, o desenvolvimento das culturas de outono-inverno fica na dependência da condição climática (TIRITAN, 2001).

Amado et al.(1987), estudando metodo de interpretação de solo

coberto por parte de leguminosas e gramíneas no inverno, obtiveram menos de 50% de solo coberto por gramíneas com consideráveis aportes de carbono orgânico.

## 4.2 Sistema Radicular

Os produtos da fotossíntese translocados para o solo são transportados pelo tecido radicular vivo, exsudatos e diversos constituintes orgânicos derivados das raízes em crescimento, raízes mortas e pelos radiculares, microorganismos rizosféricos e seus subprodutos (BALESDENT & BALABANE, 1992).

Rheinheimer et al. (2000) relataram que a continuidade do sistema de semeadura direta por vários anos, favorece a formação de canalículos e atividade da biota do solo, além da possibilidade do crescimento das raízes das plantas por esses orifícios, o que pode ser explicado pela atuação da rizosfera, o que permite a disponibilidade dos elementos no percurso das raízes, sem que isso represente aumento da fertilidade quando avaliada como um todo no solo.

O solo é o espaço físico onde ocorre o crescimento radicular. Nesse espaço, entre raiz e solo, duas forças se opõem: a pressão radicular gerada por mecanismos biofísicos da planta e impedância mecânica ou resistência à penetração do solo causada pela força que existe entre os sólidos e solução do solo. Quando a pressão radicular vence, a raiz cresce (LIBARDI & VAN LIER, 1999).

Por outro lado, quando a planta não consegue produzir suficiente pressão radicular, a raiz não se desenvolve. De acordo com Sá & Petrere (1995) a qualidade física de um solo influencia diretamente o crescimento das raízes, mas o estabelecimento de parâmetros ótimos de distribuição do sistema radicular de uma cultura, em determinadas condições de ambiente de cultivo, é de difícil fixação, uma vez que sofre influência, além dos aspectos fisiológicos, das interações que ocorrem entre o solo, as plantas e os outros organismos.

Vários autores determinaram limites que possam restringir ou impedir o desenvolvimento das raízes no solo, os quais variam de 1 a 3,5 MPa (CANARACHE, 1990; MEROTTO & MUNDSTOCK, 1999).

Dexter (1987), estudando impedância mecânica do solo e limitação ao

crescimento radicular de algumas culturas, obteve para algodão 0,72, milho 1,3, tomate 1,48, amendoim 1,91 e ervilha 2,03 MPa (Mega Pascal).

Rosolem et al. (1994b) determinaram índices de 1,4 MPa para a cultura do milho, enquanto que para a cultura da soja este valor ficou em 0,69 MPa (Rosolem et al., 1994a). Em contrapartida, Ehlers et al. (1983) relataram valores maiores que 5,0 MPa para o crescimento de raízes de aveia, em trabalho realizado a campo.

As raízes têm a capacidade de penetrar em pontos de menor resistência, resultantes de canais pré-existentes de raízes mortas que constituem os bioporos, que são importantes para melhorar o movimento da água e a difusão de gases no perfil do solo, o que resulta em melhores condições de crescimento radicular (WANG et al., 1986).

O sistema radicular da maioria das espécies é formado por raízes de diferentes diâmetros e por isso tem maior ou menor facilidade em desenvolver-se no solo. Ao se deformarem elasticamente, as raízes finas encontrariam menor resistência que as raízes grossas, que aparentemente têm menor elasticidade e maior plasticidade. As raízes são flexíveis, suas pontas têm pequeno diâmetro e podem apresentar movimentos que facilitam o seu desenvolvimento. Além de serem lubrificadas, podem alterar a direção, para ultrapassar obstáculos, como agregados ou estruturas mais adensadas, através de canais e fendas (TORRES & SARAIVA, 1999).

Unger & Kaspar (1994) destacaram que nem todas as partes de um sistema radicular são igualmente expostas à compactação sob condições de campo, devido ao crescimento nas regiões não impedidas. Neste sentido, a redução no comprimento das raízes na camada compactada pode ser compensada pelo crescimento nas regiões não compactadas do perfil do solo (KIRKEGAARD et al., 1992).

### **4.3 Propriedades Químicas do Solo**

Os restos culturais que retornam ao solo são uma importante fonte de matéria orgânica e contribuem para a formação de uma estrutura estável, ajudando a manter a fertilidade em níveis mais elevados, bem como protegendo o solo contra a erosão (ROBERTSON & MOKMA, 1978).

O conteúdo da matéria orgânica dos solos é definido, em primeira

instância, pelo clima e pela vegetação, sendo também influenciado por outros fatores como relevo, material de origem do solo, tipo e duração da exploração agrícola (VARADACHARI & GROSH, 1984).

Durante a decomposição da matéria orgânica no solo, os nutrientes são colocados gradualmente em liberdade, tornando-se aproveitáveis pelas plantas. A medida que a matéria orgânica se decompõe, formam-se quantidades consideráveis de gás carbônico que se dissolvem na solução do solo, juntamente com ácidos, ajudando a solubilizar os minerais que contém os nutrientes para as plantas.

A transformação dos resíduos é constituída de duas etapas: uma física (desintegração) e outra química (decomposição). A primeira diz respeito à quebra mecânica dos resíduos promovida principalmente pela mesofauna, e na última os resíduos são primeiramente decompostos em suas unidades estruturais básicas por enzimas extracelulares, sendo depois absorvidas e oxidadas pelos microorganismos, a fim de obterem energia para o seu desenvolvimento, com conseqüente produção de biomassa. Assim, o húmus é o produto final da decomposição da matéria orgânica, que pode ter origem de resíduos orgânicos animais ou vegetais, exsudados radiculares, organismos e substâncias orgânicas lavadas das folhas (PEIXOTO, 2000).

De acordo com Miyazawa et al. (1996) o provável mecanismo de lixiviação de cálcio em áreas de cultivo sem preparo do solo está relacionado à formação de complexos orgânicos hidrossolúveis presentes nos restos das plantas. Na camada superficial do solo, os ligantes orgânicos complexam o cálcio trocável do solo, formando um composto estável ou com carga negativa, o que facilita sua mobilidade no solo. Na camada subsuperficial, o cálcio dos complexos Ca-Orgânico é deslocado pelo alumínio trocável do solo, porque os íons  $Al^{3+}$  formam complexos mais estáveis que  $Ca^{2+}$ , diminuindo a acidez trocável e aumentando o cálcio trocável. Para o magnésio as reações são semelhantes.

Franchini et al. (1999) relataram que o manejo de solos ácidos com resíduos vegetais que apresentem teores elevados de cátions e de carbono orgânico solúvel é uma importante estratégia para melhoria da fertilidade de solos ácidos e conseqüente aumento do volume de solo explorado pelas raízes, aumentando o potencial produtivo destes solos.

Peixoto (2000) realizou estudos sobre acúmulo de matéria orgânica do solo em Ponta Grossa – PR, num experimento de perdas do solo e água em áreas com 16 anos

de Semeadura Direta (SD), Grade Aradora (GA), Cultivo Convencional (CC) e área de Floresta Secundária (FS), num Latossolo Vermelho Escuro distrófico, textura argilosa, empregando sistema de rotação envolvendo milho/aveia preta/soja/trigo/soja/aveia preta+ervilhaca. Observou-se que para os tratamentos onde houve incorporação da matéria orgânica do solo, os resultados foram semelhantes no que tange à distribuição de matéria orgânica nas camadas do solo. Para o sistema de semeadura direta assemelharam-se com a situação de floresta secundária, que é um processo natural. Notou-se que a principal diferença de manejo do solo quanto ao acúmulo de C está nos primeiros 5 cm, e que quanto menos intensificado é o processo de revolvimento, maior será o acúmulo de matéria orgânica.

Pavan (1997) relatou que a eficácia das plantas de cobertura possibilita a correção da acidez do solo por processos organo-químicos no sistema semeadura direta, graças ao papel desempenhado na dinâmica de íons, onde os ácidos orgânicos hidrossolúveis e de baixo peso molecular, oriundos da decomposição dos resíduos vegetais, promovem a ciclagem de elementos químicos no solo. Nos experimentos desenvolvidos, o uso de aveia preta, centeio e nabo forrageiro, em sistemas de rotação de culturas sob semeadura direta, permitiram a ciclagem de íons, reduzindo as perdas de cálcio por lixiviação, aumentando a retenção de potássio e imobilizando o alumínio tóxico em solos ácidos. Em tais circunstâncias, o uso de plantas de cobertura eficientes na ciclagem de nutrientes constitui importante medida coadjuvante para melhorar as condições de fertilidade, sem a necessidade de recorrer-se aos processos mecânicos-químicos de manejo do solo.

De Maria & Castro (1993), estudando a influência de sistemas de preparo do solo, de sucessão e rotação de culturas nos teores de fósforo, potássio e matéria orgânica, em um Latossolo Vermelho eutroférico, não observaram diferenças significativas nos teores de matéria orgânica na camada arável e atribuíram este fato às condições climáticas da região, com verão quente e úmido, além do inverno seco, condições estas que contribuem para a rápida mineralização da matéria orgânica.

Em relação aos nutrientes, a maior parte do nitrogênio, do fósforo e enxofre, encontra-se no solo e no húmus. Sobremaneira, os cátions trocáveis, potássio, cálcio e magnésio, estão preponderantemente na palhada, sendo que o milheto proporciona dois terços do potássio, que está fracamente ligado às células vegetais, sendo prontamente solúvel em água e necessitando tão somente de transformações físicas para sua disponibilização no solo;

além do mais, o restante do potássio encontra-se nos restos vegetais anteriores (SALTON & KICHEL, 1998).

A CTC é uma característica do solo de grande significado para a agricultura, pois é devido a esta propriedade que os solos retêm cátions como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  e outros em menor quantidade, evitando que sejam lixiviados, ao mesmo tempo em que os mantêm em disponibilidade para as plantas.

Também em Latossolo Vermelho eutroférico, localizado na região sul do país, sendo o inverno mais úmido, foram encontrados valores variando de 14 a 70 % a respeito da contribuição da matéria orgânica na CTC (SANTOS FILHO, 1985). Este mesmo autor concluiu que as maiores contribuições da matéria orgânica ocorrem em solos arenosos. Já em solos argilosos com minerais secundários de alta atividade (como por exemplo, o Nitossolo Vermelho), os reflexos na CTC não ultrapassaram 20%. Por outro lado, sabe-se que a maioria dos solos brasileiros encontra-se com elevado estágio de intemperismo, apresentando na sua porção mineral a predominância de argilominerais com baixa CTC, que por sua vez é influenciada pela CTC da fração orgânica.

A intensidade do revolvimento do solo e de incorporação dos resíduos culturais promove modificações nos teores de matéria orgânica, na capacidade de troca de cátions, no índice pH e na dinâmica de íons do solo, sendo que tais modificações tornam-se mais evidentes conforme aumenta o tempo de uso da área (TOGNON et al., 1997; DE MARIA et al., 1999).

As plantas absorvem altas quantidades de potássio e, por isso, na maioria das espécies, observa-se alto teor nos restos culturais superficialmente, no sistema de semeadura direta, uma vez que a lixiviação do elemento na palha é bastante facilitada, pois não está ligado a moléculas estáveis dentro das plantas (WIETHÖLTER et al., 1998).

Em relação ao potássio no material vegetal, uma proporção significativa do nutriente fica adsorvida à matéria orgânica, outra parte na espécie vegetal em crescimento, além das formas trocável, não trocável e estrutural (ROSOLEM et al., 1993). O mesmo autor comentou que o potássio na solução do solo está prontamente disponível, dependendo da CTC do solo e da quantidade de potássio trocável. Sendo assim, o equilíbrio é rapidamente estabelecido e uma menor quantidade do elemento é lixiviada.

O que pode interferir também, além da quantidade de matéria orgânica,

é a qualidade em que ela se encontra no solo. Segundo Canellas et al. (1999), citado por Santos & Camargo (1999), as substâncias húmicas podem se ligar à fração mineral do solo através de cátions polivalentes.

#### **4.4 Frações Húmicas da Matéria Orgânica do Solo**

O termo matéria orgânica do solo representa os compostos orgânicos do solo, exceto tecidos de animais e plantas não decompostos (material orgânico) e a biomassa do solo. A matéria orgânica do solo é frequentemente dividida em substâncias húmicas e não húmicas. As substâncias húmicas são os componentes não identificáveis, de alta massa molecular, de cor variando de amarela a preta, formada por reações de síntese secundária. As substâncias não-húmicas são formadas por constituintes orgânicos, como polissacarídeos, proteínas, açúcares e aminoácidos (STEVENSON, 1994).

O termo húmus é, algumas vezes, usado como sinônimo das substâncias húmicas. Embora muitos pesquisadores, durante muito tempo, tenham tentado separar as substâncias húmicas em componentes específicos, nenhuma técnica de separação conseguiu isolar as diferentes frações húmicas, mas apenas diminuir os graus de heterogeneidade dos compostos (Kiehl, 1985).

Tendo em vista essa dificuldade, as substâncias húmicas foram, durante muitos anos, fracionadas com base em características de solubilidade, sendo as frações: ácido húmico (AH), ácido fúlvico (AF) e humina (HU), definidas como:

AH: fração insolúvel em água em  $\text{pH} < 2$ , mas solúvel em pHs maiores;

AF: fração solúvel em água em qualquer valor de pH;

HU: fração insolúvel em água em qualquer valor de pH.

As substâncias húmicas são o produto final da decomposição e síntese de reações de condensação e polimerização dos materiais orgânicos, sendo estas estruturas complexas com moléculas com participação de nitrogênio e enxofre, além de configurações amorfas, sendo que por unidade de massa é o componente do solo mais quimicamente ativo (FRIMMEL & CHRISTMAN, 1988). Entretanto, estas substâncias representam a fração mais

estável da matéria orgânica do solo, tratando-se do principal reservatório de carbono e nutrientes.

Longo (1982) observou que a determinação quantitativa do carbono orgânico não é suficiente para avaliar a importância da matéria orgânica sobre o comportamento dos solos. Desta forma, a caracterização da fração orgânica é essencial ao melhor entendimento dos aspectos qualitativos desses solos. Admite-se que as frações húmicas da matéria orgânica são: ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas. Entre elas, os ácidos fúlvicos apresentam baixo peso molecular, maior conteúdo de oxigênio e uma acidez consideravelmente maior, devido aos grupos carboxílicos em maior quantidade. A fração humina possui maior grau de polimerização e menor acidez trocável. Os ácidos húmicos apresentam características intermediárias, contudo mais próximas dos ácidos fúlvicos (STEVENSON, 1985).

Os grupos ácidos reativos se distribuem por toda a macromolécula; dessa forma, a ligação com cátions polivalentes pode ocorrer com diferentes partículas de argila simultaneamente. Como resultado há aumento da agregação das partículas do solo, podendo dificultar a dispersão (PICCOLO & MBAGWU, 1994).

Segundo Kiehl (1985) em relação ao solo, as propriedades físico-químicas de maior importância neste estudo são a adsorção de íons, a capacidade de troca catiônica e as relacionadas à superfície específica. Em 1850, na Inglaterra, preparou-se uma solução de húmus, fazendo-a passar através de uma porção de solo contido em um funil, constatando-se que o húmus apresentava a propriedade de retenção de cátions. Passando-se posteriormente uma solução amoniacal pelo carvão ativado há também uma retenção de amônia, porém de natureza química, denominada absorção; nos colóides argila e húmus o fenômeno é diferente, pois há uma retenção físico-química denominada adsorção. Quando partículas coloidais são submetidas à ação de campos elétricos (eletroforese), ocorre migração para determinado pólo; se a solução coloidal for escura, torna-se mais opaca do lado de um dos pólos e mais transparente do lado oposto, vindo a confirmar que partículas coloidais são carregadas eletricamente e podem ter carga positiva ou negativa. Se a carga da partícula é positiva, ela caminha para o pólo negativo ou catódico, e tem-se a cataforese; se a carga é negativa, a partícula desloca-se para o pólo positivo, e tem-se a anaforese. Argila e húmus são dois colóides eletronegativos, pois, suspensos em um líquido e sob a ação de uma força



eletromagnética, caminham para o pólo positivo. A adsorção é um fenômeno físico-químico, havendo uma retenção eletrostática do catiônio e não uma absorção química que consiste na penetração de um fluído nos interstícios de uma massa, aí permanecendo por capilaridade, contra ou a favor a um gradiente de concentração.

O húmus deve sua capacidade de adsorção principalmente aos grupos carboxílicos e fenólicos. A elevada capacidade de adsorção do húmus em relação a caulinita, argila que ocorre na maioria dos solos brasileiros, se deve à sua grande superfície específica, ou seja, à sua área de exposição por unidade de massa, expressa em metros quadrados por grama de material (KIEHL, 1985).

A matéria orgânica eleva a superfície específica do solo. A superfície específica do solo ou de seus componentes, como o húmus, é definida como sendo a área em metros quadrados por unidade de massa ( $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ ) contida no material coloidal. Um grama de húmus tem uma superfície de exposição que, somada, resulta em uma área de  $700 \text{ m}^2$ . Enquanto a caulinita tem de 5 a  $10 \text{ m}^2/\text{g}$  de superfície específica, o húmus tem  $700 \text{ m}^2/\text{g}$ , ou seja, 70 vezes mais área de exposição, o que significa que cada 1% da matéria orgânica coloidal existente no solo aumenta sua superfície específica em  $7 \text{ m}^2/\text{g}$ . Quanto maior a superfície específica do colóide do solo, maior sua capacidade de retenção e seu poder de fornecer nutrientes para as plantas. A capacidade de troca catiônica da matéria orgânica e conseqüentemente, do solo, eleva-se com o aumento da superfície específica, crescendo, também, a capacidade de adsorção de nutrientes e a de fornecimento destes às plantas. O aumento da superfície específica dos solos, proporcionada pelas adubações orgânicas continuadas, pode elevar a capacidade de retenção de água (KIEHL, 1985).

A matéria orgânica humificada contribui para o solo ácido ficar com um pH mais favorável às plantas. As reações do solo podem ser ácidas, neutras ou alcalinas. Sendo o pH definido como o logaritmo da recíproca da atividade do íon hidrogênio, em mols por litro, uma solução  $0,003 \text{ M}$  de hidrogênio tem pH 3,0, pois, escrevendo-se a concentração de hidrogênio com expoente 10, o pH correspondente será o índice do termo exponencial sem o sinal negativo;  $0,003 \text{ M}$  igual a  $10^{-3}$ . Compreende-se, então, que o pH 4,0 é dez vezes mais ácido do que o pH 5,0; o pH 3,0 é cem vezes mais ácido do que o pH 5,0, e assim sucessivamente. Antigamente, pensava-se que a acidez do solo era devida à presença dos ácidos orgânicos da matéria orgânica; hoje se sabe que a matéria orgânica, quando decomposta

em condições aeróbias, tem reação alcalina, pelos humatos alcalinos que forma, concorrendo para elevar o pH, pelo menos temporariamente. A acidez do solo ocorre devido à remoção das suas bases pelas plantas ou pelas águas das chuvas, cujos prótons de hidrogênio tomam os lugares, por troca, do Ca, Mg, K,  $\text{NH}_4$ , Na e outras bases retidas nas argilas e na matéria orgânica. Quando o acúmulo de hidrogênio chega a certa concentração dá-se a alteração da argila existente no solo, liberando Al; portanto, a acidez do solo é devida ao  $\text{H}^+$  e principalmente, ao  $\text{Al}^{+3}$ ; em certos solos, a presença de excesso de manganês tem sido a causa principal de acidez (KIEHL, 1985).

Parra (1986), Nascimento (1989) e Correia et al. (1990), descrevendo algumas práticas de manejo e discorrendo sobre a dinâmica das substâncias húmicas em função da sua variabilidade diante dessas próprias práticas, verificaram maiores valores da fração fúlvica no solo sob semeadura convencional, comparativamente à semeadura direta.

A mobilização do solo pelas práticas de preparo primário (aração e gradagem pesada) e secundário (gradagem niveladora) favorece a mineralização da matéria orgânica com a conseqüente formação de moléculas de baixo peso molecular, sendo que estas podem favorecer a dispersão de partículas de argila com possíveis incrementos na densidade do solo (OADES, 1984).

A fração humina é considerada por vários autores como sendo a mais estável, com efeito coloidal mais forte e com maiores valores quando é realizado seu fracionamento (SANTOS, 2000). Rice (2001) descreveu quimicamente a humina como sendo uma fração com uma significante natureza alifática, atribuída aos lipídios que compreendem uma porção significante dos componentes orgânicos. Outros pesquisadores como Somani & Saxena (1982), tratam esta fração como lignoproteína. No entanto, Litchfouse (1999) propôs que os componentes alifáticos estão oclusos dentro de outros componentes orgânicos da humina, estando covalentemente ligados, o que explica sua maior persistência nos solos.

#### **4.5 Propriedades Físicas do Solo**

O crescimento contínuo da população mundial induz alta demanda para produção de alimentos, que depende do desenvolvimento da agricultura, normalmente associado com o aumento da produtividade das culturas. Geralmente, métodos inadequados de

manejo dos solos são responsáveis pela degradação da matéria orgânica do solo. Conseqüentemente, a degradação das propriedades física, química e biológica reflete na maior perda de solo, poluição ambiental e diminuição do potencial produtivo do próprio solo (ANDERSON & COLEMAN, 1985).

As propriedades físicas de um solo são modificadas de acordo com as características do uso e manejo a que o mesmo é submetido. Algumas mudanças ocorrem num período curto de tempo ou mesmo numa simples prática de preparo; outras, apenas com um manejo contínuo serão visíveis ou mensuráveis. Assim, se as relações de massa e volume do solo na camada arável variam a cada revolvimento, os processos de deterioração da estrutura são mais demorados (VIEIRA, 1981).

Relatos de literatura têm mostrado, de forma invariável, reduções no estado de agregação do solo devidas à utilização de sistemas de cultivos intensamente mecanizados (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990 e PALMEIRA et al. 1999). Além disso, um período maior com o solo descoberto pode causar diminuição na agregação e, conseqüentemente, no grau de estruturação do solo.

Segundo Baldissera et al. (1985) as raízes das monocotiledôneas podem agir direta ou indiretamente sobre a estrutura do solo. Diretamente, através de pressões exercidas pelas raízes em crescimento, aproximando as partículas do solo e de forma indireta, pela desidratação do solo, provocando efeito de secamento e contração localizados, e pela produção de secreções radiculares com ação cimentante de agregados, o que acarreta uma maior aproximação das partículas do solo.

As raízes atuam na primeira fase da formação dos agregados do solo, durante o crescimento, aproximando partículas minerais pela pressão exercida nos seus avanços através do espaço poroso do solo, extração de água e liberação de substâncias orgânicas para rizosfera. Esta atuação simultânea de aproximação de partículas minerais e liberação de substâncias orgânicas no mesmo local, provavelmente, é a ação mais importante das raízes sobre a microagregação do solo e proteção da matéria orgânica (HAYNES E FRANCIS, 1993).

Em estudos dessa natureza, Tisdall & Oades (1979), Kay (1990), Paladini & Mielniczuk (1991), Silva (1993), Campos et al. (1999), Streck (1999), Volk (2002) e Cogo & Streck (2003) observaram que a estabilidade de agregados tende a aumentar em

plantas que produzem elevada massa de raízes, variando com a espécie vegetal na diferença que existe entre a morfologia e distribuição do volume de raízes.

Sidiras et al. (1985) comparando o sistema de semeadura direta com o preparo convencional (aração e duas gradagens), concluíram que na semeadura direta, ainda que recente, praticamente não houve diferença na densidade do solo na profundidade de 0-0,25 m.

O aumento da densidade do solo implica em uma redução da macroporosidade, o que afeta a troca normal de gases do ar do solo, e também a taxa de oxigênio em nível radicular (PRIMAVESI, 1985).

Albuquerque et al. (2001) não verificaram diferenças entre tratamentos em um experimento realizado com sistema plantio direto em Nitossolo Vermelho, no entanto, o valor médio de densidade foi menor de 0-0,05 m do que de 0,10-0,15 m.

Para Secco et al. (2004) a escarificação do solo em área manejada por oito anos sob sistema plantio direto não propiciou incremento no rendimento de grãos de soja, bem como alterações físicas que justificassem manejar diferentemente o sistema.

Quando comparadas entre si, diferentes plantas de cobertura utilizadas na entressafra da soja, em sistema de semeadura direta, não propiciaram grandes diferenças nas propriedades físicas do solo, segundo Santos & Reis (1990), Santos et al. (1994), Albuquerque et al. (1995), Santos et al. (1997) e Silva & Mielniczuk (1997a). Deve-se levar também em consideração as condições climáticas e os diferentes tipos de solos estudados por estes autores.

Segundo FREITAS (1999) o solo, após alguns anos sob semeadura direta, sofre uma acomodação natural de suas partículas e microagregados, mantendo condições razoáveis de porosidade e de aeração.

A macroporosidade do solo, ou seja, a porosidade livre de água, pode ser o indicador mais adequado, por estar isento de fatores externos como a água, ou mesmo, a fatores inerentes às suas partículas sólidas, como sua densidade (CAMARGO & ALLEONI, 1997). Derpsch et al. (1991) relataram que o volume de poros tem um comportamento similar ao da densidade do solo, sendo maior o volume total de poros em preparo convencional quando comparado ao plantio direto.

Soane & Pidgeon (1975) explicaram que em plantio direto há uma

estabilidade de canalículos ocupados por raízes e minhocas, principalmente na direção vertical, o que em parte compensa o menor volume de macroporos. Embora apresente maior quantidade de macroporos na camada superficial, o sistema de semeadura convencional apresenta como desvantagem camadas compactadas abaixo da camada arável, formando “cicatrices de preparo”.

Reichert et al. (1993) relataram que o aumento nos teores de matéria orgânica do solo sob semeadura direta pode contribuir para a estabilidade dos agregados do solo.

Tormena et al. (1998) verificaram que em sistema de semeadura direta, nos tratamentos com melhor manejo da cobertura do solo, ocorreu uma recuperação da estrutura do solo, atribuída à atuação do sistema radicular da aveia, que antecedeu o cultivo da soja, e aos ciclos de secagem e umedecimento intensificados com a demanda hídrica das plantas, a melhor agregação e, conseqüentemente, o aumento na porosidade total e a redução na densidade do solo.

A estrutura do solo é mais bem caracterizada por uma combinação de características e propriedades físicas do solo, não existindo uma variável simples que a represente em termos quantitativos (SANCHES, 1976). A estabilidade e a distribuição relativa do tamanho dos agregados e de poros do solo são variáveis que servem para, indiretamente, avaliar a qualidade de sua estrutura (KIEHL, 1979).

Baver (1952) citou que em solos ácidos, o efeito na agregação não é tão importante, porque solos saturados por  $H^+$  floculam mais que solos saturados por  $Ca^{2+}$ . Em solos alcalinos, o efeito do  $Ca^{2+}$  pode ser constatado, pois ele toma o lugar do  $Na^{2+}$  no complexo de troca, e o  $Na^{2+}$  é reconhecidamente um agente dispersante (RENGASAMY & OLSSON, 1991).

De acordo com Wischmeier & Smith (1978), a melhor estruturação de um solo tem efeito pronunciado na retenção, infiltração, permeabilidade e armazenamento de água no seu interior, o que no conjunto irá refletir-se num perfil de solo com menor erodibilidade.

Wild (1988) relatou que os agregados podem ser destruídos e os poros comprimidos ou destruídos pela ação do tráfego e operações de cultivo, especialmente quando o solo encontra-se com alto teor de água, o que influencia diretamente a porosidade total do

solo, alterando suas propriedades de retenção de água. Este aspecto assume maior importância em solos argilosos do que em solos arenosos.

Em relação a microporosidade do solo, Andreola et al. (2000), estudando um Nitossolo Vermelho, não verificaram alterações nos valores desta propriedade em diferentes sistemas de manejo do solo, sendo comparadas culturas anuais e pastagens perenes, evidenciando que, em sistemas de integração lavoura-pecuária, o pisoteio animal, em lotação adequada, não promove alterações adicionais nesta propriedade do solo, além daquelas advindas do trânsito de máquinas.

Para Siqueira et al. (1994) houve correlação positiva entre macroporosidade superficial do solo e rendimento de grãos de soja, devido a maior aeração proporcionada, favorecendo a fixação biológica de  $N_2$ . Contudo, Torres & Saraiva (1999), para a cultura da soja sob semeadura direta, revelaram redução de rendimento em virtude do aumento da densidade do solo na camada de 0-0,10 m de um Latossolo Roxo, em Londrina, PR.

Derpsch et al. (1986) verificaram maior valor para densidade do solo em semeadura direta, ao se comparar esse manejo com cultivo mínimo e preparo convencional do solo; porém, os rendimentos de trigo e soja foram maiores sob semeadura direta. Tais autores, relataram que o não revolvimento do solo, combinado com sistemas de rotação de culturas, mostrou-se eficiente na redução dos efeitos da compactação dos solos.

Faganello et al. (1998) encontraram que, em sistema de semeadura direta, os leitos de semeadura compostos por agregados grandes conduzem a rápida perda de umidade ao redor da semente, reduzindo a velocidade de emergência das plântulas e prejudicando a desejada uniformidade do estande final das plantas.

Silva & Mielnickuk (1998), ao estudar o crescimento radicular e nutrição da soja em função da cultura anterior e da compactação em um Latossolo Vermelho distroférico, observaram que o milho é uma das espécies com maior potencial para diminuir a resistência à penetração em solos compactados, quando comparado à aveia, mucuna, soja, sorgo e tremoço azul, sendo superado apenas pelo guandu.

A compactação do solo em subsuperfície, e o conseqüente aumento da resistência à penetração, somente terão efeito significativo na produtividade se houver, concomitantemente, limitação do fornecimento de água e/ou nutrientes às plantas

(NOGUEIRA & MANFREDINI, 1983; TORRES et al., 1993; ROSOLEM, 1995).

Entre as conseqüências diretas da compactação do solo estão as reduções da porosidade e da infiltração de água, e aumento da resistência à penetração de raízes (KIRKEGAARD et al., 1993), afetando a distribuição e morfologia das raízes. A compactação do solo pode causar redução de até 60% do crescimento radicular de algumas espécies (BENGOUGH & MULLINS, 1991; PANAYIOTOPOULOS et al., 1994).

A resistência à penetração do solo é modificada pela compactação, dependendo das características inerentes ao solo em questão. Densidade e resistência à penetração apresentam relação logarítmica quando o teor de argila ultrapassa 40%, enquanto em solos arenosos esta relação é quadrática, portanto, menos acentuada. Desta forma, para um mesmo valor de umidade o solo argiloso apresentara maior resistência, principalmente quando o teor de água é menor que a capacidade de campo (-0,1 Mpa), provocando o secamento do solo e elevando os valores de resistência à penetração (ROSOLEM et al., 1999).

Segundo Arshad et al. (1996), citados por Beutler et al. (2001), a resistência do solo à penetração pode ser dividida em classes, sendo baixa quando seus valores forem até 1,0 MPa; moderada, com 1,0 a 2,0 MPa; alta, de 2,0 MPa a 4 MPa e muito alta, de 4 a 8 MPa. O alongamento radicular só é possível quando a pressão de crescimento das raízes for maior do que a resistência mecânica do solo à penetração (PASSIOURA, 1991). Segundo Russel e Goss (1974), a pergunta a ser feita seria qual a impedância mecânica máxima do solo suportável para que não haja prejuízos à produção agrícola.

## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 Localização e Caracterização da Área Experimental**

O trabalho foi instalado na área experimental do Departamento de Produção Vegetal, na Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP - Campus de Botucatu/SP, sendo estabelecida a modalidade de sucessão de culturas envolvendo o milho na safrinha, como cultura de outono-inverno e a soja no verão.

As coordenadas geográficas de referência são: latitude sul 22° 49' 31" e longitude oeste 48° 25' 37", altitude média de 786 metros e declividade de 8%.

O solo foi classificado por Carvalho et al. (1983) como uma Terra Roxa Estruturada, Unidade Lageado, textura muito argilosa, atualmente Nitossolo Vermelho distroférico de acordo com os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999), derivado de rochas eruptivas básicas pertencentes à Formação Geológica Serra Geral-Grupo São Bento (IPT, 1981). As principais características do solo, antes da instalação do experimento e com dois anos de SSD encontram-se nas Tabelas 1, 2, 3 e 4, respectivamente.



O clima, de acordo com a classificação de Koppen, é do tipo Cfa, temperado mesotérmico, tendo quatro ou mais meses com temperaturas médias superiores a  $10^{\circ}$  C, cuja a temperatura do mês mais quente é igual ou maior a  $22^{\circ}$  C. Os dados pluviométricos mensais para o período do experimento constam da Tabela 5.

**Tabela 1.** Análises químicas do solo realizadas antes da instalação do sistema de semeadura direta (fevereiro de 1999).

Camadas	M.O.	P resina	pH	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
m	g/dm <sup>3</sup>	g/dm <sup>3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						%
0 – 0,05	32	41,1	5,2m	4,3a	27a	17a	42	49	90	54m
0,05 – 0,10	33	37,5	4,9a	3,1a	25a	16a	45	43	88	49b
0,10 – 0,20	34	31,1	4,5a	3,2a	15a	10a	67	29	96	30b
0,20 – 0,40	27	20,2	4,2m	2,5m	11a	5m	92	19	111	27b

Classes de Teores: a (alto), m (médio), b (baixo). Segundo critérios estabelecidos por Raij & Quaggio, (1983). Instituto Agronômico de Campinas (IAC).

**Tabela 2** Análises físicas do solo realizadas antes da instalação do sistema de semeadura direta (fevereiro de 1999).

Camadas	Composição granulométrica			ADA <sup>1</sup>	GF <sup>2</sup>	Silte/ Argila	PT <sup>3</sup>	DMP <sup>4</sup>	Densidade	
	Areia	Silte	Argila						Solo	Partículas
m	gkg <sup>1</sup>			gkg <sup>1</sup>	%	dm <sup>3</sup> dm <sup>-3</sup>	mm	kgdm <sup>-3</sup>		
0 – 0,05	240	110	650	25	62	0,17	51	4,57	1,54	2,98
0,05 – 0,10	220	130	650	23	64	0,20	51	4,76	1,44	2,96
0,10 – 0,20	260	90	650	13	81	0,14	53	4,57	1,40	2,96
0,20 – 0,40	250	100	650	14	80	0,15	50	4,99	1,43	2,84

<sup>1</sup>ADA: argila dispersa em água; <sup>2</sup>GF: grau de floculação; <sup>3</sup>PT: porosidade total, <sup>4</sup>DMP: diâmetro médio ponderado. Embrapa (1997).

**Tabela 3.** Análises químicas do solo realizadas no segundo ano de sistema de semeadura direta (outubro de 2000).

Camadas	M.O.	P resina	pH	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
m	g/dm <sup>3</sup>	g/dm <sup>3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						%
0 – 0,05	34	54,3a	4,9b	4,5a	46a	11a	49,3	62,0	111	55m
0,05 – 0,10	30	82,0m	5,0b	3,7a	34a	33a	51,0	70,7	110	58m
0,10 – 0,20	32	36,0m	4,7b	3,6a	33a	14a	51,0	50,6	93	48b
0,20 – 0,40	27	20,2m	4,2b	2,5m	11a	5,4m	91,7	19,3	111	27b

Classes de teores: a (alto), m (médio), b (baixo), segundo critérios estabelecidos por Raij & Quaggio 1983. Instituto Agrônomo de Campinas (IAC).

**Tabela 4.** Análises físicas do solo realizadas no segundo ano de sistema de semeadura direta (outubro de 2000).

Camadas	Composição granulométrica			ADA <sup>1</sup>	GF <sup>2</sup>	Silte/Argila	PT <sup>3</sup>	DMP <sup>4</sup>	Densidade	
	Areia	Silte	Argila						Solo	Partículas
m	gkg <sup>1</sup>			gkg <sup>1</sup>	%		dm <sup>3</sup> dm <sup>-3</sup>	mm	kgdm <sup>-3</sup>	
0 – 0,05	240	110	650	211	67,56	0,17	47,49	4,46	1,49	2,98
0,05 – 0,10	220	130	650	177	72,80	0,20	48,47	4,70	1,49	2,96
0,10 – 0,20	260	90	650	115	82,32	0,14	47,59	4,72	1,47	2,96
0,20 – 0,40	250	100	650	71	89,16	0,15	47,15	4,75	1,47	2,84

<sup>1</sup>ADA: argila dispersa em água; <sup>2</sup>GF: grau de floculação; <sup>3</sup>PT: porosidade total, <sup>4</sup>DMP: diâmetro médio ponderado. Embrapa (1997).

**Tabela 5.** Dados pluviométricos mensais (mm) na Fazenda Experimental Lageado para o período de janeiro de 2003 a maio de 2004.

Mês	Precipitação pluvial mensal (mm)
<sup>1</sup> Janeiro/2003	412,0
<sup>1</sup> Fevereiro	127,6
<sup>1</sup> Março	179,8
<sup>1</sup> Abril	293,5
<sup>1</sup> Maio	52,9
<sup>1</sup> Junho	23,7
<sup>1</sup> Julho	15,8
<sup>1</sup> Agosto	33,9
<sup>1</sup> Setembro	14,9
<sup>1</sup> Outubro	149,1
<sup>1</sup> Novembro	173,5
<sup>2</sup> Dezembro	183,9
<sup>2</sup> Janeiro/2004	302,0
<sup>2</sup> Fevereiro	161,6
<sup>2</sup> Março	122,3
<sup>2</sup> Abril	114,0
<sup>2</sup> Maio	133,5

<sup>1</sup>: meses anteriores à semeadura da soja (total do período: 1476,7 mm);

<sup>2</sup>: meses posteriores à semeadura da soja (total do período: 1017,3 mm)

## 5.2 Histórico da Área

Após a uniformização da área em semeadura convencional com soja, estabeleceu-se por um ano a sucessão milheto-soja em semeadura direta, sendo que, após este período, foi efetuada calagem superficial em área total sobre a resteva do milheto após o manejo final, utilizando-se de calcário dolomítico com PRNT 85%

A adubação de semeadura constituiu-se de 300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula comercial 8-28-16 + 0,4 Zn.

A semeadura direta da soja foi realizada em 10 de dezembro de 2003, utilizando-se a cultivar Embrapa-48 no espaçamento de 0,47 metros, com 30 sementes por metro, objetivando obter população em torno de 400 mil plantas/ha. O estande inicial avaliado teve média de 18 plântulas de soja por metro de linha na emergência, o que resultou em

383.000 plantas por hectare.

### **5.3 Delineamento Experimental e Tratamentos**

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Cada subparcela foi constituída por 9,0 m de comprimento e 3,0 m de largura (27,0 m<sup>2</sup> de área total), considerando como bordadura as duas linhas laterais e 0,5 m no início e final de cada parcela experimental.

Os tratamentos foram compostos por parcelas, sendo representadas por três épocas de semeadura da cultura do milheto (E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>), sendo: E<sub>1</sub>: 29/04/03, E<sub>2</sub>: 21/05/03 (vinte e dois dias após a primeira época) e E<sub>3</sub>: 15/06/03 (quarenta e seis dias após a primeira época). Em decorrência da escassez de chuva, baixa germinação e temperaturas baixas, foi feita uma ressemeadura em 22/08/2003. As subparcelas foram representadas pelo manejo da ceifa da fitomassa: manejo 1 (M<sub>1</sub>) - ceifa a cada florescimento e retirada da fitomassa; manejo 2 (M<sub>2</sub>) - ceifa a cada florescimento e permanência da fitomassa; manejo 3 (M<sub>3</sub>) - ceifa no florescimento e retirada da fitomassa; manejo 4 (M<sub>4</sub>) - ceifa no florescimento e permanência da fitomassa e manejo 5 (M<sub>5</sub>) - livre crescimento, sem ceifar. As panículas (inflorescência do milheto) foram manejadas com 50 % de ocorrência.

### **5.4 Cultura do Milheto (2003)**

Para semeadura do milheto utilizou-se o cultivar BN-2, no espaçamento de 0,20 metros, com 35 kg de sementes/ha, utilizando-se da fórmula 4-14-8 +0,3 % de Zn, num total de 300 kg ha<sup>-1</sup>.

### **5.5 Manejo da Fitomassa para cada época**

O manejo da cultura do milheto obedeceu ao cronograma representado na Tabela 6.

**Tabela 6.** Cronograma de manejo da cultura do milho

Data	Operação
28/04/2003	Dessecação da área total (2,0L ha <sup>-1</sup> glyphosate p.c.)
29/04/2003	Semeadura da primeira época do milho
21/05/2003	Semeadura da segunda época do milho
15/06/2003	Semeadura da terceira época do milho
18/06/2003	Aplicação de 0,6L ha <sup>-1</sup> de 2,4-D amina
09/07/2003	Primeiro corte da primeira época (E <sub>1</sub> M <sub>1</sub> , E <sub>1</sub> M <sub>2</sub> , E <sub>1</sub> M <sub>3</sub> e E <sub>1</sub> M <sub>4</sub> )
05/08/2003	Primeiro corte da segunda época (E <sub>2</sub> M <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> M <sub>2</sub> , E <sub>2</sub> M <sub>3</sub> e E <sub>2</sub> M <sub>4</sub> ) e segundo corte da primeira época (E <sub>1</sub> M <sub>1</sub> , E <sub>1</sub> M <sub>2</sub> )
22/08/2003	Re-semeadura da terceira época
29/08/2003	Terceiro corte da primeira época (E <sub>1</sub> M <sub>1</sub> , E <sub>1</sub> M <sub>2</sub> ) e segundo corte da segunda época (E <sub>2</sub> M <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> M <sub>2</sub> )
29/10/2003	Corte da terceira época (E <sub>3</sub> M <sub>1</sub> , E <sub>3</sub> M <sub>2</sub> , E <sub>3</sub> M <sub>3</sub> , E <sub>3</sub> M <sub>4</sub> )
01/11/2003	Manejo final
15/11/2003	Dessecação química

O número de cortes em cada época de semeadura, por ocasião do florescimento com emissão de 50% de panículas, foi de três, dois e um, para E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> e E<sub>3</sub>, respectivamente.

Para avaliação da produção de fitomassa ou matéria seca (t ha<sup>-1</sup>), em 01 de novembro, procedeu-se o manejo final. Retirou-se, ao acaso, na área útil de cada parcela experimental, por ocasião do florescimento, três amostras de plantas em duas linhas de 0,5 m de comprimento. Em seguida, as folhas e plantas foram submetidas à secagem em estufa a 60°C até atingirem massa constante. Posteriormente, as plantas foram pesadas, determinando-se a produção de fitomassa seca por hectare.

Para a avaliação da relação percentual entre solo coberto e descoberto, utilizando-se fotos da cultura do milho, empregou-se o programa SIARCS (Jorge & Crestana, 1996).

## 5.6 Sistema Radicular

Para a avaliação do desenvolvimento do sistema radicular as amostras foram coletadas, na entre-linha das plantas, em pleno florescimento da planta, no primeiro florescimento, para cada época de semeadura, lavadas em água corrente, separadas da palha, quando na superfície, e também das raízes de alguma erva invasora que havia na área. Após esta etapa foram conservadas em frascos com álcool 30% e armazenadas sob refrigeração. Os parâmetros analisados foram comprimento radicular, área de superfície radicular e diâmetro médio radicular. As raízes foram submetidas à digitalização de imagem utilizando-se scanner HP Scanjet 4c/T e o software WinRHIZO Reg 3.8b-1993-1997 (Regent Instruments Inc.), Quebec, Canadá.

## 5.7 Cultura da Soja (2003-2004)

A cultura da soja foi semeada mecanicamente, utilizando-se a cultivar EMBRAPA-48, semiprecoce, resultante do cruzamento (Davis X Paraná) X (IAS4 X BR-5), no espaçamento 0,45 m, empregando-se 30 sementes por metro, objetivando obter uma população em torno de 400 mil plantas/ha. A adubação de semeadura foi constituída por 300 kg/ha da fórmula comercial 8-28-16 + 0,4 Zn.

Este cultivar é indicado para solos de média e alta fertilidade no Estado de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Mato Grosso do Sul. Suas principais características são o hábito de crescimento determinado, ciclo médio de maturação (130-140 dias), altura das plantas de 80 a 90 cm em média, flor branca, hilo marrom claro, pubescência cinza e peso médio de 100 sementes igual a 15 g. O nível de tolerância a pragas e doenças, é alto para mosaico comum da soja, crestamento bacteriano e oídio. É classificado como moderadamente resistente ao cancro da haste, resistente a mancha olho de rã e pústula bacteriana e moderadamente resistente ao nematóide das galhas (*Meloidogyne javanica*).

O controle fitossanitário constou de uma aplicação de Tebuconazole (100 g i. a. /ha) na dose de 0,5 litro ha<sup>-1</sup> do produto comercial (Folicur 200 CE), visando o controle de oídio (*Microsphaera diffusa*) em 28 de janeiro de 2004, além do fungicida, de nome comercial Ópera, para a prevenção da ferrugem asiática (*Phakopsora pachirrizicha*), e

uma aplicação de Monocotrofôs (150 g i.a./ha) na dose de 0,375 litros/ha, objetivando o controle de percevejo verde (*Nezara viridula*) e vaquinha (*Diabrotica speciosa*) em 15 de março de 2004.

A colheita da soja foi realizada em 18 de abril de 2004, quando os grãos apresentavam teor de água de 13%, considerando-se a produtividade de grãos (kg) proveniente das quatro linhas centrais de cada parcela experimental (área útil). Além da produtividade da cultura da soja, também foi mensurada a altura de plantas, após a coleta de dez plantas de cada uma das quatro linhas centrais de cada parcela experimental.

## **5.8 Coleta de Amostras**

Amostras de solo com estrutura deformada e indeformada foram coletadas em outubro de 2003, entre 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, na entre-linha da cultura do milho, para realização das análises físicas (Embrapa, 1997) e químicas (Raij & Quaggio, 1983), bem como o fracionamento da matéria orgânica (Tatsukawa, 1966; Kumada, 1987).

Para a coleta de amostras indeformadas utilizou-se anéis volumétricos de 49,06, para as camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10, e de 98,13 cm<sup>3</sup>, para as camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40.

Na coleta de amostras para análise de raízes, utilizou-se um trado com sete centímetros e meio de diâmetro, sendo a amostragem feita sempre na entre-linha das plantas de milho, com o intuito de uniformizar a amostragem em todos os tratamentos. Foram coletadas seis subamostras de raízes por subparcela.

## **5.9 Análises Químicas**

### **5.9.1 Determinação do índice pH**

O procedimento analítico utilizado para a determinação do índice pH consistiu na transferência, com cachimbo, de 10 cm<sup>3</sup> de terra para um frasco plástico. Em

seguida adicionou-se 25 mL da solução de  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ molL}^{-1}$  e aguardou-se 15 minutos, sendo a suspensão posteriormente agitada por 10 minutos a 220 rpm, usando agitador com movimento circular horizontal ou agitador de pH. Deixou-se decantar por 30 minutos e após calibração do medidor de pH com as soluções tampão de pH 4,0 e 7,0 as leituras das amostras foram realizadas.

### **5.9.2 Determinação do teor de matéria orgânica do solo**

Para a determinação da matéria orgânica, utilizou-se o método de Walkley-Black (1934) e Walkley (1947), por colorimetria. O procedimento analítico consistiu na transferência de  $1 \text{ cm}^3$  de terra para um frasco cilíndrico de 100 mL. Realizou-se uma prova em branco completa, sem terra e adicionou-se, com dispensador, 10 mL de uma solução de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  em ácido sulfúrico. Agitou-se durante 10 minutos em agitador com movimento circular horizontal, com velocidade mínima de 180 rpm e, após o repouso de uma hora, adicionou-se 50 mL de água, usando dispensador, com um jato forte para promover a mistura das soluções. Deixou-se decantar durante a noite e, posteriormente, no dia seguinte, foi feita a leitura em colorímetro, com filtro de transmissão máxima de 650 nm, tomando o cuidado para sempre acertar o zero do aparelho com a prova em branco completa. O resultado foi calculado através da curva padrão estabelecida.

### **5.9.3 Determinação dos teores trocáveis de cálcio, magnésio, potássio e capacidade de troca catiônica do solo.**

Para as bases trocáveis, o procedimento utilizado consistiu em basicamente quatro etapas:

A) com o pipetador, retirou-se 1 mL dos extratos de  $\text{NH}_4\text{Cl}$   $0,8 \text{ molL}^{-1}$  em  $0,2 \text{ mol.L}^{-1}$  de  $\text{HCl}$ , transferindo para frascos de vidro de 25 mL. Acrescentou-se 10 mL da solução contendo  $1 \text{ g.L}^{-1}$  de lantânio e homogeneizou-se;

B) Procedeu-se da mesma forma para as soluções-padrão de trabalho, identificando-as por A, B, C, D, E e F, após a agitação com resina;

C) Realizou-se a leitura no espectrofotômetro de absorção atômica,



seguindo as orientações do manual de instruções. Acertou-se o zero do aparelho com a solução A da curva de calibração;

D) Leu-se diretamente em um fotômetro de chama as soluções padrão de trabalho e os extratos de resina obtidos com a solução  $0,8 \text{ molL}^{-1}$  de  $\text{NH}_4\text{Cl}$   $1 \text{ mol.L}^{-1}$ .

Diante das leituras obtidas, os resultados foram colocados na curva de calibração encontrada, obtendo-se os dados de cada base trocável. Desta forma obteve-se também a soma de bases, que somada a acidez potencial (H+Al) resultou na CTC do solo.

### **5.10 Fracionamento químico da matéria orgânica do solo**

Para a extração da matéria orgânica e solubilização dos ácidos húmicos do solo, utilizou-se a metodologia descrita por Kumada (1987), sendo as determinações realizadas de acordo com a metodologia citada por Tatsukawa (1966), verificando-se o teor de carbono ligado à fração ácido húmico (C-AH) e o teor de carbono ligado à fração ácido fúlvico. Como também foi determinado o carbono orgânico, por diferença com os ácidos orgânicos obteve-se a fração insolúvel, a humina.

Soluções utilizadas:

1. Solução NaOH: 0,1 M, 4 g de NaOH em 1 litro;
2. Solução para separação das frações húmicas: 0,18 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$ : 10 ml de ácido sulfúrico em 1 litro;
3. Solução mixe: 0,2M  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , 0,1M NaOH;
4. Solução de dicromato de potássio + ácido sulfúrico concentrado: 3,175 g ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) em 500 ml de ácido sulfúrico concentrado;
5. Solução de sacarose: A) dissolver 1,19 g de sucrose em água destilada em um balão volumétrico de 500 ml B) adicionou-se água, completando-se até o menisco para (1.000 ppm de C). Pipetar 5, 10, 25, e 50 mL da solução padrão de sacarose em balões volumétricos de 100 ml e em seguida, completar com água até o menisco, compondo os extratos de carbono que permitiu elaborar a curva: 50, 100, 250, 500 ppm de C.

#### **5.10.1 Descrição do Método**

Adicionou-se NaOH às amostras, que foram incubadas em banho maria (100°C) por 30 minutos. Em seguida ao resfriamento das amostras em gelo adicionou-se sulfato de sódio, procedendo-se a centrifugação e posterior coleta do sobrenadante. Este procedimento foi repetido por mais duas vezes, acrescentando-se solução MIXE (0,2M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0,1M NaOH) entre uma centrifugação e outra, coletando-se o extrato. Para integralizar o extrato, adicionou-se mais 10 mL da solução MIXE e imediatamente, utilizando-se de capela e proveta, colocou-se ácido sulfúrico concentrado. Agitou-se bem e deixou-se descansar por cinco horas.

As frações húmicas foram separadas por filtração, utilizando-se de papel qualitativo Whatman número 6, balão volumétrico e funil plástico. Os ácidos fúlvicos são os primeiros a serem obtidos na filtração, e o volume foi completado com o uso de ácido sulfúrico 0,18 N, pois estes ácidos são solúveis em meio ácido. O filtro restante deste processo foi passado a um erlenmeyer, que foi solubilizado com a adição de NaOH 0,1N, agitando-se com bastão de vidro. Em seguida, foi realizada mais uma filtração (após todos os extratos apresentarem coloração uniforme) e o volume completado com a base forte, para a completa uniformização do volume de amostras e conseqüente solubilização em meio básico.

### 5.11 Análise Físicas

A determinação da densidade do solo foi feita pelo método do anel volumétrico, totalizando 240 amostras. Para a determinação da umidade do solo amostras deformadas foram colocadas em latas de alumínio, pesadas, secas em estufa e pesadas novamente. Os valores obtidos em cada época para cada camada estudada foram: na camada de 0-0,05m: E<sub>1</sub>: 20,02 , E<sub>2</sub>: 18,07 e E<sub>3</sub>: 22,10; para a camada de 0,05-0,10 m: E<sub>1</sub>: 23,00; E<sub>2</sub>: 23,07 e E<sub>3</sub>: 24,01; e na de 0,10-0,20 m: E<sub>1</sub>:18,07; E<sub>2</sub>: 21,15 e E<sub>3</sub>: 24,05 dm<sup>3</sup>dm<sup>-3</sup>. Logo abaixo para a camada de 0,20-0,40 m verificou-se para E<sub>1</sub>: 23,07 , E<sub>2</sub>: 23,01 , E<sub>3</sub>: 24,05 dm<sup>3</sup> dm<sup>-3</sup>.

Para a avaliação da impedância foi utilizado um penetrômetro de campo (COMPACT-TEST), com valores em PSI (Pound Square Inch) convertidos à Megapascal (MPa).

A microporosidade do solo foi avaliada com a utilização da mesa de tensão, sendo os anéis saturados e submetidos à tensão de 60 cm de coluna de água. Com o

peso dos anéis saturados determinou-se a porosidade total. A macroporosidade foi obtida por diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

Para a análise das amostras destinadas ao estudo da estrutura do solo, visando a determinação da estabilidade de agregados, pelo método do peneiramento a seco, utilizou-se o cálculo do diâmetro médio ponderado (DMP), de acordo com a equação:

$$\text{DMP} = \sum (C_{mm} \times P)$$

Onde: DMP= diâmetro médio ponderado (mm); C= centro da classe (mm); P= proporção do peso de cada fração de agregados em relação ao total da amostra.

A análise granulométrica foi feita empregando-se o método do densímetro de Bouyoucos, com adição de NaOH 1N como dispersante.

A argila dispersa em água também foi determinada pelo método do densímetro de Bouyoucos, sem o emprego de dispersante químico.

O grau de flocculação foi obtido por cálculo, de acordo com a equação:

$\text{GF} = 100 (\text{AT} - \text{ADA}) / \text{AT}$ , onde: GF= grau de flocculação (%); AT= argila total ( $\text{g kg}^{-1}$ ); ADA= argila dispersa em água ( $\text{g kg}^{-1}$ ).

## 5.12 Análises Estatísticas

O estudo das variáveis observadas constou da análise de variância dos dados originais e aplicação do teste t de Student para comparar as médias obtidas. O nível de significância para os testes foi de 5% de probabilidade (Gomes, 1991).

Os resultados do experimento são apresentados na forma de Tabelas e Figuras. Quando a interação entre os fatores foi significativa ao menos ao nível de 5%, desdobrou-se a interação acompanhando os comentários, visualizando-se desta maneira as letras encontradas nas Tabelas. Quando a interação não foi significativa utilizou-se das médias gerais para a discussão dos resultados.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.1 Cultura do Milheto**

#### **6.1.1 Massa de matéria seca do milheto**

O milheto (Tabelas 7 e 8) apresentou diferenças significativas para época, com relação à produtividade de massa de matéria seca, destacando-se a E<sub>1</sub>, que proporcionou maior número de cortes na pré-safra à soja. Para as épocas E<sub>2</sub> e E<sub>3</sub> as diferenças foram próximas, se considerarmos que a E<sub>3</sub> sofreu apenas um corte, enquanto que para E<sub>2</sub> o estímulo ao florescimento no outono e no inverno proporcionou dois cortes.

Para o fator manejo não houve diferenças, todavia, para a interação, na primeira época, o M<sub>2</sub> mostrou menor potencial produtivo que o M<sub>4</sub>. Pode-se observar o comportamento dos manejos da fitomassa na Figura 1.

Para E<sub>1</sub> foram superiores os manejos: M<sub>1</sub>, M<sub>3</sub> M<sub>4</sub> e M<sub>5</sub>. O M<sub>3</sub> se mostrou eficiente nas E<sub>2</sub> e E<sub>1</sub>, e o M<sub>2</sub> igualou-se, proporcionando quantidade razoável de matéria seca ao longo do ano na E<sub>3</sub>, entretanto, na E<sub>2</sub> o M<sub>2</sub> permaneceu em uma situação intermediária, diferindo em E<sub>1</sub>, e não diferindo em E<sub>3</sub>. Para E<sub>3</sub>, devido a semeadura mais tardia, os tratamentos foram uniformizados e não diferiram entre si. Lançanova (1991) obteve

resultados semelhantes manejando a fitomassa da aveia, ou seja, a maior produção de fitomassa em corte único, comparado aos cortes sucessivos. Independentemente do sistema de manejo adotado a maior quantidade de massa de matéria seca foi verificado na E<sub>1</sub>.

**Tabela 7.** Análise de variância da quantidade de matéria seca total e porcentagem de cobertura do solo pelo milho em função de épocas e manejos.

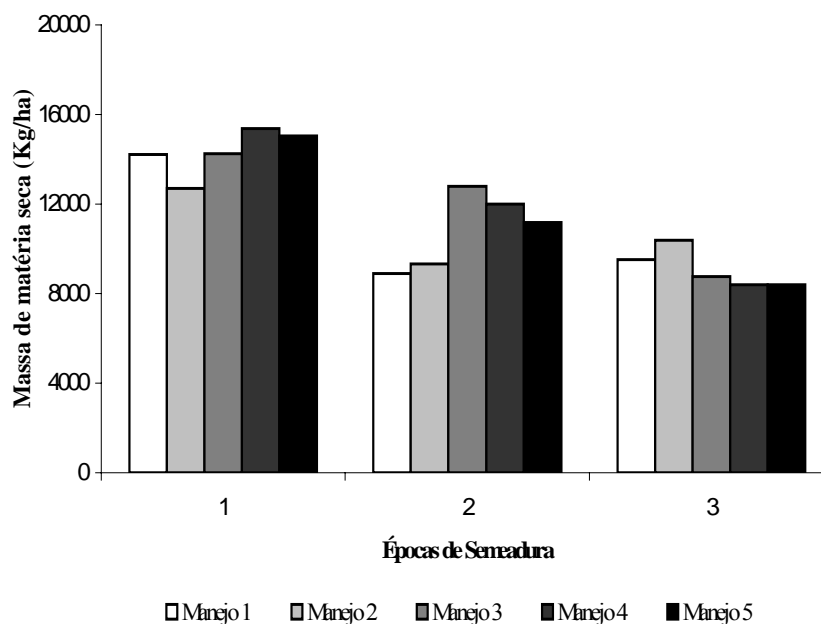
Causas de variação	Valores do teste F	
	Massa de Matéria Seca Total	Cobertura do Solo
Época (E)	41,958**	3,057*
Manejo (M)	0,989 <sup>ns</sup>	4,296**
E x M	2,462*	1,728 <sup>ns</sup>
CV parcela (%)	15,90	17,43
CV subparcela (%)	13,70	19,38
DMS (E)	1.159,87	7,87
DMS (M)	1.497,38	10,16

\*\* , \* , <sup>ns</sup> , significativo a 1%, 5%, não significativo, respectivamente.

**Tabela 8.** Quantidade de massa de matéria seca total do milho em função da época de semeadura e do manejo da fitomassa

Manejo da fitomassa	Massa de matéria seca do Milho (Kg ha <sup>-1</sup> )			
	Época <sub>1</sub>	Época <sub>2</sub>	Época <sub>3</sub>	Média
M <sub>1</sub>	14.226Aab	8.894Bb	9.526B	10.882
M <sub>2</sub>	12.680Ab	9.328Bb	10.682AB	10.897
M <sub>3</sub>	14.243Aab	12.799Aa	8.745B	11.929
M <sub>4</sub>	15.380Aa	12.012Ba	8.382C	11.925
M <sub>5</sub>	15.026Aab	11.177Bab	8.399C	11.534
<b>Média</b>	14.311A	10.842B	9.147C	

Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste t-LSD-student (P<0,05). M1: Ceifa a cada florescimento e retirada da fitomassa; M2: Ceifa a cada florescimento e permanência da fitomassa; M3: Ceifa no florescimento e retirada da fitomassa; M4: Ceifa no florescimento e permanência da fitomassa; M5: Livre crescimento, sem ceifar. Época 1, 2 e 3: primeira, segunda e terceira época de semeadura do milho, respectivamente.



**Figura 1.** Quantidade total de massa de matéria seca produzida pelo milho em função da época de semeadura e do manejo da fitomassa.

Medeiros (2005) obteve as melhores produtividades de massa de matéria seca, em três experimentos em diferentes áreas, tendo em vista que o milho BN2 e a braquiária, ambos plantados nos primeiros dias de maio, resultaram respectivamente em 4,2 e 6 toneladas de massa seca por hectare. Cordeiro e Souza (1999) obtiveram diferenças significativas de produtividade de massa seca do milho quando comparado com vegetação espontânea.

Para Sodré Filho et al. (2004) em sistema de plantio direto o milho resultou em 7 t ha<sup>-1</sup> de massa de matéria seca, valor inferior ao de todos os tratamentos estudados. Pode-se atribuir este fato a maior luminosidade da região do cerrado, enquanto que na região de Botucatu a maior somatória de horas de escuro fez com que o período da semeadura até o florescimento fosse mais curto, possibilitando um maior número de cortes e, conseqüentemente, maior produção de fitomassa do milho.

Ayanaba (1986) verificou patamares de produção de massa seca de milho próximos ao sorgo, em torno de 7-8 t ha<sup>-1</sup>, o que conferiu, embora não significativa, tendência de maior contribuição de carbono ao solo, por parte do sorgo. Entretanto resultados de Reeves (1995) et al., comparando culturas de outono inverno em sucessão com a soja e

tremoço observou resultados de menor ganho de massa seca por parte do tremoço branco e maior por parte da soja em sucessão com o milho.

### 6.1.2. Cobertura do Solo

Para a cobertura do solo não houve interação entre os fatores, no entanto época e manejo diferiram significativamente. A porcentagem de cobertura do solo resultou em diferenças significativas entre as épocas de semeadura do milho (Tabela 9), destacando-se E<sub>2</sub>. O M<sub>4</sub> com corte no único florescimento e permanência diferiu significativamente dos demais, e o M<sub>1</sub> foi o que proporcionou significativamente menor porcentagem de cobertura na superfície.

O milho, em sucessão com a soja, proporcionou maior cobertura do solo nas época E<sub>2</sub> em função da precipitação pluvial que ocorreu na rebrota após o primeiro corte, conforme os dados que constam da Tabela 5.

**Tabela 9.** Cobertura do solo (%) em função da época de semeadura e do manejo da fitomassa do milho.

Manejo da fitomassa	Cobertura do Solo pelo Milho			
	Época <sub>1</sub>	Época <sub>2</sub>	Época <sub>3</sub>	Média
M <sub>1</sub>	60	60	60	60c
M <sub>2</sub>	76	80	60	72b
M <sub>3</sub>	61	86	59	69b
M <sub>4</sub>	73	83	85	80a
M <sub>5</sub>	72	73	73	73b
<b>Média</b>	68B	76A	67B	

Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste t-LSD-student (P<0,05). M1: Ceifa a cada florescimento e retirada da fitomassa; M2: Ceifa a cada florescimento e permanência da fitomassa; M3: Ceifa no florescimento e retirada da fitomassa; M4: Ceifa no florescimento e permanência da fitomassa; M5: Livre crescimento, sem ceifar. Época 1, 2 e 3: primeira, segunda e terceira época de semeadura do milho, respectivamente.

Para E<sub>3</sub> a maior produção de fitomassa obtida, proporcionou maior cobertura associada a menor decomposição da fitomassa, ao longo de seis meses entre a

semeadura até a avaliação da massa de matéria seca do milho a E<sub>1</sub> não apresentou a mesma eficiência na cobertura do solo.

Lamas e Staut (2005) obtiveram uma porcentagem de cobertura remanescente para o milho, por ocasião da colheita do algodão, de 68 %, no Centro Oeste, sendo estes dados coerentes com os da sucessão milho – soja, que se assemelham com o M<sub>5</sub>, tipo de manejo executado naquela região.

Segundo Derpsch et al. (1985) e Da Ros e Aita (1996), não se deve considerar que grande parte dos ganhos de fertilidade do solo seja sempre devido à decomposição das raízes de plantas de cobertura e raízes comerciais, pois dependendo da condição climática, a fitomassa da parte aérea também tem sua contribuição. Este comportamento pôde ser observado no presente ensaio, mesmo porque a contribuição da fitomassa em todos os tratamentos foi superior a 50% de cobertura do solo, sendo que de acordo com Allmaras e Dowdy (1985), acima de 30% já se considera como sistema de preparo conservacionista.

De acordo com Dechen et al. (1981), as gramíneas de um modo geral no primeiro ano não protegem tanto o solo, no entanto, depois de estabilizado o sistema, a perda de solo perfaz apenas 1,4% da relação entre as perdas de solo por terrenos cobertos sob capim gordura, sendo que como conclusão final, assumem o efeito benéfico das gramíneas comparadas a leguminosas em Latossolo Roxo.

Trabalhos no cerrado brasileiro revelaram resultados de cobertura do solo de apenas 31% em outubro, enquanto que em agosto os valores mostraram 83% de solo coberto e de 22% entre 30 - 60 dias após a semeadura do milho (SODRÉ FILHO et al., 2004). Vale ressaltar que para as condições de Planaltina, o milho obteve seu primeiro florescimento após 95 dias, sendo este fato diretamente relacionado à menor cobertura do solo em outubro, pois a planta foi submetida a apenas um corte.

Bertol et al. (1998), avaliando a persistência de resíduos vegetais em SSD, verificou redução de 80% de massa produzida com redução de 60% na cobertura. Em Botucatu, pode existir, dependendo do ano agrícola, uma redução de 60% na massa seca e 40% na cobertura do solo, num período de 180 dias para a cultura do milho (GONÇALVES, 2003). Na sucessão milho-soja os resultados de fitomassa remanescente do M<sub>1</sub> foi de 60%



cobertura do solo.

Comparando-se os resultados de cobertura do solo com os de Sodré Filho et al. (2004), verifica-se que, para todos os tratamentos estudados, a percentagem de cobertura foi elevada, ou seja, o menor valor obtido foi de 59% para E<sub>3</sub>M<sub>3</sub>, enquanto que os autores citados encontraram 31% de cobertura do solo, também no mês de outubro. Entretanto, Amado et al., (1987), estudando um método de determinação de cobertura do solo, obtiveram valores inferiores de solo coberto comparados aos de Cereta et al., (1994).

### 6.1.3 Sistema radicular do milho

#### 6.1.3.1 Comprimento radicular (CR)

Na análise do comprimento de raízes observaram-se os valores de F para as camadas estudadas, além das médias gerais, e a interação também foi significativa em todas as camadas (Tabela 10).

**Tabela 10.** Análise de variância do comprimento radicular do milho (cm) em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa.

Causas de variação	Valores do teste F			
	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 - 0,20 m	0,20 – 0,40 m
<b>Época (E)</b>	3,671*	39,508**	20,013**	2,550*
<b>Manejo (M)</b>	5,600**	5,184**	3,742*	16,600**
<b>E x M</b>	11,431**	7,957**	9,147**	10,434**
<b>CV parcela (%)</b>	62,980	41,240	35,500	28,850
<b>CV subparcela (%)</b>	23,200	21,360	23,150	12,360
<b>DMS (E)</b>	38,530	26,270	11,850	7,939
<b>DMS (M)</b>	49,740	33,910	15,300	10,250

\*\* , \* , significativo a 1%, 5%, respectivamente.

A análise geral das médias (Tabela 11) mostrou diferença significativa destacando-se a E<sub>2</sub> e E<sub>3</sub> não diferindo de E<sub>1</sub> em relação ao comprimento das raízes de milho

na camada de 0-0,05 m. Para a camada de 0-0,05 m as épocas  $E_2$  e  $E_3$  resultaram em maior CR. A  $E_2$  resultou significativamente em maior comprimento radicular na camada de 0,10-0,20 m, quando comparada a  $E_1$  e  $E_3$ .

Para manejo, houve diferença camada de 0-0,05 m para o  $M_3$ , na de 0,05-0,10 m para o  $M_2$ , igualando-se com  $M_5$  e  $M_3$ . Na camada de 0,10-0,20 m o  $M_1$  destacou-se como o manejo com menor comprimento radicular e na mesma camada os manejos  $M_1$  e  $M_2$ , sendo suas ceifas efetuadas a cada florescimento proporcionaram um maior CR.

Na camada de 0-0,05 m não houve diferença significativa, na primeira época de semeadura para os manejos estudados, enquanto que o tratamento  $E_2M_3$  diferiu significativamente dentro da  $E_2$  e na comparação de épocas.

O tratamento  $E_2M_3$  resultou em maior comprimento radicular. Este tratamento também diferiu significativamente do  $E_1M_3$  e  $E_3M_3$ , nas duas camadas superficiais (0-0,05 e 0,05-0,10 m).

Desdobrando a interação dentro de épocas de semeadura houve maior comprimento radicular para o  $M_5$  na  $E_3$ , para  $E_2$  destacou-se o  $M_3$  e na  $E_1$  na camada de 0-0,05 e 0,05-0,10 m não houve diferença significativa para comprimento radicular em relação aos manejos, no entanto, na  $E_2$  ocorreu um incremento para os tratamentos com permanência de fitomassa do milho em cobertura ( $M_2$ ,  $M_4$ ), na camada de 0,10-0,20 m.

Na camada de 0-0,05 m o comprimento do sistema radicular foi maior para o  $M_3$ . Para os manejos com permanência ( $M_2$  e  $M_4$ ) da fitomassa, houve diferença significativa na camada de 0,05-0,10 m, entre os dois manejos com palha, destacando-se o  $M_2$ , como o de maiores valores de comprimento radicular obtidos. Entre as épocas de semeadura, para  $E_3$ , o  $M_5$  foi significativamente de maior comprimento radicular na camada de 0,05-0,10 m. Na camada de 0-0,05 m houve menor CR para o tratamento  $E_1M_4$ .

Para a camada de 0,05-0,10 m não houve diferença entre os manejos para  $E_1$  enquanto que a interação do tratamento  $E_2M_3$  foi significativamente maior.

Na camada de 0,10-0,20 m para  $E_2$  houve incremento do comprimento radicular para os manejos com permanência de fitomassa ( $M_2$  e  $M_4$ ).

Para  $E_3$  na camada de 0-0,05 m os manejos  $M_2$  e  $M_4$  resultaram em um maior CR, o que pode ser atribuído a manutenção da fitomassa

**Tabela 11.** Interação E x M para os valores de comprimento radicular em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho.

Manejo da fitomassa	Época de semeadura			Média
	1	2	3	
cm				
0 – 0,05 m				
M1	90Aa	64Ab	62Ab	72b
M2	63Ba	66Bb	168Aa	99b
M3	73Ba	381Aa	40Bb	164a
M4	39Ba	54Bb	168Aa	87b
M5	74Aa	26Ab	74Ab	58b
Média	68B	118A	102AB	
0,05 – 0,10 m				
M1	30Ba	73Abc	117Ab	73bc
M2	23Ca	158Bab	220Aa	134a
M3	49Ba	190Aa	78Bb	106ab
M4	23Ba	121Abc	70Ab	71c
M5	46Ba	68Bc	231Aa	115a
Média	34B	122A	143A	
0,10 - 0,20 m				
M1	31Abc	28Ac	46Aab	35b
M2	55Bab	110Aa	23Cb	63a
M3	58Aa	47Ac	66Aa	57a
M4	18Bc	110Aa	35Bb	54a
M5	39Babc	74Ab	48ABab	53a
Média	40B	74A	43B	
0,20 – 0,40 m				
M1	46Bb	79Aa	36Bb	54ab
M2	82Aa	35Cc	61Ba	59a
M3	21Ac	25Ac	24Ab	23d
M4	16Bc	56Ab	29Bb	34c
M5	64Ab	34Bc	40Bb	46b
Média	46A	46A	38B	

Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste t-LSD-student ( $P < 0,05$ ). Manejo - 1: Ceifa a cada florescimento e retirada da fitomassa; 2: Ceifa a cada florescimento e permanência da fitomassa; 3: Ceifa no florescimento e retirada da fitomassa; 4: Ceifa no florescimento e permanência da fitomassa; 5: Livre crescimento, sem ceifar. Época 1, 2 e 3: primeira, segunda e terceira época de semeadura do milho, respectivamente.

Os menores valores de CR observados nas três camadas superficiais foram encontrados na E<sub>1</sub> que produziu maiores quantidades de massa de matéria seca. Podendo este fato ser atribuído tanto a renovação do sistema radicular que é peculiar das gramíneas, como a sua própria decomposição.

Na camada de 0-0,05 m houve maior concentração do sistema radicular. Ou seja, maior densidade de comprimento radicular para o M<sub>3</sub>. Para os manejos com permanência (M<sub>2</sub> e M<sub>4</sub>) da fitomassa, houve diferença significativa na camada de 0,05-0,10 m, entre os dois manejos com palha, destacando-se o M<sub>2</sub>, como o de maiores valores de comprimento radicular obtidos. Essa característica de maior comprimento pode estar associado ao efeito condicionador da palha, aumentando a umidade e conseqüente contribuição para o acúmulo de raiz nesta camada. Isto pode explicar dependendo da combinação de época e manejo o que foi verificado para os manejos com permanência da fitomassa, isto é, ambos com presença de palha, uma maior percentagem de cobertura na E<sub>3</sub>, contribuiu para um maior comprimento radicular no M<sub>4</sub>, entretanto o M<sub>2</sub> também apresentou um desenvolvimento radicular muito semelhante a M<sub>4</sub> para esta época.

Para a E<sub>2</sub> é reforçada a explicação que ocorreu uma uniformização dos manejos em função da precipitação pluvial na ocasião da rebrota da E<sub>2</sub>, o que permitiu um maior crescimento radicular no sentido do comprimento, ou seja houve uma maior alongação da raiz, diferindo significativamente na camada de 0,10-0,20 m.

Também se verifica o predomínio do livre crescimento (M<sub>5</sub>) para a camada de 0,05 – 0,10 m da E<sub>3</sub>. Para a camada de 0,10-0,20 pode-se destacar o tratamento E<sub>1</sub>M<sub>3</sub> e os manejos com permanência de palha (M<sub>2</sub> e M<sub>4</sub>) e o livre crescimento (M<sub>5</sub>). Este aspecto está relacionado, no caso da E<sub>1</sub> a provável maior relação parte aérea raiz, por parte de M<sub>3</sub>, e no caso da E<sub>2</sub> para este tratamento pode-se atribuir aos sucessivos cortes com a combinação de precipitação oportuna na rebrota incrementando o sistema radicular (Tabelas 5 e 6).

Os valores de comprimento na camada subsuperficial, de 0,20-0,40 m, para E<sub>1</sub> no manejo com cortes a cada florescimento e permanência M<sub>2</sub>, proporcionaram maiores quantidades de palha, facilitando o alongamento radicular até essa profundidade.

Para E<sub>2</sub> pode-se considerar a uniformização dos tratamentos em função da precipitação na ocasião da rebrota, o que permitiu maior crescimento radicular na

camada de 0,10-0,20 m.

### 6.1.3.2 Área de superfície radicular (AS)

Para a análise de variância da área total de superfície radicular (Tabela 12), os resultados foram significativos para época e manejo, a 1% de probabilidade, com exceção de época para a camada de 0-0,05 m. A interação E x M foi significativa para todas as camadas estudadas.

**Tabela 12.** Análise de variância área de superfície radicular do milho (cm) em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa.

Causas de variação	Valores do teste F			
	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 - 0,20 m	0,20 – 0,40 m
<b>Época (E)</b>	1,936ns	61,418**	19,261**	5,499**
<b>Manejo (M)</b>	5,253**	7,341**	5,281**	12,832**
<b>E x M</b>	10,401**	14,983**	8,721**	10,401**
<b>CV parcela (%)</b>	32,810	35,110	45,010	33,340
<b>CV subparcela (%)</b>	28,530	33,120	42,020	31,040
<b>DMS (E)</b>	4,460	3,019	2,257	1,246
<b>DMS (M)</b>	5,750	3,900	2,914	1,609

\*\* , ns , significativo a 1%, 5%, não significativo, respectivamente.

Para a camada de 0-0,05 m ocorreu diferença para as médias gerais para o M<sub>3</sub> e não houve diferença entre os manejos para E<sub>1</sub> e para a E<sub>2</sub>, no desdobramento da interação, diferiu significativamente o M<sub>3</sub> (Tabela 13).

Para E<sub>3</sub> os manejos com permanência da fitomassa houve aumento significativo da área de superfície radicular. No desdobramento da interação E<sub>2</sub>M<sub>3</sub>, embora com ausência de palha, houve maior AS devido a combinação de maior cobertura do solo em E<sub>2</sub> e a relação provavelmente maior entre parte aérea e raiz proporcionada por M<sub>3</sub>.

**Tabela 13.** Resultados da interação para os valores de área de superfície radicular (cm) em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho.

Manejo da fitomassa	Época de semeadura			Média
	1	2	3	
cm <sup>2</sup>				
0 – 0,05 m				
M1	10,00Aa	7,25Ab	6,50 Ab	7,91b
M2	9,50ABa	7,29Bb	19,00Aa	11,93b
M3	9,50 B a	42,00Aa	4,50Bb	18,67a
M4	5,00Ba	6,00Bb	19,00Aa	10,00b
M5	10,00Aa	3,00Bb	8,25Ab	7,08b
Média	8,80	13,11	11,45	
0,05 – 0,10 m				
M1	4,00Ba	8,00ABb	13,50Ab	8,50c
M2	2,00Ca	22,00Ba	32,50Aa	18,83a
M3	5,75Ba	24,00Aa	9,08Bb	12,94b
M4	3,50Ca	22,00Aa	13,00Bb	12,83b
M5	5,50Ba	5,27Bb	32,00Aa	14,25b
Média	4,15C	16,25B	20,01A	
0,10 - 0,20 m				
M1	3,75Abc	3,00Ac	5,62Aab	4,12b
M2	10,00Ba	19,00Aa	2,50Cb	10,50a
M3	8,00Aab	6,00Ac	10,00Aa	8,00a
M4	2,15Bc	19,00Aa	5,50Bab	8,89a
M5	5,00Babc	12,33Ab	6,03Bab	7,78a
Média	5,78B	11,87A	5,93B	
0,20 – 0,40 m				
M1	6,00Bb	12,00Aa	5,00Ba	7,67a
M2	10,00Aa	4,63Bb	7,00Ba	7,21ab
M3	2,41Ac	3,22Ab	2,00Ab	2,54c
M4	2,50Bc	10,00Aa	4,34Bab	5,61b
M5	9,34Aa	4,00Bb	5,41Ba	6,25ab
Média	6,05A	6,77A	4,75B	

Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste t-LSD-student ( $P < 0,05$ ). Manejo - 1: Ceifa a cada florescimento e retirada da fitomassa; 2: Ceifa a cada florescimento e permanência da fitomassa; 3: Ceifa no florescimento e retirada da fitomassa; 4: Ceifa no florescimento e permanência da fitomassa; 5: Livre crescimento, sem ceifar. Época 1, 2 e 3: primeira, segunda e terceira época de semeadura do milho, respectivamente.

Comparando-se as épocas de semeadura na camada de 0-0,05 m observou-se menor AS no tratamento  $E_2M_5$

Na camada de 0,05-0,10 m houve diferença significativa entre épocas, destacando-se a  $E_3$ , e por sua vez a  $E_2$  em relação a  $E_1$ . O  $M_2$  diferiu significativamente dos demais manejos nesta camada. No desdobramento da interação, não houve diferença para  $E_1$ , entretanto para  $E_2$  houve diferenças para os manejos  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $M_4$  e também na  $E_3$ , o  $M_2$  e o  $M_5$  revelaram significativamente maior área de superfície radicular.

Na camada de 0,10-0,20 m, a AS foi maior na  $E_2$  e o  $M_1$  apresentou os menores resultados. Para esta camada houve diferença entre os dois manejos com permanência, destacando-se o manejo com corte a cada florescimento como o melhor manejo no incremento da AS da  $E_1$ . Já na  $E_2$  os dois manejos com permanência ( $E_2M_2$  e  $E_2M_4$ ) proporcionaram diferença significativa na área de superfície radicular. Para  $E_3$  constatou-se diferença somente para o manejo com retirada da fitomassa ( $M_3$ ) em relação ao  $M_2$ , com permanência e ceifas contínuas.

Na camada de 0,20-0,40 m, as duas épocas ( $E_1$  e  $E_2$ ) foram significativamente superiores a  $E_3$ . Nas médias gerais, o  $M_3$  diferentemente da camada de 0-0,05 m resultou em menores valores de AS.

No desdobramento da interação os manejos  $M_2$  e  $M_5$  para  $E_1$ , o  $M_1$  e  $M_4$  para  $E_2$  diferiram dos demais e na  $E_3$  o  $M_3$  resultou significativamente em menores resultados.

### **6.1.3.3 Diâmetro médio radicular (Dm)**

Na análise de variância para Dm houve diferença para as camadas de 0,05-0,10 e 0,20-0,40 m tanto para época como para manejo. A interação foi significativa nas camadas de 0-0,05 m e 0,20-0,40 m (Tabela 14).

Para a camada de 0,05-0,10 m (Tabela 15) apenas houve diferença nas médias gerais entre a  $E_3$  e  $E_2$ , e com relação aos manejos verificou-se maior Dm para  $M_3$  e  $M_5$ .

Já na camada de 0,20-0,40 m, destacou-se a E<sub>2</sub>, sendo superior a E<sub>1</sub> e E<sub>3</sub>, além do que vale ressaltar que E<sub>3</sub> diferiu de E<sub>1</sub>. Para manejo encontrou-se maiores resultados de Dm nos manejos com permanência da fitomassa, sendo o M<sub>4</sub> significativamente maior do que o M<sub>2</sub>.

**Tabela 14.** Análise de variância do diâmetro médio radicular do milho (cm) em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa.

Causas de variação	Valores do teste F			
	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 - 0,20 m	0,20 – 0,40 m
<b>Época (E)</b>	2,360ns	3,706*	0,488ns	21,00**
<b>Manejo (M)</b>	1,271ns	5,000**	0,733ns	25,50**
<b>E x M</b>	1,906*	1,647ns	1,099ns	32,25**
<b>CV parcela (%)</b>	29,86	12,92	11,80	10,70
<b>CV subparcela (%)</b>	35,70	13,34	6,32	8,52
<b>DMS (E)</b>	0,007	0,007	0,047	0,0038
<b>DMS (M)</b>	0,009	0,009	0,060	0,0049

\*\* , \* , ns , significativo a 1%, 5%, não significativo, respectivamente.

O tratamento E<sub>2</sub>M<sub>4</sub> mostrou maior Dm verificado, em função da cobertura do solo e maior altura das plantas do M<sub>4</sub>, pois, somente foi efetuado um manejo no seu florescimento, por ocasião da emissão de suas panículas, sendo que os resultados favoráveis a este tratamento deveram-se a estas combinações (Tabela 15).

No desdobramento da interação houve diferença na camada de 0-0,05 m. Observando-se os manejos M<sub>1</sub> e M<sub>4</sub> a E<sub>1</sub>, resultou em maiores valores de Dm radicular, resultados que concordam com maiores valores de fitomassa da parte aérea. Para a E<sub>1</sub> o M<sub>4</sub> mostrou-se significativamente maior quanto ao Dm. Para a camada de 0,20-0,40 m da E<sub>3</sub>, o M<sub>2</sub> resultou maior Dm radicular.

Na camada de 0,20-0,40 m da E<sub>2</sub>, revelou-se com maior diâmetro médio o M<sub>4</sub>. A interação também foi significativa, apontando esta combinação como peculiar do ponto de vista de morfologia de raiz.



**Tabela 15.** Interação E x M para os valores de diâmetro médio radicular (cm) em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho.

Manejo da fitomassa	Época de semeadura			Média
	1	2	3	
cm				
0 – 0,05 m				
M1	0,01Ab	0,0001B	0,0001B	0,0033
M2	0,0001Ac	0,0001A	0,0001A	0,0001
M3	0,0001Ac	0,0001A	0,0001A	0,0001
M4	0,025Aa	0,0001B	0,0001B	0,0083
M5	0,0001Bc	0,0001B	0,01A	0,0033
Média	0,0070	0,0001	0,002	
0,05 – 0,10 m				
M1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001b
M2	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001b
M3	0,01	0,0001	0,025	0,0116a
M4	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001b
M5	0,02	0,0001	0,02	0,013a
Média	0,006AB	0,0001B	0,009A	
0,10 - 0,20 m				
M1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
M2	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
M3	0,0001	0,01	0,0001	0,0033
M4	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
M5	0,0001	0,0001	0,01	0,0033
Média	0,001	0,002	0,002	
0,20 – 0,40 m				
M1	0,0001Aa	0,0001Ab	0,0001Ab	0,0001c
M2	0,0001Ba	0,0001Bb	0,020 Aa	0,0067b
M3	0,0001Aa	0,0001Ab	0,0001Ab	0,0001c
M4	0,0001Ba	0,060Aa	0,0001Bb	0,020a
M5	0,0001Aa	0,0001Ab	0,0001Ab	0,0001c
Média	0,0001C	0,012A	0,0040B	

Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste t-LSD-student ( $P < 0,05$ ). Manejo - 1: Ceifa a cada florescimento e retirada da fitomassa; 2: Ceifa a cada florescimento e permanência da fitomassa; 3: Ceifa no florescimento e retirada da fitomassa; 4: Ceifa no florescimento e permanência da fitomassa; 5: Livre crescimento, sem ceifar. Época 1, 2 e 3: primeira, segunda e terceira época de semeadura do milho, respectivamente.

Rosolem et al. (2003) atribuem o entumescimento das extremidades radiculares com melhoria da eficiência na absorção de alguns nutrientes, dentre eles pode-se elencar o íon potássio. Neste mesmo trabalho os autores encontraram valores médios de 0,004 cm de Dm para o milho em ambiente protegido. Para Da Silva et al (2004) este mesmo comportamento foi verificado para o feijoeiro. Associa-se este comportamento a menores teores de água e uma possível lixiviação do potássio contribuindo para incrementar sítios de absorção, que via de regra, pode ser principalmente por difusão.

O comportamento do milho sem efetuar cortes foi objeto de estudo por quatro anos por Sivakumar e Salaam (1999), que relacionaram o crescimento do milho e observaram o desenvolvimento das plantas, atribuindo vários efeitos na planta e no solo à distribuição da precipitação e seu reflexo no sistema radicular.

Pode-se inferir que como a planta é adaptada a veranicos, desde que o seu desenvolvimento inicial não seja comprometido, o milho pode adaptar-se prontamente e desenvolver-se até mesmo melhor do que outras plantas em ambiente favorável, aumentando seu perfilhamento e enraizamento. Em contrapartida, quando a raiz encontra uma barreira física ou química, para melhorar o aproveitamento de nutrientes ela pode aumentar o seu diâmetro.

No entanto, relatos da literatura constataram que as raízes com menor diâmetro são mais promissoras na absorção de nutrientes, principalmente do íon potássio, tendo em vista os relatos de Barber (1984) que apontam que este fato contribui com uma geometria mais favorável, pois as raízes sendo mais finas executam com mais facilidade os mecanismos de absorção dos nutrientes, ao passo que se as propriedades físicas forem limitantes a absorção pode ser comprometida.

## **6.2 Propriedades Químicas**

### **6.2.1 Índice pH**

Para o índice pH, observou-se diferença, de acordo com o teste

F, para época de semeadura, em todas as camadas amostradas, e para manejo, nas camadas de 0,05-0,10 e 0,20-0,40 m (Tabela 16).

**Tabela 16.** Análise de variância para os valores do índice pH do solo em função da época de semeadura e do manejo da fitomassa do milho.

Causas de variação	Valores do teste F			
	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 - 0,20 m	0,20 – 0,40 m
<b>Época (E)</b>	15,052**	12,158**	8,55**	38,01**
<b>Manejo (M)</b>	0,789ns	2,712*	0,86ns	2,93*
<b>E x M</b>	0,789ns	0,976ns	1,05ns	0,93ns
<b>CV parcela (%)</b>	6,48	8,06	5,59	6,87
<b>CV subparcela (%)</b>	3,47	4,06	5,57	6,77
<b>DMS (E)</b>	0,240	0,26	0,17	0,21
<b>DMS (M)</b>	0,305	0,6	0,55	0,52

\*\* , \* , ns , significativo a 1%, 5%, não significativo, respectivamente.

A medida do índice pH fez-se necessária para se verificar o acompanhamento das variáveis estudadas, no entanto, sabe-se que o Nitossolo Vermelho tem alto poder tampão, isto é, não se modifica abruptamente. Entretanto, devido ao tempo em que o calcário foi adicionado (dois anos) algumas diferenças podem ser atribuídas à atuação do sistema radicular, a associação da mineralização da matéria orgânica, com a entrada do cálcio no complexo de troca, bem como o comportamento, tanto do milho como o da soja, para os manejos estudados.

Diante do aspecto de não terem sido adicionadas fontes amoniacais em elevadas doses, isto contribuiu para a elevação do pH associada à calagem em superfície, sendo que se constatou diminuição dessa acidez ativa do solo, corroborando com Ritchey et al. (1980), que demonstraram em seu trabalho em Latossolo Vermelho típico argiloso que a adição de fertilizantes do tipo superfosfato simples, concomitantemente com a semeadura, promoveu aumento do índice pH e adição de Ca e Mg, até mesmo em profundidade.

Tomando como exemplos trabalhos mais recentes, Rheinheimer et al. (2000) não verificaram aumento do pH além da camada de 0-0,05 m.

A tendência de maiores valores de pH encontrados nas camadas superficiais também foi encontrada por Santos e Tomm (1999) e Santos et al. (2003).

Para época de semeadura a E<sub>1</sub> diferiu das demais superficialmente enquanto que de 0,20-0,40 m os menores valores de pH foram por parte de E<sub>2</sub>. Para manejo, o M<sub>3</sub> diferiu significativamente dos demais, nas camadas de 0,05-0,10 m enquanto que na camada de 0,20-0,40 m as diferenças para M<sub>1</sub> e M<sub>4</sub> foram significativamente maiores (Tabela 17).

Os tratamentos com valores de pH em torno de seis coincidiram com maior produtividade de fitomassa do milho. De acordo com os resultados de índice pH, valores em torno de seis expressaram maior produtividade de fitomassa do milho.

Parte da resposta positiva das culturas à calagem pode ocorrer dependendo do manejo da adubação utilizada (EDMEADES et al., 1981). Além disso, a acidificação do solo tende a reduzir a atividade microbiana para decomposição dos materiais orgânicos, liberação de nitrogênio mineral e absorção de N, que, por sua vez, limita o crescimento de plantas. Todavia, isso não foi verificado entre os sistemas de manejo da fitomassa do milho estudados, em razão do acúmulo de material orgânico na superfície como efeito do plantio direto.

Em Monroeville, foi constatada diminuição na produção de fitomassa de milho quando se observou valores de índice pH em torno de 5,5. Houve uma grande produção de forragem quando os valores de pH situaram-se entre 6,2 e 6,7 (MULLINS e REEVES, 1995).

**Tabela 17.** Interação E x M para os valores do índice pH do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho.

Manejo da fitomassa	Época de semeadura			Média
	1	2	3	
pH				
0 – 0,05 m				
M1	6,0	5,8	5,3	5,7
M2	6,0	6,0	5,5	5,8
M3	6,0	5,5	5,3	5,9
M4	5,8	6,0	5,5	5,8
M5	6,0	6,0	5,3	5,8
Média	6,0A	5,9A	5,4B	
0,05 – 0,10 m				
M1	5,3	4,6	4,9	4,9b
M2	5,4	4,7	4,8	4,9b
M3	5,9	5,3	5,0	5,4a
M4	5,1	4,9	5,1	5,0b
M5	5,6	5,0	4,9	5,1b
Média	5,5A	4,89B	4,9B	
0,10 - 0,20 m				
M1	5,1	4,7	5,0	4,9
M2	5,1	4,7	4,8	4,9
M3	5,2	4,5	5,1	4,9
M4	5,0	4,7	4,6	4,7
M5	5,0	4,9	4,8	4,9
Média	5,0A	4,7B	4,9B	
0,20 – 0,40 m				
M1	5,4	4,2	5,4	5,0a
M2	4,9	4,2	4,9	4,7b
M3	5,0	4,3	5,0	4,7ab
M4	5,3	4,7	5,1	5,0a
M5	5,0	4,1	5,0	4,7b
Média	5,1A	4,3B	5,1A	

Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste t-LSD-student ( $P < 0,05$ ). Manejo - 1: Ceifa a cada florescimento e retirada da fitomassa; 2: Ceifa a cada florescimento e permanência da fitomassa; 3: Ceifa no florescimento e retirada da fitomassa; 4: Ceifa no florescimento e permanência da fitomassa; 5: Livre crescimento, sem ceifar. Época 1, 2 e 3: primeira, segunda e terceira época de semeadura do milho, respectivamente.

### 6.2.2 Teor de matéria orgânica do solo

Na análise de variância, para os teores de matéria orgânica, foram constatadas diferenças significativas para época de semeadura na camada de 0-0,05 m, e 0,05-0,10 m (Tabela 18). Para o fator manejo apenas a camada de 0,20-0,40 m mostrou diferença significativa. A interação época x manejo foi significativa na camada de 0-0,05 m.

**Tabela 18.** Análise de variância para os teores de matéria orgânica do solo em função da época de semeadura e do manejo da fitomassa do milho.

Causas de variação	Valores do teste F			
	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 - 0,20 m	0,20 – 0,40 m
<b>Época (E)</b>	37,630**	11,12*	1,32ns	0,01ns
<b>Manejo (M)</b>	2,004ns	3,77ns	1,07ns	2,81*
<b>E x M</b>	6,576**	2,17ns	1,11ns	1,83ns
<b>CV parcela (%)</b>	9,80	12,11	15,06	22,61
<b>CV subparcela (%)</b>	8,80	11,11	13,07	21,01
<b>DMS (E)</b>	1,77	1,87	2,11	2,57
<b>DMS (M)</b>	4,77	3,47	2,8	6,01

\*\* , \* , ns , significativo a 1%, 5%, não significativo, respectivamente.

Para época na camada de 0-0,05 m o teor de matéria orgânica decresceu na seguinte seqüência E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub> (Tabela 19). No desdobramento da interação, na camada de 0-0,05 m houve diferença significativa para E<sub>1</sub> em M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, M<sub>5</sub>, porém o M<sub>4</sub> acumulou mais matéria orgânica na E<sub>2</sub> e na E<sub>3</sub>. Os maiores teores de matéria orgânica, encontrados na camada de 0-0,05 m corroboram com o experimento de Peixoto (2000), que verificou um maior aporte de matéria orgânica nos primeiros cinco centímetros de solo.

Os maiores teores de matéria orgânica do solo encontrados nas camadas superficiais podem ser atribuídos a maior quantidade de fitomassa fornecida pelo milho

**Tabela 19.** Interação para os teores de matéria orgânica do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho.

Manejo da fitomassa	Época de semeadura			Média
	1	2	3	
g dm <sup>-3</sup>				
0 – 0,05 m				
M1	30Aa	26Bb	25Bab	27
M2	38Aa	28Bab	22Cb	29
M3	33Aa	29Aab	25Bab	29
M4	23Bb	30Aa	28ABa	28
M5	28Aab	28Aab	25Bab	29
Média	32A	28B	25C	
0,05 – 0,10 m				
M1	25	22	22	23
M2	27	23	23	24
M3	33	27	22	27
M4	23	24	23	23
M5	26	23	22	23
Média	27A	24B	22C	
0,10 - 0,20 m				
M1	21	22	24	22
M2	24	22	23	23
M3	23	21	22	22
M4	24	21	17	21
M5	24	22	24	23
Média	23	21	22	
0,20 – 0,40 m				
M1	23	16	23	21a
M2	16	17	16	17a
M3	15	18	15	16a
M4	17	22	17	19a
M5	17	16	17	17a
Média	18	18	18	

Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste t-LSD-student ( $P < 0,05$ ). Manejo - 1: Ceifa a cada florescimento e retirada da fitomassa; 2: Ceifa a cada florescimento e permanência da fitomassa; 3: Ceifa no florescimento e retirada da fitomassa; 4: Ceifa no florescimento e permanência da fitomassa; 5: Livre crescimento, sem ceifar. Época 1, 2 e 3: primeira, segunda e terceira época de semeadura do milho, respectivamente.

No sistema de produção estudado houve diferenças significativas entre os valores médios de matéria orgânica do solo para todas as camadas, com exceção da camada de 0,10-0,20 m. Sendo que até mesmo na camada 0,20-0,40 m, o M<sub>1</sub> possuiu maior tendência de acúmulo, o que pode ser explicado pela ação do sistema radicular, ou seja, a translocação de fotoassimilados para a raiz pode ser influenciada por cortes, incrementando o sistema radicular que, conseqüentemente, melhorou o acúmulo de matéria orgânica no solo.

Desde a implantação do SSD observou-se nas médias gerais do experimento que o manejo com retirada e corte a cada florescimento (M<sub>1</sub>), foi o que independentemente da época de semeadura, menos contribuiu com adição de fitomassa ao longo desses anos. No entanto, os teores de matéria orgânica concordam com os obtidos para CTC. Isto foi bem explicado por Prata et al. (1996), que estudaram a influência da matéria orgânica na estabilização das propriedades do solo.

Com relação à época de semeadura, o maior tempo em que o solo ficou coberto na E<sub>1</sub> adicionou maior teor de matéria orgânica superficialmente em todos os manejos, com exceção do M<sub>4</sub>, que apresentou o menor desenvolvimento do sistema radicular. Entretanto, o outro manejo com permanência de palha, embora com cortes a cada florescimento (M<sub>2</sub>) destacou-se expressivamente na análise da primeira época de semeadura, ou seja, após a execução deste período de cortes sucessivos, o M<sub>2</sub> da E<sub>1</sub> contribuiu sensivelmente para melhorar a quantidade de matéria orgânica deste solo e provavelmente até sua qualidade.

Os maiores teores de matéria orgânica observados na sucessão milheto-soja para 0-0,05 corroboram com os resultados de De Maria et al. (1999a), em Latossolo Vermelho, ou seja, acúmulo de matéria orgânica, inclusive com valores mais elevados de P e de K, na camada de 0-0,05 m.

De acordo com Sá (1998), no estudo de vários tipos de solo no estado do Paraná, se constatou aumento de 9 a 27 % no teor de matéria orgânica no plantio direto superficialmente.



### 6.2.3 Carbono orgânico total (COT)

Na análise de variância para os teores carbono orgânico foram constatadas diferenças significativas a 1% para época de semeadura na camada de 0-0,05 m e 0,05-0,10 m. De acordo com os resultados, o teste F mostrou diferenças significativas a 5 % para o fator manejo de 0,05-0,10 e 0,20-0,40 m e para a interação entre 0-0,05 m e 0,05-0,10 m (Tabela 20).

**Tabela 20.** Análise de variância para os teores de carbono orgânico do solo em função da época de semeadura e do manejo da fitomassa do milho.

Causas de variação	Valores do teste F			
	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 - 0,20 m	0,20 – 0,40 m
Época (E)	5,28 <sup>**</sup>	11,01 <sup>**</sup>	1,27 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
Manejo (M)	0,40 <sup>ns</sup>	3,69 <sup>*</sup>	1,13 <sup>ns</sup>	2,92 <sup>*</sup>
E x M	2,02 <sup>*</sup>	2,16 <sup>*</sup>	1,14 <sup>ns</sup>	2,04 <sup>ns</sup>
CV parcela (%)	19,45	12,54	15,02	21,91
CV subparcela (%)	9,45	6,45	13,02	11,91
DMS (E)	1,96	1,13	3,22	3,45
DMS (M)	1,46	2,05	1,23	1,05

<sup>\*\*</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>ns</sup>, significativo a 1%, 5%, não significativo, respectivamente.

A quantidade de carbono orgânico efetivamente adicionada ao solo dependeu principalmente da quantidade de resíduos adicionada e da facilidade de decomposição desses resíduos. Desta forma, há dependência entre o manejo executado (rotação/sucessão) nas culturas, além da adição de matéria seca da parte aérea e da cobertura morta, revelando valores proporcionais de carbono orgânico.

Os aportes de matéria orgânica em solos tropicais geralmente ocorrem superficialmente, entretanto melhor distribuição de chuvas, correta manutenção da cobertura do solo, são fatores determinantes do correto manejo em SSD, entretanto admite-se que em

regiões de inverno seco, o estudo de épocas é muito importante para relacionar o tempo de decomposição, estabilização e a contínua mineralização da matéria orgânica do solo.

Na figura 2 está ilustrada a relação entre os teores de COT e MOS para as épocas  $E_1$  e  $E_3$ , na camada de 0-0,05 m. Para  $E_1$  os menores valores foram encontrados para  $M_4$ , resultado que está de acordo com o menor CR para este tratamento. Comparando – se os dois manejos com permanência da  $E_1$ , pode-se considerar que o maior número de cortes do  $M_2$  tenha favorecido o desenvolvimento das raízes e, conseqüentemente, os teores de MOS e COT.

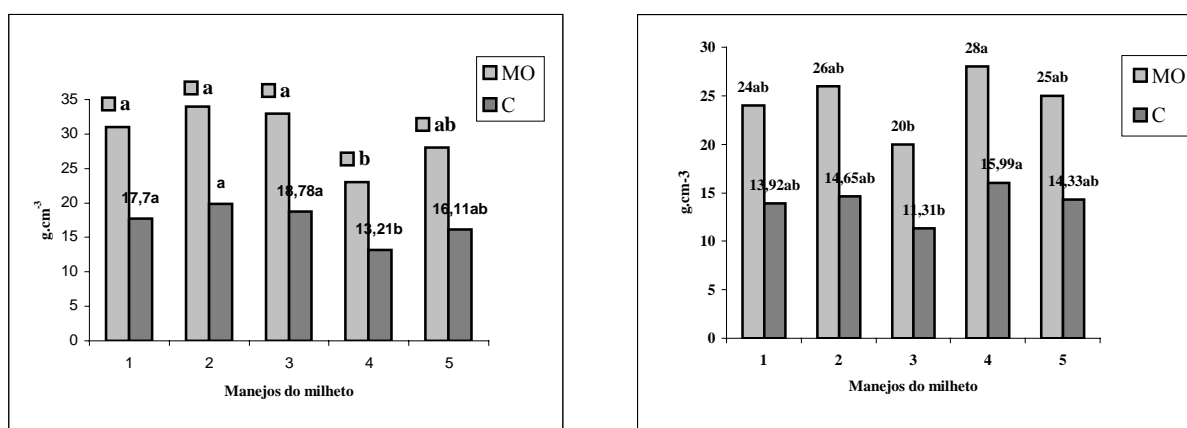


Figura 2. Teor de matéria orgânica do solo (MOS) e do carbono orgânico (CO) para os sistemas de manejo nas épocas de semeadura  $E_1$  (a) e  $E_3$  (b) na camada de 0-0,05 m.

O carbono orgânico total foi maior na primeira época, não havendo diferença entre a  $E_2$  e  $E_3$  na camada de 0-0,05 m e 0,05-0,10 m. Entre 0,05-0,10 m o  $M_3$  revelou-se com maior COT, o que pode estar relacionado a um melhor desenvolvimento do sistema radicular para este manejo. Na camada de 0,20-0,40 destacaram-se os manejos  $M_1$  e  $M_4$ , que não diferiram do  $M_5$  (Tabela 21).

No desdobramento da interação, obtiveram-se diferenças para o  $E_1M_3$  na camada de 0,05-0,10 m, sendo superior a  $E_2$  e essa época por sua vez com maior incremento no carbono orgânico do que em  $E_3$ . Ressalta-se também na camada de 0-0,05 m, um maior aporte de carbono na interação do  $E_2M_4$ , sendo significativamente superior apenas em relação ao manejo com cortes sucessivos e retirada ( $M_1$ ). A interação  $E_1M_3$  proporcionou maior conteúdo de carbono orgânico, o que se deveu, possivelmente, a maior decomposição

**Tabela 21.** Interação E x M para os teores de carbono orgânico (COT) do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho.

Manejo da fitomassa	Época de semeadura			Média
	1	2	3	
g dm <sup>-3</sup>				
0 – 0,05 m				
M1	17Aa	15Bb	15Ba	16
M2	22Aa	16Bab	13Cb	17
M3	19Aa	17Aa	15Ba	17
M4	13Bb	17Aa	16ABa	16
M5	16Aab	16Aab	15Ba	17
Média	19A	16B	15B	
0,05 – 0,10 m				
M1	15Abc	13Ab	13Aa	13b
M2	16Ab	13ABab	13Ba	14ab
M3	19Aa	16Ba	13Ca	16a
M4	13Ac	14Aab	13Aa	13b
M5	15Abc	13ABab	13Ba	13b
Média	16A	14B	13B	
0,10 - 0,20 m				
M1	12	13	14	13
M2	14	13	13	13
M3	13	12	13	13
M4	14	12	10	12
M5	14	13	14	13
Média	13	12	13	
0,20 – 0,40 m				
M1	13	9	13	12a
M2	9	10	9	10c
M3	9	10	9	9b
M4	10	13	10	11ab
M5	10	9	10	10abc
Média	10	10	10	

Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste t-LSD-student ( $P < 0,05$ ). Manejo - 1: Ceifa a cada florescimento e retirada da fitomassa; 2: Ceifa a cada florescimento e permanência da fitomassa; 3: Ceifa no florescimento e retirada da fitomassa; 4: Ceifa no florescimento e permanência da fitomassa; 5: Livre crescimento, sem ceifar. Época 1, 2 e 3: primeira, segunda e terceira época de semeadura do milho, respectivamente.

do sistema radicular existente na E<sub>1</sub> na camada de 0,05-0,10 m. Cereta et al. (1994), trabalhando com culturas no inverno, obtiveram resultados com carbono orgânico da ordem de 11 g kg e valores consideráveis de cobertura do solo, fato este inerente a condição ótima de distribuição de chuvas da região. Amado et al. (1987), estudando um método de determinação de cobertura do solo, obtiveram maiores valores de COT, mesmo com menor porcentagem de solo coberto, o que certamente foi dependente da estação invernal ser chuvosa.

#### 6.2.4 Bases trocáveis (Ca, Mg e K)

A análise de variância para o cálcio mostrou diferença para época em todas as camadas e para manejos de 0,05-0,10 e 0,20-0,40 m (Tabela 22).

**Tabela 22.** Análise de variância para os teores de cálcio do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milheto.

Causas de variação	Valores do teste F			
	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 - 0,20 m	0,20 – 0,40 m
Época (E)	24,584**	3,498*	9,46**	7,80**
Manejo (M)	1,242 <sup>ns</sup>	4,874**	0,52 <sup>ns</sup>	2,59*
E x M	3,493**	2,199*	0,46 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>
CV parcela (%)	23,85	58,60	32,36	55,56
CV subparcela (%)	13,05	24,70	13,50	25,40
DMS (E)	8,443	30,70	11,05	13,05
DMS (M)	10,90	19,25	5,48	8,49

\*\* , \* , <sup>ns</sup> , significativo a 1%, 5%, não significativo, respectivamente.

Para a camada de 0-0,05 m houve diferença significativa para o cálcio no solo, decrescendo seus teores na seguinte seqüência E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> e E<sub>3</sub> (Tabela 23)

Para o cálcio no solo, na camada de 0,05-0,10 m, o M<sub>3</sub> se destacou aos demais manejos. Neste caso menor quantidade de palha foi adicionada ao solo ao longo dos três anos agrícolas. Provavelmente, com a menor adição de palha, a reatividade e o caminhamento dos óxidos de cálcio e magnésio tendem a ser maiores nesse caso do que com

**Tabela 23.** Interação E x M para os teores de cálcio do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho.

Manejo da fitomassa	Época de semeadura			Média
	1	2	3	
mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				
0 – 0,05 m				
M1	69Ab	50Ba	45Ba	54
M2	89Aa	59Ba	33Ca	60
M3	71Aab	44Ba	45Ba	53
M4	45Ac	62Aa	44Aa	50
M5	80Aab	56Ba	42Ba	59
Média	71A	54B	42C	
0,05 – 0,10 m				
M1	36Ab	26Ab	29Aa	30b
M2	49Aab	19Bb	30ABa	32b
M3	71Aa	82Aa	22Ba	58a
M4	23Ab	27Ab	24Aa	25b
M5	41Ab	29Ab	27Aa	32b
Média	44A	36A	26A	
0,10 - 0,20 m				
M1	31	23	30	28
M2	32	18	25	25
M3	38	18	32	29
M4	29	23	28	26
M5	31	20	24	25
Média	32A	20B	28B	
0,20 – 0,40 m				
M1	44	13	44	33a
M2	23	9	23	18c
M3	25	14	25	22b
M4	23	26	32	27a
M5	25	11	25	20b
Média	28A	14B	30A	

Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste t-LSD-student ( $P < 0,05$ ). Manejo - 1: Ceifa a cada florescimento e retirada da fitomassa; 2: Ceifa a cada florescimento e permanência da fitomassa; 3: Ceifa no florescimento e retirada da fitomassa; 4: Ceifa no florescimento e permanência da fitomassa; 5: Livre crescimento, sem ceifar. Época 1, 2 e 3: primeira, segunda e terceira época de semeadura do milho, respectivamente.

máxima cobertura adicionada. Na camada de 0,05-0,10 m houve diferença tanto para época como para manejo. A  $E_1$  foi superior a  $E_3$  e a  $E_2$  não diferiu da  $E_1$  e da  $E_3$ . Para manejo acredita-se que o calcário adicionado tenha proporcionado facilidade no caminhamento do cálcio, devido a combinação entre a característica do  $M_3$  (sem cobertura) e a maior produção de fitomassa de  $E_1$  e  $E_2$ , pois este resultado revelou-se um tanto quanto elevado, já que a calagem foi feita com o intuito da uniformização da área experimental.

Observando-se os resultados de cálcio, para a camada de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, encontra-se diferença apenas para época, se destacando a  $E_2$  com menores resultados para cálcio. Todavia, na camada de 0,20-0,40 m, ficou nítido, o aumento do cálcio, acompanhando o aumento do teor de matéria orgânica. Isto sugere, que a lixiviação de cálcio em áreas de cultivo sem preparo do solo está relacionada à formação de complexos orgânicos hidrossolúveis presentes nos restos das plantas. Na camada superficial do solo, os ligantes orgânicos complexam o cálcio trocável do solo, formando um composto estável ou com carga negativa, o que facilita sua mobilidade no solo (MIYASAWA et al.,1996).

Com o desdobramento da interação, verificou-se para a camada de 0-0,05 m na  $E_1$ , maior teor de cálcio para  $E_1M_2$  em relação ao tratamento  $E_1M_4$ . Para a camada de 0,05-0,10 m, o  $M_3$  na  $E_2$  resultou em maiores teores de cálcio. Já para o  $M_3$  a  $E_1$  e  $E_2$  diferiram da  $E_3$  no acúmulo de cálcio.

A necessidade de realizar calagem em superfície para a adequada condução do trabalho incorre na necessidade de analisar a melhoria dos teores de cálcio e magnésio e na disponibilização destes nutrientes acompanhando a elevação do pH.

Santos e Tomm (1999), no estado do Paraná, em Latossolo Bruno álico, em PD, observaram que valores Ca + Mg trocáveis diminuíram na camada de 0-0,05 cm, em relação à camada de 0,15-0,20 m. Silveira e Stone (2001), no estado de Goiás, em Latossolo Vermelho perférrico, em PD, verificaram maiores teores de Ca + Mg, de P e de K na superfície do solo entre 0-0,10 m do que na camada de 0,10-0,20 m.

Os resultados de Da Silva et al., (2004) mostram que o teor de cálcio influenciou significativamente tanto o comprimento como o diâmetro médio das raízes das plantas analisadas. O mesmo fato acontece com o milho, pois segundo Malavolta (1980), o cálcio desempenha importante função na síntese das paredes celulares, formando pectatos de cálcio, promovendo o crescimento das células, inclusive das células da raiz. Isto sugere coerência entre os resultados de Ca para a  $E_2$  e  $E_3$ , muito embora se sabe que o efeito da maior

cobertura do solo, também auxiliou no melhor desenvolvimento do sistema radicular para essas épocas.

Caires (2000) obteve resultados semelhantes para a produtividade de soja trabalhando com os mesmos teores de cálcio. No entanto, para a cultura do triticale no verão 40 % a menos da dose de calcário seria necessário para a resposta da cultura em produtividade. Os teores de Ca + Mg trocáveis do solo, em todas as camadas, são considerados elevados para o crescimento e desenvolvimento de culturas tradicionais da região. Contudo, esses teores estiveram abaixo do observado na camada de 0-0,05 e 0,05-0,10 m três anos antes, sendo que a aplicação de calcário dolomítico forneceu cálcio e magnésio em quantidades adequadas.

Os resultados obtidos para o Ca (Tabela 23) e também para o Mg (Tabela 25), mostram uma elevação generalizada dos teores na camada superficial.

Na camada subsuperficial, o cálcio dos complexos Ca-orgânico é deslocado pelo alumínio trocável do solo, porque os íons  $Al^{3+}$  formam complexos mais estáveis que  $Ca^{2+}$ , diminuindo a acidez trocável e aumentando o cálcio trocável, sendo que, para o magnésio as reações são semelhantes.

Observando-se a análise de variância (Tabela 24), encontrou-se diferenças tanto para época como para manejo com relação ao magnésio no solo nas camadas de 0,05-0,10 e 0,20-0,40 m e, também, interação significativa nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10 m.

**Tabela 24.** Análise de variância para os teores de magnésio do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milheto.

Causas de variação	Valores do teste F			
	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 - 0,20 m	0,20 – 0,40 m
<b>Época (E)</b>	2,188ns	8,807**	2,82ns	6,67**
<b>Manejo (M)</b>	1,338ns	6,085**	0,68ns	3,73*
<b>E x M</b>	2,311*	2,499*	0,80ns	0,41ns
<b>CV parcela (%)</b>	25,25	29,14	34,91	45,44
<b>CV subparcela (%)</b>	23,15	27,14	33,92	43,25
<b>DMS (E)</b>	3,948	3,193	3,11	0,60
<b>DMS (M)</b>	5,097	4,122	3,12	3,29

\*\* , \* , ns, significativo a 1%, 5%, não significativo, respectivamente.

Para a camada de 0,05-0,10 m, a  $E_1$  apresentou maiores resultados de Mg e o  $M_3$  foi significativamente superior. Já para a camada de 0,20-0,40 tanto a  $E_1$  como a  $E_3$  diferiram de  $E_2$  (Tabela 25).

Desdobrando-se a interação, na camada de 0-0,05 m, para o  $M_2$ , a  $E_1$  apresentou, significativamente, maiores maiores teores de magnésio que a  $E_3$ . Para o  $M_3$ , a  $E_1$  foi significativamente maior que  $E_2$ .

Para a camada de 0,05-0,10 m verificou-se para o  $M_2$ , diferença significativa de  $E_1$  em relação a  $E_2$  e, para o  $M_3$ , a  $E_1$  foi significativamente superior a  $E_2$  e  $E_3$ , para o magnésio no solo.

Entretanto, a tendência é de o magnésio ter um movimento de “descida”, ou melhor, de caminhamento ao longo do perfil do solo, tendo maior mobilidade do que o cálcio, devido a suas próprias características físico-químicas. Caires (2000) obteve resultados de excelente resposta ao magnésio na sucessão triticales - soja. No entanto, utilizou na adubação menores quantidades de MgO por hectare, o que sugere que o histórico da área e o esquema de rotação de culturas é um aspecto a ser considerado.

Os resultados da análise de variância de potássio estão expressos na Tabela 26. Observa-se que houve significância para o teste F, com relação a época de semeadura em todas as camadas, com exceção da camada de 0,20-0,40 m. Já para manejo, na camada de 0,10-0,20 m e para o estudo da interação, nas de 0,05-0,10 (5% de probabilidade) e 0,10-0,20 (1% de probabilidade), ocorreram valores significativos.



**Tabela 25.** Interação para os teores de magnésio do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho.

Manejo da fitomassa	Época de semeadura			Média
	1	2	3	
mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				
0 – 0,05 m				
M1	23Abc	21Ab	25Aa	23
M2	31Aab	23ABab	18Ba	24
M3	33Aa	21Bab	25ABa	26
M4	19Ac	26Aab	23Aa	23
M5	27Aabc	30Aa	24Aa	27
Média	27	24	23	
0,05 – 0,10 m				
M1	18Abc	15Aab	15Aa	16b
M2	21Ab	11Bb	18ABa	17b
M3	33Aa	21Ba	16Ba	23a
M4	13Ac	14Aab	15Aa	14b
M5	20Abc	15Aab	14Aa	16b
Média	21A	15B	15B	
0,10 - 0,20 m				
M1	16	13	16	15
M2	15	11	11	12
M3	15	11	19	15
M4	13	15	17	15
M5	16	10	13	13
Média	15	12	15	
0,20 – 0,40 m				
M1	17	7	17	13ab
M2	10	6	10	9c
M3	11	7	11	10bc
M4	16	13	16	15a
M5	11	6	11	10bc
Média	13A	8B	13A	

Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste t-LSD-student ( $P < 0,05$ ). Manejo - 1: Ceifa a cada florescimento e retirada da fitomassa; 2: Ceifa a cada florescimento e permanência da fitomassa; 3: Ceifa no florescimento e retirada da fitomassa; 4: Ceifa no florescimento e permanência da fitomassa; 5: Livre crescimento, sem ceifar. Época 1, 2 e 3: primeira, segunda e terceira época de semeadura do milho, respectivamente.

**Tabela 26.** Análise de variância para os teores de potássio do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho.

Causas de variação	Valores do teste F			
	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 - 0,20 m	0,20 – 0,40 m
<b>Época (E)</b>	18,208**	56,638**	22,97**	0,91 <sup>ns</sup>
<b>Manejo (M)</b>	1,135 <sup>ns</sup>	0,885 <sup>ns</sup>	8,64**	1,56 <sup>ns</sup>
<b>E x M</b>	1,713 <sup>ns</sup>	2,787*	2,83**	0,83 <sup>ns</sup>
<b>CV parcela (%)</b>	31,18	12,83	22,26	44,74
<b>CV subparcela (%)</b>	36,31	26,03	21,36	18,25
<b>DMS (E)</b>	1,04	0,175	0,48	3,54
<b>DMS (M)</b>	1,35	0,225	1,2	2,2

\*\* , \* , <sup>ns</sup>, significativo a 1%, 5%, não significativo, respectivamente.

Embora os valores encontrados para os coeficientes de variação para o elemento potássio no solo tenham sido elevados, foram realizadas repetições laboratoriais adicionais que confirmaram a mesma tendência.

No sistema de semeadura direta freqüentemente ocorre grande variabilidade para o potássio no solo, devido às aplicações serem realizadas na linha de semeadura, e a alternância de espaçamento das culturas. Resultados semelhantes foram encontrados por Salet et al. (1996) e Anghinoni e Salet, (1998), que consideraram a fase de implantação do sistema de semeadura direta até cinco anos.

Ao se analisar as médias gerais (Tabela 27) na camada de 0,10-0,20 m para o K, verifica-se que maiores teores do elemento corroboraram com o desempenho radicular verificado para M<sub>3</sub>, com maior comprimento, pois este acréscimo dos teores de potássio no solo, devem-se as raízes do milho que aumentaram seu alongamento radicular para facilitar a absorção do elemento nesta camada.

Pode-se inferir que a contribuição do manejo com permanência e corte apenas no primeiro florescimento (M<sub>4</sub>) foi uniforme em todas as épocas de semeadura, revelando-se com maior efeito de reciclagem e incremento do potássio no solo após a estabilização e o tempo de implantação do sistema, sendo mais eficiente independentemente da época de semeadura. Contudo o M<sub>4</sub> não diferiu na média geral do experimento de acordo com os manejos estudados, muito embora se verifique uma tendência de acúmulo superficial

**Tabela 27.** Interação para os teores de potássio do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho.

Manejo da fitomassa	Época de semeadura			Média
	1	2	3	
mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				
0 – 0,05 m				
M1	6,25	5,00	2,75	4,7
M2	5,25	6,00	3,50	4,9
M3	7,75	5,00	2,75	5,2
M4	6,25	6,50	5,00	5,9
M5	5,75	7,75	3,25	5,6
Média	6,3A	6,1A	3,4B	
0,05 – 0,10 m				
M1	2,3Ab	2,4Aa	1,4Bb	2,0
M2	2,4Ab	2,3Aa	1,9Ba	2,2
M3	2,9Aa	2,2Ba	1,5Cb	2,2
M4	2,3Ab	2,2Aa	1,7Bab	2,1
M5	2,3Ab	2,6Aa	1,5Bb	2,1
Média	2,4A	2,3A	1,6B	
0,10 - 0,20 m				
M1	3,5Ab	3,7Aabc	2,1Bb	3,1b
M2	4,6Aab	4,5Ab	3,5Aa	4,2a
M3	2,3Ac	3,1Ac	2,3Ab	2,6b
M4	4,5Aab	3,1Bc	2,4Bab	3,3a
M5	4,8Aa	4,9Aa	2,1Bb	3,9a
Média	3,9A	3,9A	2,5B	
0,20 – 0,40 m				
M1	2,9	2,9	2,9	2,9
M2	3,1	2,6	3,1	2,9
M3	2,9	1,9	2,9	2,6
M4	3,9	4,3	3,3	3,8
M5	2,3	2,9	2,3	2,5
Média	3,0	2,9	3,9	

Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste t-LSD-student ( $P < 0,05$ ). Manejo - 1: Ceifa a cada florescimento e retirada da fitomassa; 2: Ceifa a cada florescimento e permanência da fitomassa; 3: Ceifa no florescimento e retirada da fitomassa; 4: Ceifa no florescimento e permanência da fitomassa; 5: Livre crescimento, sem ceifar. Época 1, 2 e 3: primeira, segunda e terceira época de semeadura do milho, respectivamente.

em todas as épocas de semeadura. Entretanto, na camada de 0,10-0,20 m este teor foi muito menor, mas a E<sub>3</sub> manteve a mesma tendência para este manejo.

Nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m da E<sub>3</sub> para os manejos, pode-se acreditar que o M<sub>2</sub> e M<sub>4</sub> foram eficientes na reciclagem do potássio. Em função da contínua adição em cobertura por parte da fitomassa do milho na camada de 0,10-0,20 m as interações E<sub>1</sub>M<sub>5</sub> e E<sub>2</sub>M<sub>5</sub> mostraram maior teor de potássio em relação à E<sub>3</sub>M<sub>5</sub>.

O acúmulo de potássio nas duas primeiras épocas acompanhou a melhoria na CTC do solo. Além da solubilização do elemento potássio da palha (SALTON e HERNANI, 1994), verificou-se que as plantas de milho proporcionaram por mais tempo a cobertura do solo em E<sub>2</sub>. Diante disso, associando-se a calagem, houve incremento nos ganhos da fertilidade do solo para esta época, o que pode também ter contribuído para uma melhor fitomassa remanescente.

O teor de potássio trocável do solo, nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10 m, foi superior ao considerado crítico (80 mg kg<sup>-1</sup>) para crescimento e desenvolvimento de culturas. Além disso, o teor de K em todos os manejos e nas camadas de 0-0,05 a 0,10-0,20 m manteve-se acima do encontrado na caracterização da área experimental.

O M<sub>3</sub> para E<sub>1</sub>, e o M<sub>2</sub> para E<sub>3</sub> foram significativamente melhores no acúmulo de potássio no solo, ao longo da sucessão milho-soja, para a camada de 0,05-0,10 m. No desdobramento da interação, para a camada de 0-0,05 m, para M<sub>2</sub>, houve maior tendência de acúmulo para E<sub>2</sub> em relação a E<sub>1</sub> embora não tenha diferido desta, houve diferença em relação a E<sub>3</sub>. Por outro lado o livre crescimento (M<sub>5</sub>) foi significativamente superior a o acúmulo de potássio para E<sub>2</sub>.

Spitalniak et al. (1995) verificou que o milho, se comparado ao milho, possui absorção do elemento potássio mais prolongada, podendo-se inferir que este fato também tenha relevância em cada corte que foi efetuado, explicando, porque o milho possui uma maior capacidade recicladora deste elemento.

De Maria et al (1999) esclarecem que o acúmulo de potássio nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20 -0,40 m deve-se a uma provável lixiviação. Sendo assim, acredita-se que com o efeito de reciclagem das épocas E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub>, ficou notório este incremento para estas camadas no presente estudo sobre a sucessão milho - soja.

Estes resultados estão de acordo com Rosolem (2003), que verificou que em menores teores de potássio a área superficial radicular aumentou. Hallmark e Barber (1981), atribuem esse comportamento a um mecanismo de compensação da planta.

Este comportamento pode ser atribuído ao milheto, que segundo Salton e Kichel (1997), recicla nutrientes através da fitomassa em cobertura, com seu sistema radicular que pode atingir até dois metros, podendo contribuir eficientemente para o incremento do potássio a profundidades maiores.

Os resultados de Wiethölter et al., (1998), que se assemelham aos obtidos com o incremento nos teores superficiais deste elemento, pode ser atribuídos, à capacidade das plantas absorverem altas quantidades de potássio e, por isso, na maioria das espécies, observa-se alto teor nos restos culturais, superficialmente, no sistema de semeadura direta, uma vez que a lixiviação do elemento na palha é bastante facilitada, pois não está ligado as moléculas estáveis dentro das plantas.

O potássio tem alta mobilidade na planta, em qualquer concentração, seja dentro da célula, seja no tecido vegetal, no xilema ou no floema. O potássio não é metabolizado na planta e forma ligações com moléculas orgânicas de fácil reversibilidade. Além disso, é o íon mais abundante nas células vegetais (MARSCHNER, 1995). Sendo assim, o efeito significativo nas camadas de solo pelo menos até 0,2 m, pode ser explicado pelo milheto ter ficado, por mais tempo como cobertura do solo, seja quanto mais antecipada a época de semeadura, melhor será a reciclagem deste elemento no sistema solo-planta.

Os resultados com a cultura do milheto relatados por Rosolem et al. 2003, demonstraram que o aumento da superfície radicular do milheto relacionou-se com o menor teor de potássio no solo, ficando na ordem de 17 cm<sup>2</sup>. Em condições de campo no presente trabalho, na camada de 0-0,05 m este comportamento também ocorreu, destacando-se os manejos M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> e M<sub>4</sub>.

### **6.2.5 Capacidade de troca catiônica (CTC)**

A análise de variância, apresentada na Tabela 28, resultou em diferença significativa para época nas camadas de 0-0,05 0,05-0,010 e 0,20-0,40 m, para manejo na camada de 0,05-0,10, e para a interação não houve diferença significativa em nenhuma das camadas avaliadas.

**Tabela 28.** Análise de variância para os valores de capacidade de troca catiônica do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho.

Causas de variação	Valores do teste F			
	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 - 0,20 m	0,20 – 0,40 m
<b>Época (E)</b>	17,691**	3,778*	0,17ns	12,46**
<b>Manejo (M)</b>	1,170ns	5,033**	0,25ns	1,17ns
<b>E x M</b>	3,010ns	1,519ns	0,41ns	0,95ns
<b>CV parcela (%)</b>	12,09	21,08	8,51	16,28
<b>CV subparcela (%)</b>	10,08	20,07	7,04	13,08
<b>DMS (E)</b>	8,75	13,34	4,90	8,84
<b>DMS (M)</b>	11,30	17,22	3,9	7,04

\*\* , \* , ns , significativo a 1%, 5%, não significativo, respectivamente.

A CTC do solo na superfície mostrou diferenças significativas que acompanham os resultados obtidos para os teores de matéria orgânica, decrescendo na seguinte ordem: E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> e E<sub>3</sub>, na camada de 0-0,05 m, de acordo com a Tabela 29.

A interação dos tratamentos não foi significativa para CTC, destacando-se significativamente na análise dos manejos com corte a cada florescimento e permanência o M<sub>2</sub>.

O comportamento observado para o M<sub>3</sub> foi comprovado também para o Ca, elemento que contribuiu significativamente para compor a CTC. As plantas de milho foram submetidas a um corte apenas no primeiro florescimento, tendo isto contribuído para a disponibilização deste elemento, pois de outra forma, com a adição de material orgânico, não decomposto, a solubilização deste nutriente pode ter sido retardada. Isto é, considerando os manejos com ceifa a cada florescimento.

Estes resultados de CTC concordam com o trabalho de Bayer e Mielnickzuk (1997), que concluem sobre a elevada adição de resíduos culturais que promoveram, após cinco anos, aumento na própria CTC, e nos teores de carbono orgânico

**Tabela 29.** Interação E x M para os valores de capacidade de troca catiônica do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho.

Manejo da fitomassa	Época de semeadura			Média
	1	2	3	
mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				
0 – 0,05 m				
M1	121	108	105	111
M2	145	116	90	117
M3	132	106	105	114
M4	102	119	101	107
M5	133	119	102	118
Média	126A	113B	101C	
0,05 – 0,10 m				
M1	95	96	89	93 b
M2	108	94	93	98b
M3	132	147	88	122a
M4	83	92	86	87 b
M5	102	97	87	95b
Média	104A	105A	90B	
0,10 - 0,20 m				
M1	91	87	87	88
M2	91	89	90	90
M3	91	90	91	91
M4	89	90	94	91
M5	92	92	85	90
Média	91	90	89	
0,20 – 0,40 m				
M1	87	93	96	92
M2	77	101	77	85
M3	76	92	76	81
M4	74	104	74	84
M5	74	96	74	82
Média	77B	97A	79B	

Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste t-LSD-student ( $P < 0,05$ ). Manejo - 1: Ceifa a cada florescimento e retirada da fitomassa; 2: Ceifa a cada florescimento e permanência da fitomassa; 3: Ceifa no florescimento e retirada da fitomassa; 4: Ceifa no florescimento e permanência da fitomassa; 5: Livre crescimento, sem ceifar. Época 1, 2 e 3: primeira, segunda e terceira época de semeadura do milho, respectivamente.

total, com reflexos na maior retenção de cátions, restringindo estas modificações às camadas superficiais.

Para os resultados encontrados sobre as diferenças de CTC, pode-se inferir que na primeira época, com a somatória dos três anos do presente experimento, o solo ficou por mais tempo com cobertura vegetal. Desta forma, proporcionaram-se condições para as bases trocáveis serem deslocadas no sistema, envolvendo positivamente a relação solo-planta, deslocando estes elementos prontamente adsorvíveis na superfície de carga negativa de seus colóides, reciclando-os, sendo que a sucessão milho-soja contribuiu categoricamente.

### 6.3 Fracionamento Químico da Matéria Orgânica do Solo

De acordo com a análise de variância houve diferença significativa para o fator época em todas as camadas para todas as frações húmicas. Para o fator manejo na camada de 0-0,05 m não houve diferenças. Com relação a interação apenas o ácido fúlvico de 0,05-0,10 m e a humina de 0-0,05 m, não foram desdobradas (Tabela 30).

**Tabela 30.** Análise de variância para as frações húmicas em função da época e do manejo do milho.

Causas de variação	Valores do Teste F					
	C-AH		C-AF		C-HU	
	0,0-0,05m	0,05-0,10m	0,0-0,05m	0,05-0,10m	0,0-0,05m	0,05-0,10m
<b>Época (E)</b>	23,03**	11,15**	17,75**	9,66**	2,697*	11,085**
<b>Manejo (M)</b>	1,50 <sup>ns</sup>	3,32*	1,70 <sup>ns</sup>	3,37*	0,303 <sup>ns</sup>	3,445*
<b>E x M</b>	2,94*	2,31*	2,33*	1,70 <sup>ns</sup>	1,687 <sup>ns</sup>	2,187*
<b>CV<sub>parcela</sub> (%)</b>	13,43	12,03	15,01	13,38	11,05	10,02
<b>CV<sub>subparcela</sub> (%)</b>	11,02	12,03	16,02	12,03	11,02	10,01
<b>DMS (E)</b>	0,13	0,11	0,21	0,31	1,71	0,79
<b>DMS (M)</b>	0,17	0,14	0,27	0,38	2,21	1,02

\*\* , \* , <sup>ns</sup> , significativo a 1%, 5%, não significativo, respectivamente.



### 6.3.1 Carbono ligado aos ácidos húmicos (C-AH)

Para a fração C-AH houve diferença para época de semeadura de 0-0,05 m e 0,05-0,10 m e para manejo entre 0,05-0,10 m, além da interação para ambas as camadas.

Para a camada de 0-0,05 m houve diferença significativa para E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub> em relação a E<sub>3</sub> no teor de C-AH. Já para a camada de 0,05-0,10 m, o M<sub>3</sub> e a E<sub>1</sub> foram significativamente superiores (Tabela 31).

**Tabela 31.** Interação E x M para o ácido húmico (C-AH) em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho.

Manejo da fitomassa	Época de semeadura			Média
	1	2	3	
g dm <sup>-3</sup>				
0 – 0,05 m				
M1	1,77Aab	1,48Aa	1,29Ba	1,52
M2	1,99Aa	1,58ABa	1,33Ba	1,63
M3	1,88Aab	1,66 Aa	1,25Ba	1,59
M4	1,32Bc	1,72 Aa	1,34Ba	1,46
M5	1,61Abc	1,60 Aa	1,24Ba	1,48
Média	1,71A	1,60A	1,29B	
0,05 – 0,10 m				
M1	1,43Abc	1,29Ab	1,30Aa	1,34b
M2	1,58Ab	1,35ABab	1,33Ba	1,42b
M3	1,88Aa	1,55Ba	1,25Ca	1,56a
M4	1,32Ac	1,42Aab	1,34Aa	1,36b
M5	1,51Abc	1,33ABab	1,24Ba	1,36b
Média	1,54A	1,39B	1,29B	

Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste t-LSD-student (P<0,05). Manejo - 1: Ceifa a cada florescimento e retirada da fitomassa; 2: Ceifa a cada florescimento e permanência da fitomassa; 3: Ceifa no florescimento e retirada da fitomassa; 4: Ceifa no florescimento e permanência da fitomassa; 5: Livre crescimento, sem ceifar. Época 1, 2 e 3: primeira, segunda e terceira época de semeadura do milho, respectivamente.

Na camada de 0,05-0,10 o M<sub>3</sub> apresentou diferença significativa em relação aos demais manejos, o que pode estar relacionado a uma possível decomposição do sistema radicular do milho, bem como ao considerável desenvolvimento radicular nesta camada.

No desdobramento da interação para C-AH, constatou-se para E<sub>2</sub> maiores teores desta fração no M<sub>3</sub>, Para a camada de 0,05-0,10 m foi significativa a interação do tratamento E<sub>1</sub>M<sub>3</sub>, sendo superior na comparação das épocas decrescendo seus teores: E<sub>1</sub> > E<sub>2</sub> > E<sub>3</sub>.

O M<sub>3</sub> apresentou maior quantidade de C-AH, nas médias gerais e nas épocas E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub>, comportamento que pode ser atribuído ao maior teor de CO e ao maior desenvolvimento do sistema radicular.

Ceretta et al. (1997), analisando o acúmulo da fração húmica em três profundidades, com sucessão de culturas em plantio direto, estabelecido a seis anos, constataram incrementos na quantidade de carbono armazenado, principalmente nas frações ácido húmico e ácido fúlvico, e predomínio da C-HU, além do que os teores de C-AH variaram no intervalo de 1,5-3,0 g kg<sup>-1</sup>, sendo que quando o sistema consistia na utilização de gramíneas o aporte desta fração foi maior.

Os teores obtidos para as frações húmicas e a maior proporção da fração C- AF em relação a húmica concordam com os resultados de Gonçalves (2003), verificados para condições de clima tropical, com milho safrinha e adição de calagem em superfície.

Pizauro Jr e Melo. (1995) obtiveram resultados menores de C-AH, da ordem de 0,8 g. Kg<sup>-1</sup>, tanto para o sorgo como para o lab-labe.

Kumada (1987) que realizou estudos com solos de várias partes do mundo encontrou diferentes proporções entre ácidos húmicos e fúlvicos na matéria orgânica, atribuiu tais diferenças ao processo de humificação, que é dependente de fatores como clima, relevo e tempo de decomposição da vegetação.

### 6.3.2 Carbono ligado aos ácidos fúlvicos (C-AF)

Para a fração C-AF, houve diferença significativa nas camadas de 0-0,05 e 0-0,050,10 m, para manejo na camada de 0-0,05 m e a interação não foi significativa, sendo que os resultados diferiram significativamente para o fator época sendo maiores para E<sub>1</sub>, como ocorreu também para o C-AH (Tabela 32).

**Tabela 32.** Interação E x M para os teores de ácido fúlvico (C-AF) do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho.

Manejo da fitomassa	Época de semeadura			Média
	1	2	3	
g dm <sup>-3</sup>				
0 – 0,05 m				
<b>M1</b>	3,05Aab	2,56Ba	2,23Ba	2,61
<b>M2</b>	3,42Aa	2,73Ba	2,30Ca	2,82
<b>M3</b>	3,24Aab	2,86Ba	2,15Ca	2,75
<b>M4</b>	2,28Bb	2,97Aa	2,31Ca	2,52
<b>M5</b>	2,78Aab	2,48Aa	2,14Ba	2,46
<b>Média</b>	2,95A	2,72B	2,22C	
0,05 – 0,10 m				
<b>M1</b>	2,46	2,23	2,23	2,31ab
<b>M2</b>	2,72	2,32	2,30	2,44ab
<b>M3</b>	3,24	2,67	2,15	2,69a
<b>M4</b>	2,28	2,18	2,31	2,26b
<b>M5</b>	2,59	2,30	2,14	2,34ab
<b>Média</b>	2,66A	2,34B	2,22B	

Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste t-LSD-student ( $P < 0,05$ ). Manejo - 1: Ceifa a cada florescimento e retirada da fitomassa; 2: Ceifa a cada florescimento e permanência da fitomassa; 3: Ceifa no florescimento e retirada da fitomassa; 4: Ceifa no florescimento e permanência da fitomassa; 5: Livre crescimento, sem ceifar. Época 1, 2 e 3: primeira, segunda e terceira época de semeadura do milho, respectivamente.

Na camada de 0-0,05 m para o desdobramento da interação para  $E_1$ , o manejo  $M_5$ , diferiu dos demais, com menores teores. Para época dentro dos manejos, somente o tratamento  $E_2M_4$  diferiu significativamente. Para o  $E_1M_4$  houve menores teores igualmente ao carbono orgânico.

Estes resultados podem estar associados aos teores de carbono orgânico encontrados para  $E_1M_4$  e  $E_2M_4$ , ou seja, menores para  $E_1M_4$  e maiores para  $E_2M_4$

Pizauro Jr e Mello (1995) e Souza e Mello (2003), avaliando o efeito da incorporação de material vegetal sobre as frações da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho Escuro textura média, obtiveram valores maiores da fração C-AF em relação ao C-AH para todos os tratamentos. Estes valores para a fração C-AH situaram-se no intervalo de 1,5-2,5 g kg<sup>-1</sup>, o que segundo Pizauro Jr e Mello (1995), deve-se ao estágio de evolução da matéria orgânica, ou seja, um solo, com maior teor de C-AH, está com um grau de humificação maior.

### **6.3.3 Carbono ligado à fração humina**

Para a fração humina (C-HU) houve diferença para época nas duas camadas amostradas e diferença significativa de 0,05-0,10 m para manejo e para a interação (Tabela 33). Na camada de 0-0,05 m a  $E_1$  foi significativamente superior a época mais tardia ( $E_3$ ).

Na camada de 0,05-0,10 m a diferença significativa de  $E_1$  ocorreu em relação a  $E_2$  e  $E_3$ . Não houve diferença para o fator manejo na camada de 0-0,05 m, muito embora na de 0,05-0,10 m houve diferença, apontando maiores valores para  $M_3$  em relação a todos os outros manejos estudados, corroborando com outras propriedades do solo analisadas, tais como matéria orgânica, carbono orgânico, cálcio e magnésio. Ao desdobrar-se a interação verificou-se que o  $M_3$  foi significativamente maior na  $E_1$  e também o  $E_1M_3$  foi superior significativamente ao  $E_2M_3$  e este, por sua vez, em relação a  $E_3M_3$ .

**Tabela 33.** Interação E x M para os teores de humina (HU) do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho.

Manejo da fitomassa	Época de semeadura			Média
	1	2	3	
g dm <sup>-3</sup>				
0 – 0,05 m				
<b>M1</b>	12,58	11,04	10,98	11,53
<b>M2</b>	16,63	11,93	9,13	12,37
<b>M3</b>	14,02	12,30	11,10	12,48
<b>M4</b>	9,74	12,71	12,59	12,26
<b>M5</b>	11,85	12,16	11,12	12,88
<b>Média</b>	13,9A	11,92B	10,99B	
0,05 – 0,10 m				
<b>M1</b>	10,61Abc	9,24Ab	9,23Aa	9,69b
<b>M2</b>	11,36Ab	9,67Aab	9,71 Aa	10,06b
<b>M3</b>	14,02Aa	11,44Ba	9,36Ca	11,41a
<b>M4</b>	9,74Ac	10,32Aab	9,69 Aa	9,72b
<b>M5</b>	10,98Abc	9,71ABab	9,38 Ba	9,64b
<b>Média</b>	11,46A	10,19B	9,25C	

Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste t-LSD-student ( $P < 0,05$ ). Manejo - 1: Ceifa a cada florescimento e retirada da fitomassa; 2: Ceifa a cada florescimento e permanência da fitomassa; 3: Ceifa no florescimento e retirada da fitomassa; 4: Ceifa no florescimento e permanência da fitomassa; 5: Livre crescimento, sem ceifar. Época 1, 2 e 3: primeira, segunda e terceira época de semeadura do milho, respectivamente.

A qualidade da matéria orgânica do solo não mostrou diferenças entre os sistemas de manejo da fitomassa do milho para as épocas de semeadura E<sub>2</sub> e E<sub>3</sub>. Diz-se qualidade com referência a fração humina (Figuras 3 e 4), pois se sabe que é a fração mais estável e menos sujeita a mudanças. Martim et al. (1982), ao avaliarem a perda acumulativa de matéria orgânica em solos de carga variável (tropicais), ressaltaram a importância de solos de carga dependentes de pH, pois a fração mineral está intimamente ligada, e a humina é a fração

mais estável, que dificulta a perda do estoque de carbono dos solos.

Souza e Mello (2003), estudando diferentes sistemas de produção envolvendo soja e milho, também obtiveram resultados que favoreceram a elevação dos teores de carbono na fração húmica superficialmente. Conforme comentam Tate III (1987) e Brady (1989) o maior valor de carbono na forma de húmica implica, em última instância, em maior retenção de água, além da melhoria na qualidade física e química do solo, fatores de extrema importância quando se estuda o desenvolvimento de sistemas sustentáveis de produção agrícola. Santos (2000), também encontrou resultados similares com a cultura do milho.

Por outro lado, Dabin (1986), estudando a evolução dos compartimentos húmicos em solos argilosos da África tropical, constatou que a evolução do carbono e a estabilização do sistema agrícola, com 2000 mm de precipitação anual, sucedeu-se entre o terceiro e o quarto ano com adição contínua de fitomassa em cobertura, e que a evolução da húmica em solos tropicais proporciona incremento da fração ácido húmico. Pode-se verificar que os valores encontrados por Dabin (1986) em clima tropical úmido correspondem aos verificados para a húmica no solo.

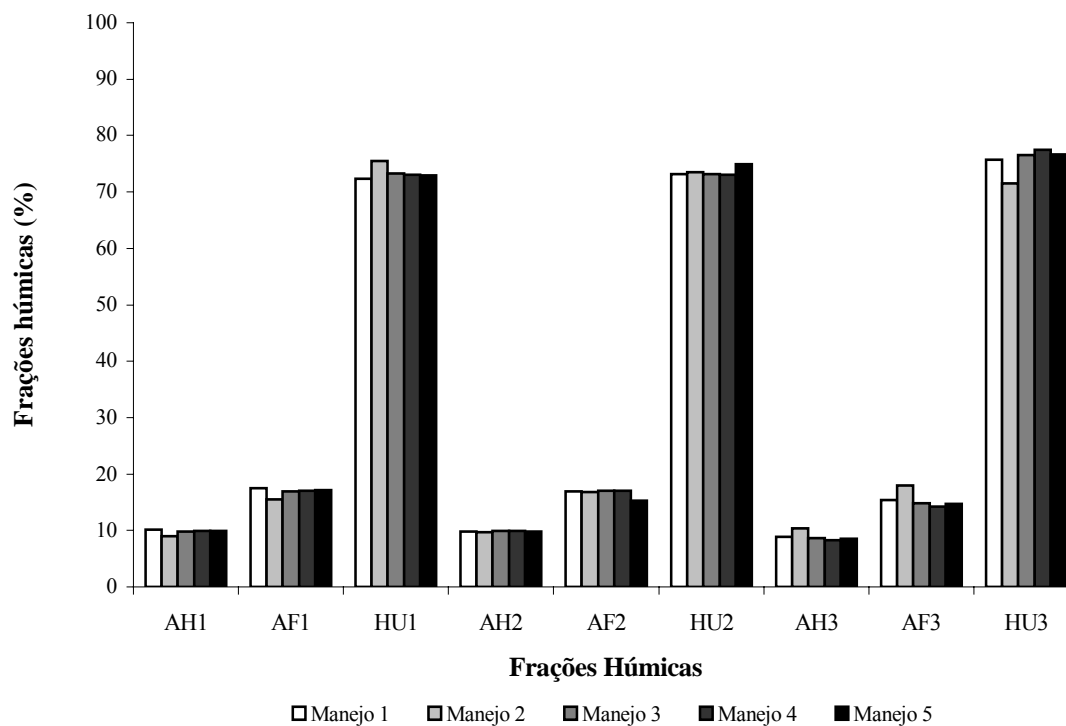


Figura 3. Porcentagem das frações húmicas do solo na camada de 0-0,05 m, em função da época de semeadura e do manejo da fitomassa do milho.

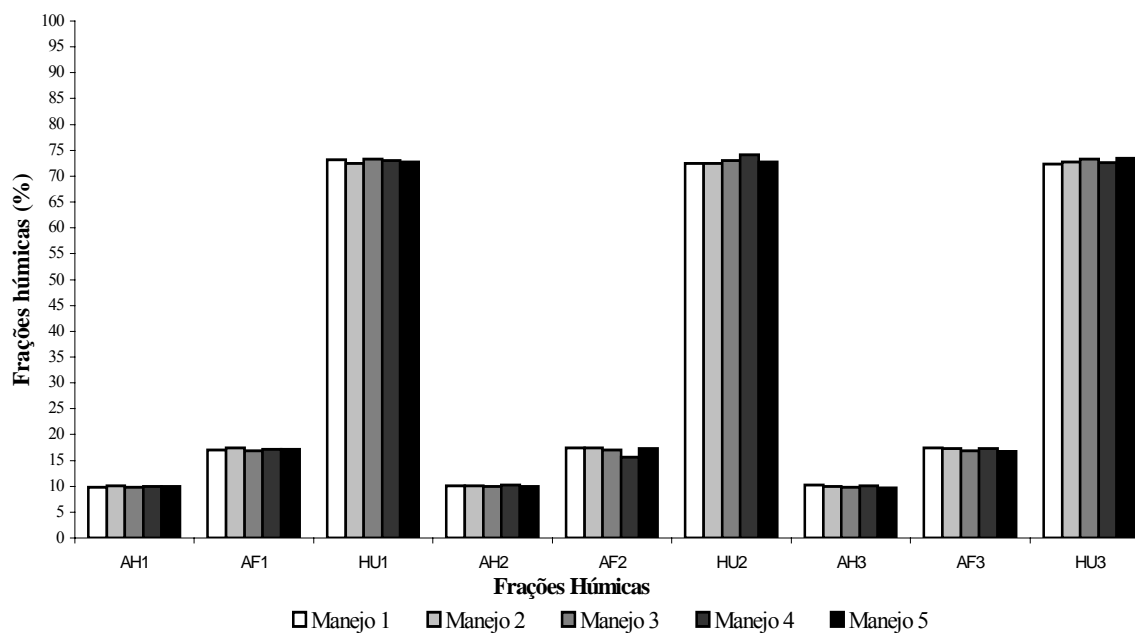
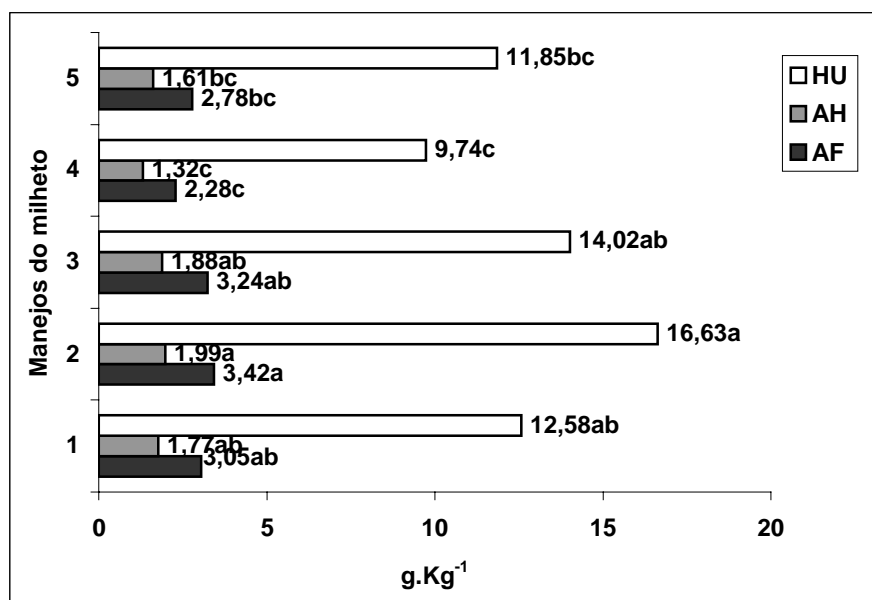


Figura 4. Porcentagem das frações húmicas do solo na camada de 0,05-0,10 m, em função da época de semeadura e do manejo da fitomassa do milho.

Para a primeira época de semeadura os valores de carbono ligado à frações húmicas (Figura 5) mostraram um comportamento semelhante para todos os manejos, ou seja, predominância de humina em relação aos ácidos fúlvico e húmico.



**Figura 5.** Teor de carbono das frações húmicas ácido húmico (AH), ácido fúlvico (AF) e humina (HU) do solo para a época de semeadura do milho E<sub>1</sub>, na camada de 0-0,05 m.

Este comportamento da fração humina revelado, neste solo com alto teor de argila, corrobora com o trabalho de Litchfouse (1999), que propõe que seus resultados acerca dos maiores níveis de humina estão intimamente relacionados a suas estruturas estarem encapsuladas, covalentemente ligadas, o que explica, sua maior persistência nos solos.

Pizauro Jr e Mello (1995) verificaram para as frações húmicas sob lab-labe e sorgo resultados semelhantes da fração C-HU, corroborando com o milho como planta de cobertura, no entanto, seus resultados para C-AH foram menores, além do que também observaram o predomínio da C-HU, seguindo o mesmo comportamento. Como conclusão foi relatado que mesmo face a incorporação do material vegetal, em condições de umidade e temperatura ideais ao desenvolvimento dos microorganismos, houve uma



despolimerização da matéria orgânica do solo, culminando, após 200 dias da semeadura, com teores mais baixos de COT, C-AH e uma tendência de teores mais elevados de C-AF, o que corroborou com os resultados obtidos na sucessão milheto-soja.

## 6.4 Propriedades Físicas

### 6.4.1 Densidade do solo (Ds)

De acordo com os valores de F, observados na Tabela 34, houve efeito significativo de época para todas as camadas. Na camada de 0,05-0,10 m houve diferença significativa também para manejo.

**Tabela 34.** Análise de variância para a densidade do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milheto.

Causas de variação	Valores do teste F			
	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 - 0,20 m	0,20 – 0,40 m
<b>Época (E)</b>	13,807**	30,974**	30,690**	13,923**
<b>Manejo (M)</b>	0,261ns	4,163**	1,586ns	1,834ns
<b>E x M</b>	0,319ns	1,052ns	1,503ns	2,607*
<b>CV parcela (%)</b>	6,69	4,89	5,03	6,55
<b>CV subparcela (%)</b>	5,59	3,43	2,65	5,23
<b>DMS (E)</b>	0,057	0,043	0,047	0,058
<b>DMS (M)</b>	0,074	0,055	0,061	0,075

\*\* , \* , ns , significativo a 1%, 5%, não significativo, respectivamente.

Comparando-se os manejos executados em cada época, verifica-se para as médias gerais que na camada de 0-0,05 m, os manejos não diferiram. Na camada de 0-0,05 m, analisando-se o fator época, destacou-se a E<sub>2</sub> (Tabela 35), com menores valores de densidade do solo (Ds). Os menores valores na camada de 0-0,05 m concordam com os maiores teores de Ca e Mg no solo, já discutidos anteriormente, pois se admite que estes cátions têm efeito floculante e podem minimizar o adensamento.

**Tabela 35.** Interação E x M para os valores de densidade do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milheto.

Manejo da fitomassa	Época de semeadura			Média
	1	2	3	
kg dm <sup>-3</sup>				
0 – 0,05 m				
M1	1,38	1,23	1,35	1,32
M2	1,35	1,24	1,41	1,33
M3	1,35	1,27	1,43	1,35
M4	1,38	1,27	1,41	1,35
M5	1,41	1,27	1,37	1,35
Média	1,37A	1,26B	1,39A	
0,05 – 0,10 m				
M1	1,42	1,36	1,50	1,43a
M2	1,32	1,29	1,47	1,36b
M3	1,38	1,25	1,47	1,37b
M4	1,33	1,23	1,39	1,32b
M5	1,40	1,27	1,40	1,35b
Média	1,37B	1,28C	1,45A	
0,10 - 0,20 m				
M1	1,49	1,32	1,51	1,44
M2	1,46	1,42	1,65	1,51
M3	1,45	1,41	1,58	1,48
M4	1,47	1,37	1,54	1,46
M5	1,53	1,34	1,50	1,46
Média	1,48B	1,37C	1,56A	
0,20 – 0,40 m				
M1	1,41Aa	1,46Aa	1,52Aa	1,46
M2	1,36ABab	1,30Bb	1,44Aa	1,37
M3	1,32Bab	1,34Bab	1,48Aa	1,38
M4	1,37Bab	1,25Bb	1,54Aa	1,39
M5	1,27Bb	1,46Aa	1,46Aa	1,40
Média	1,35B	1,36B	1,49A	

Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste t-LSD-student ( $P < 0,05$ ). Manejo - 1: Ceifa a cada florescimento e retirada da fitomassa; 2: Ceifa a cada florescimento e permanência da fitomassa; 3: Ceifa no florescimento e retirada da fitomassa; 4: Ceifa no florescimento e permanência da fitomassa; 5: Livre crescimento, sem ceifar. Época 1, 2 e 3: primeira, segunda e terceira época de semeadura do milheto, respectivamente.

Todavia, logo abaixo, na camada de 0,05-0,10 m, verificou-se significância tanto para época como para manejo, sendo que, o único a apresentar valores acima de  $1,40 \text{ Kgdm}^{-3}$  foi o  $M_1$ , diferindo significativamente dos demais manejos, evidenciando a importância da cobertura sobre o solo. Sendo assim, pode-se atribuir o comportamento com maior adensamento para  $M_1$ , pois as ceifas foram efetuadas e a fitomassa retirada para todos os períodos de florescimento, fazendo com que o solo ficasse por mais tempo descoberto do que no  $M_3$ , pois embora este também seja com ausência de palha, a maior altura das plantas de  $M_3$ , pode ter contribuído para esta diferenciação, o que, certamente, protegeu mais o solo diminuindo o impacto da energia cinética das gotas de chuva (SIQUEIRA et al., 1997; BRANCALIÃO, 2002).

Na camada de 0,10-0,20 m não houve interação significativa. A  $E_2$  se destacou como a de menor adensamento.

Houve interação entre E x M apenas para a camada de 0,20-0,40 m, sendo verificados menores valores para  $E_1$  e  $E_2$ . Para manejo não houve diferença significativa e no desdobramento da interação, o menor resultado para a Ds foi o dos tratamentos  $E_2M_4$ ,  $E_2M_2$  e  $E_1M_5$  caracterizando um menor adensamento em função de um possível efeito do sistema radicular.

A melhor cobertura do solo proporcionada pela  $E_2$  contribuiu para uma melhor condição de estrutura do solo, revelando menores resultados, entretanto no desdobramento da interação não diferiu de  $E_2M_3$ , mostrando a possível contribuição do sistema radicular, para estes tratamentos na melhoria desta propriedade física. Os resultados médios do ensaio são semelhantes ao de Abrão et al. (1979), que verificaram maior Ds em subsuperfície no plantio direto, embora não tenham sido comparadas as camadas, o comportamento se assemelha, corroborando com Albuquerque et al. (2001), em um Nitossolo Vermelho.

Para Oades et al., (1984) o maior conteúdo de ácido fúlvico pode ter proporcionado um incremento significativo da densidade do solo.

Os resultados do presente trabalho se aproximam dos trabalhos de Albuquerque et al. (1995) e Bertol et al. (2000) para a Ds de 0-0,20 m. Nas camadas superficiais, Eltz et al (1989) obtiveram resultados de Ds superiores a  $1,10 \text{ Kg dm}^{-3}$  em sistema de semeadura direta, com oito anos no sistema, enquanto que Costa et al. (2003) encontraram valores menores, entre  $0,9-1,0 \text{ Kg dm}^{-3}$ , aspecto que revela uma maior estabilização do sistema após este tempo de adoção para esta propriedade física.

#### 6.4.2 Porosidade total, macroporosidade e microporosidade

O teste F revelou para porosidade total do solo resultados significativos para o fator época nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10 m e interação significativa na camada de 0,05-0,10 m (Tabela 36).

**Tabela 36.** Análise de variância para os valores de porosidade total do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milheto.

Causas de variação	Valores do teste F			
	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 - 0,20 m	0,20 – 0,40 m
<b>Época (E)</b>	7,10**	5,92**	1,21ns	0,26ns
<b>Manejo (M)</b>	0,38ns	0,50ns	0,52ns	0,74ns
<b>E x M</b>	1,38ns	3,68**	0,65ns	1,22ns
<b>CV parcela (%)</b>	7,85	6,56	27,53	18,83
<b>CV subparcela (%)</b>	6,85	5,32	25,32	14,35
<b>DMS (E)</b>	0,02	0,02	0,08	0,05
<b>DMS (M)</b>	0,03	0,02	0,08	0,05

\*\* , ns , significativo a 1%, 5%, não significativo, respectivamente.

Para a camada de 0,05-0,10 m, o tratamento E<sub>1</sub>M<sub>2</sub> resultou em maior valor de porosidade total. Embora não tenha havido diferença significativa entre este tratamento e os demais, para a densidade do solo, nota-se que para o manejo M<sub>1</sub> houve uma tendência de maior valor para a densidade do solo.

O M<sub>3</sub> apresentou maior porosidade total que o M<sub>1</sub> na E<sub>2</sub>. Para o M<sub>2</sub> na E<sub>1</sub>, com cobertura deixada sobre o solo e cortes sucessivos, evidenciou-se o efeito proporcionado com a contínua adição de fitomassa em cobertura sobre o solo.

O maior valor de porosidade total do solo, da interação E<sub>1</sub>M<sub>2</sub>, pode ser associado a antecipação da semeadura com solo coberto com a adição contínua da fitomassa (Tabela 37). O tratamento E<sub>2</sub>M<sub>4</sub> mostrou significativamente maiores valores de porosidade total diferindo de E<sub>1</sub>M<sub>4</sub>, tratamento que apresentou menor desenvolvimento do sistema radicular.

**Tabela 37.** Interação E x M para os teores de porosidade total do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho.

Manejo da fitomassa	Época de semeadura			Média
	1	2	3	
	$\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$			
	0 – 0,05 m			
M1	0,42	0,46	0,41	0,43
M2	0,46	0,43	0,42	0,44
M3	0,47	0,43	0,42	0,44
M4	0,45	0,44	0,40	0,43
M5	0,45	0,48	0,40	0,44
Média	0,45A	0,45A	0,41B	
	0,05 – 0,10 m			
M1	0,44Aa	0,40Bb	0,40Ba	0,41
M2	0,46Aa	0,43ABab	0,39Ba	0,43
M3	0,40Ab	0,44Aa	0,41Aa	0,41
M4	0,40Bb	0,44Aa	0,42ABa	0,42
M5	0,40Bb	0,45Aa	0,39Ba	0,41
Média	0,42A	0,43A	0,40B	
	0,10 - 0,20 m			
M1	0,39	0,42	0,44	0,42
M2	0,37	0,51	0,36	0,41
M3	0,50	0,48	0,36	0,45
M4	0,46	0,50	0,45	0,47
M5	0,46	0,45	0,47	0,46
Média	0,44	0,47	0,41	
	0,20 – 0,40 m			
M1	0,41	0,39	0,43	0,41
M2	0,40	0,42	0,48	0,43
M3	0,41	0,41	0,38	0,40
M4	0,40	0,44	0,37	0,41
M5	0,51	0,44	0,38	0,44
Média	0,43	0,42	0,41	

Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste t-LSD-student ( $P < 0,05$ ). Manejo - 1: Ceifa a cada florescimento e retirada da fitomassa; 2: Ceifa a cada florescimento e permanência da fitomassa; 3: Ceifa no florescimento e retirada da fitomassa; 4: Ceifa no florescimento e permanência da fitomassa; 5: Livre crescimento, sem ceifar. Época 1, 2 e 3: primeira, segunda e terceira época de semeadura do milho, respectivamente.

Para a macroporosidade houve diferença entre as épocas para as camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10 m e para manejo somente de 0-0,05 m. A interação época x manejo também foi significativa somente na camada de 0-0,05 m (Tabela 38).

**Tabela 38.** Análise de variância para os valores de macroporosidade do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milheto.

Causas de variação	Valores do teste F			
	0-0,05 m	0,05-0,10m	0,10-0,20m	0,20-0,40m
<b>Época (E)</b>	18,247**	6,31**	0,51ns	0,53ns
<b>Manejo (M)</b>	1,947*	1,87ns	0,40ns	0,57ns
<b>E x M</b>	1,999*	0,88ns	0,21ns	1,28ns
<b>CV parcela (%)</b>	36,48	54,36	27,53	7,07
<b>CV subparcela (%)</b>	26,54	24,52	16,52	6,02
<b>DMS (E)</b>	0,02	0,02	0,08	0,05
<b>DMS (M)</b>	0,03	0,03	0,10	0,03

\*\* , ns , significativo a 1%, 5%, não significativo, respectivamente.

Com relação a macroporosidade, que representa a capacidade de aeração do solo, ou seja, o componente da porosidade total do solo que expressa o volume de poros maiores que contribuem para a aeração dos solos, com conseqüente oxigenação em nível radicular, As duas primeiras épocas de semeadura resultaram em maiores valores de macroporosidade nas camadas mais superficiais do solo. Isto pode confirmar a influência do tempo em que o solo ficou com cobertura, refletindo na melhoria da qualidade física do solo, provavelmente devido à ação do sistema radicular.

A variação positiva da macroporosidade, ou porosidade de aeração, nos manejos com presença da cobertura foi evidente de 0-0,05 m, ou seja, houve diferença significativa para o M<sub>4</sub> nesta camada. Portanto, pode-se inferir que seja uma possível atuação do sistema radicular combinado a cobertura do solo.

**Tabela 39.** Interação E x M para os valores de macroporosidade do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho.

Manejo da fitomassa	Época de semeadura			Média
	1	2	3	
	dm <sup>3</sup> dm <sup>-3</sup>			
	0 – 0,05 m			
<b>M1</b>	0,04Aa	0,09Ab	0,13Aa	0,11ab
<b>M2</b>	0,03Aa	0,14Ab	0,04Aa	0,09b
<b>M3</b>	0,19Aa	0,14Bb	0,04Ca	0,10ab
<b>M4</b>	0,10Aa	0,16Aa	0,11Ba	0,13a
<b>M5</b>	0,10Aa	0,10Ab	0,12Aa	0,09b
<b>Média</b>	0,14A	0,12A	0,07B	
	0,05 – 0,10 m			
<b>M1</b>	0,09	0,08	0,04	0,07
<b>M2</b>	0,13	0,10	0,05	0,09
<b>M3</b>	0,07	0,09	0,04	0,07
<b>M4</b>	0,13	0,12	0,10	0,12
<b>M5</b>	0,08	0,16	0,05	0,10
<b>Média</b>	0,10A	0,11A	0,07B	
	0,10 - 0,20 m			
<b>M1</b>	0,04	0,09	0,13	0,09
<b>M2</b>	0,04	0,04	0,14	0,07
<b>M3</b>	0,19	0,15	0,04	0,12
<b>M4</b>	0,13	0,16	0,11	0,13
<b>M5</b>	0,10	0,11	0,13	0,11
<b>Média</b>	0,10	0,13	0,10	
	0,20 – 0,40 m			
<b>M1</b>	0,05	0,05	0,09	0,07
<b>M2</b>	0,04	0,07	0,13	0,08
<b>M3</b>	0,04	0,06	0,03	0,04
<b>M4</b>	0,07	0,10	0,02	0,06
<b>M5</b>	0,16	0,11	0,02	0,10
<b>Média</b>	0,07	0,08	0,06	

Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste t-LSD-student ( $P < 0,05$ ). Manejo - 1: Ceifa a cada florescimento e retirada da fitomassa; 2: Ceifa a cada florescimento e permanência da fitomassa; 3: Ceifa no florescimento e retirada da fitomassa; 4: Ceifa no florescimento e permanência da fitomassa; 5: Livre crescimento, sem ceifar. Época 1, 2 e 3: primeira, segunda e terceira época de semeadura do milho, respectivamente.

Na camada de 0-0,05 m a E<sub>3</sub> apresentou os resultados inferiores ao mínimo considerado restritivo ao desenvolvimento radicular, ou seja, 0,10 dm<sup>3</sup>dm<sup>-3</sup> (VOMOCIL e FLOCKER, 1961), embora esse valor limite dependa do tipo de planta e do nível da atividade biológica do solo (GUPTA et al., 1989), entre outros fatores. Reduções na macroporosidade em solos sob semeadura direta também foram observadas por Tormena et al. (1998).

Para microporosidade verificou-se significância nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10 m para época e manejo e, na camada de 0-0,05 m para a interação E x M (Tabela 40).

**Tabela 40.** Resultados da análise de variância para os valores de microporosidade do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho.

Causas de variação	Valores do teste F			
	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 - 0,20 m	0,20 – 0,40 m
<b>Época (E)</b>	4,579*	2,70*	2,27ns	1,50ns
<b>Manejo (M)</b>	3,983**	3,01*	0,99ns	0,36ns
<b>E x M</b>	3,411**	1,57ns	1,31ns	1,23ns
<b>CV parcela (%)</b>	10,39	19,90	7,64	6,71
<b>CV subparcela (%)</b>	12,36	18,25	6,32	5,24
<b>DMS (E)</b>	0,022	0,04	0,03	0,03
<b>DMS (M)</b>	0,028	0,04	0,02	0,01

\*\* , \* , ns , significativo a 1%, 5%, não significativo, respectivamente.

O fato de ocorrerem diferenças significativas somente na superfície e interação apenas na camada de 0-0,05 m, pode ser atribuído ao tempo de instalação do sistema plantio direto.

Nas médias gerais se percebe que a contribuição da palha foi muito perceptível para os manejos 2, 3 e 5, tendo em vista as diferenças constatadas, para estes manejos na camada de 0-0,05 m (Tabela 41).



**Tabela 41.** Interação E x M para os valores de microporosidade do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho.

Manejo da fitomassa	Época de semeadura			Média
	1	2	3	
	$\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$			
	0 – 0,05 m			
<b>M1</b>	0,25Bb	0,32Aa	0,37Aa	0,32bc
<b>M2</b>	0,33 Aa	0,34 Aa	0,37Aa	0,35a
<b>M3</b>	0,32 Aa	0,35 Aa	0,34Aab	0,34ab
<b>M4</b>	0,33 Aa	0,27 Bb	0,31Ab	0,30c
<b>M5</b>	0,34 Aa	0,36 Aa	0,34 Aab	0,35a
<b>Média</b>	0,31B	0,33AB	0,35A	
	0,05 – 0,10 m			
<b>M1</b>	0,34	0,31	0,36	0,34a
<b>M2</b>	0,33	0,32	0,34	0,33a
<b>M3</b>	0,32	0,35	0,35	0,34a
<b>M4</b>	0,16	0,31	0,31	0,27b
<b>M5</b>	0,31	0,29	0,34	0,31ab
<b>Média</b>	0,30B	0,32AB	0,34A	
	0,10 - 0,20 m			
<b>M1</b>	0,35	0,34	0,31	0,33
<b>M2</b>	0,34	0,36	0,31	0,33
<b>M3</b>	0,31	0,34	0,31	0,32
<b>M4</b>	0,33	0,34	0,34	0,34
<b>M5</b>	0,35	0,33	0,34	0,34
<b>Média</b>	0,33	0,34	0,32	
	0,20 – 0,40 m			
<b>M1</b>	0,36	0,34	0,34	0,35
<b>M2</b>	0,36	0,36	0,34	0,35
<b>M3</b>	0,37	0,34	0,35	0,35
<b>M4</b>	0,33	0,35	0,36	0,35
<b>M5</b>	0,35	0,33	0,36	0,35
<b>Média</b>	0,36	0,34	0,35	

Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste t-LSD-student ( $P < 0,05$ ). Manejo - 1: Ceifa a cada florescimento e retirada da fitomassa; 2: Ceifa a cada florescimento e permanência da fitomassa; 3: Ceifa no florescimento e retirada da fitomassa; 4: Ceifa no florescimento e permanência da fitomassa; 5: Livre crescimento, sem ceifar. Época 1, 2 e 3: primeira, segunda e terceira época de semeadura do milho, respectivamente.

O aumento da umidade do solo necessariamente não implica em mais água disponível as plantas, pois se a estrutura do solo resultante do manejo adotado aumenta a microporosidade, a água pode ficar mais fortemente retida, aumentando a força necessária para sua extração (Letey,1991). Esta é uma situação que ocorre no sistema de semeadura direta.

A não movimentação periódica do solo torna-o mais adensado que o convencional na camada arável aumentando a retenção de água. Por outro lado a cobertura morta no plantio direto reduz a evaporação, prolongando o período úmido do solo, fase em que a água é mais fracamente retida. A menor mobilização do solo também afeta a disponibilidade de nutrientes às plantas, pois concentra os nutrientes na camada superficial, formando camadas estratificadas de concentração (Muzilli, 1983).

Para a camada de 0-0,05 obteve-se menor microporosidade para o E<sub>1</sub>M<sub>1</sub>, E<sub>1</sub>M<sub>4</sub> e E<sub>3</sub>M<sub>4</sub>, e, para o M<sub>4</sub>, que nas médias gerais não diferiu do M<sub>1</sub>.

### **6.4.3 Grau de flocculação**

Não houve diferença significativa para o grau de flocculação entre os tratamentos estudados (Tabela 42), entretanto, procurou-se esclarecer algumas características inerentes a área experimental. Os resultados para o grau de flocculação da argila obtidos corroboram com os de Morelli e Ferreira, (1987), citados por Albuquerque et al. (2003), que verificaram que a calagem diminuiu o grau de flocculação da argila de 69 %, em média, no solo sem calagem, para aproximadamente 58 %, quando se adicionou 9,0 t ha<sup>-1</sup> de calcário.

Para o grau de flocculação do solo verificou-se uma diminuição em seus valores médios diante da caracterização feita anteriormente à instalação do experimento (Tabelas 2 e 43). Diante deste fato, observando os dados antes da instalação do experimento, constatou-se uma elevação no teor de matéria orgânica e diminuição do grau de flocculação. Isto pode ter ocorrido em função do aumento do índice pH, principalmente para a camada de 0-0,05 m. Albuquerque et al. (2003) ressaltam que, com a elevação pH, ocorre o aumento da argila dispersa, com conseqüente diminuição do grau de flocculação da argila.

Esta redução está, provavelmente, relacionada com o aumento da espessura da dupla camada elétrica difusa dos colóides e à criação de cargas negativas, a quais

se evidenciam pelo aumento na CTC e pela substituição do  $Al^{3+}$  pelo  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  no complexo de troca. Outra modificação resultante da calagem com influência sobre as propriedades físicas do solo é a diminuição na atividade de  $Al^{3+}$  e  $H^+$  na solução do solo, que são os principais agentes flocculantes em solos ácidos. Nesse caso, há precipitação de polímeros de hidróxidos de Al, pelo aumento do pH do solo.

Os valores da interação para o grau de flocculação não foram significativos, contudo o tratamento  $E_2M_4$  mostra na superfície uma tendência na diminuição da dispersão da argila para esta combinação.

Embora na análise estatística não tenham ocorrido diferenças significativas, o resultado em subsuperfície do  $M_4$  em relação ao  $M_2$  foi quase 20 % maior, e no tratamento  $E_2M_4$  ocorreu mais de 20 % de acréscimo no resultado do grau de flocculação, revelando menores resultados de argila dispersa na camada de 0,20-0,40 m.

**Tabela 42.** Resultados da análise de variância para os valores do grau de flocculação do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho.

Causas de variação	Valores do teste F			
	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 - 0,20 m	0,20 – 0,40 m
<b>Época (E)</b>	2,020ns	1,008ns	1,018ns	1,960ns
<b>Manejo (M)</b>	0,623ns	1,089ns	0,494ns	1,349ns
<b>E x M</b>	1,379ns	1,581ns	0,521ns	0,899ns
<b>CV parcela (%)</b>	24,89	25,49	27,63	32,21
<b>CV subparcela (%)</b>	23,65	25,41	21,23	23,14
<b>DMS (E)</b>	8,545	9,034	10,013	13,050
<b>DMS (M)</b>	11,03	11,662	12,93	16,850

\*\* , \* , ns , significativo a 1%, 5%, não significativo, respectivamente.

**Tabela 43.** Interação E x M para os valores de grau de flocculação do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho.

Manejo da fitomassa	Época de semeadura			Média
	1	2	3	
%				
0 – 0,05 m				
M1	57,46	62,73	55,62	58,60
M2	49,08	51,38	53,69	51,38
M3	48,73	49,96	54,16	50,95
M4	33,69	65,89	61,77	53,78
M5	55,81	54,81	52,12	54,24
Média	48,95	56,95	55,47	
0,05 – 0,10 m				
M1	49,85	54,58	68,23	57,55
M2	50,20	56,46	51,77	52,81
M3	73,69	61,58	51,12	62,13
M4	45,27	61,54	52,39	53,06
M5	42,92	59,52	53,88	52,12
Média	52,39	58,74	55,48	
0,10 - 0,20 m				
M1	53,65	51,12	54,23	53,00
M2	65,31	49,69	65,62	60,21
M3	59,77	63,43	53,38	58,86
M4	61,89	57,23	55,04	58,05
M5	63,31	48,69	49,54	53,85
Média	60,78	54,03	55,56	
0,20 – 0,40 m				
M1	71,73	76,12	55,73	67,86
M2	49,04	53,39	55,54	52,00
M3	61,27	77,42	54,92	64,54
M4	53,5	73,77	81,00	69,45
M5	60,85	75,58	54,35	63,59
Média	59,29	70,85	60,31	

Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste t-LSD-student ( $P < 0,05$ ). Manejo - 1: Ceifa a cada florescimento e retirada da fitomassa; 2: Ceifa a cada florescimento e permanência da fitomassa; 3: Ceifa no florescimento e retirada da fitomassa; 4: Ceifa no florescimento e permanência da fitomassa; 5: Livre crescimento, sem ceifar. Época 1, 2 e 3: primeira, segunda e terceira época de semeadura do milho, respectivamente.

Brancalião (2002), em trabalho realizado na mesma área experimental, relatou que o fato do milheto ter melhor se adaptado a menores níveis de bases trocáveis pode ser atribuído à própria ecofisiologia da planta, já que o milheto pode também participar como uma planta recondicionadora do solo, sendo uma gramínea, possui sistema radicular fasciculado, participando ativamente no processo físico-químico de agregação, podendo ter uma contribuição relativa no grau de flocculação.

#### 6.4.4 Estabilidade de agregados

Para o diâmetro médio ponderado dos agregados do solo (DMP) observou-se diferenças para época em todas as camadas analisadas e para manejo nas camadas de 0-0,05 e 0,10-0,20 m. Com relação a interação não houve significância para a estabilidade de agregados, mensurada pelo índice DMP (Tabela 44).

Comparando-se as épocas de semeadura de semeadura a E<sub>1</sub> diferiu significativamente da E<sub>2</sub> em todas as camadas estudadas, e da E<sub>3</sub> nas três camadas mais superficiais. Esse resultado pode ser atribuído aos maiores teores de matéria orgânica do solo verificados na primeira época de semeadura, que certamente deveu-se o somatório do tempo em sistema de semeadura direta.

**Tabela 44.** Resultados da análise de variância para o índice DMP na agregação do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milheto.

Causas de variação	Valores do teste F			
	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 - 0,20 m	0,20 – 0,40 m
Época (E)	18,723**	21,305**	26,181**	4,188**
Manejo (M)	4,014*	2,025ns	3,907*	0,088ns
E x M	1,723ns	1,374ns	2,437ns	1,654ns
CV parcela (%)	17,08	15,07	8,85	11,36
CV subparcela (%)	14,05	13,07	6,85	10,32
DMS (E)	0,476	0,691	0,235	0,351
DMS (M)	0,615	0,892	0,304	0,453

\*\* , \* , ns , significativo a 1%, 5%, não significativo, respectivamente.

Para a camada de 0-0,05 m a  $E_1$  apresentou os valores mais elevados de agregação. Para as médias dos manejos houve diferença significativa para o  $M_1$ , com os menores valores de agregação, pois se trata de um manejo com cortes sucessivos e ausência de palha (Tabela 45).

Na médias dos manejos estudados observou-se um comportamento diferente entre os dois manejos com ausência de palha na camada de 0-0,05 m, pois se verificou melhoria na agregação para ceifa no único florescimento, o que pode ser atribuído ao maior estímulo para o sistema radicular no  $M_3$ , do que no  $M_1$ , quando se cortou continuamente, estimulando acentuadamente a translocação de fotoassimilados e, por conseguinte a parte aérea das plantas de milho. O inverso ocorreu no  $M_3$ , incrementando o sistema radicular, o que pode ter proporcionado uma melhoria na agregação.

Todavia, o fato de não revolver o solo contribuiu para maior agregação do solo na camada arável refletindo no aumento do diâmetro médio ponderado dos agregados.

Stone e Silveira (2001), que ao comparar o sistema de plantio direto contínuo, com o que designou plantio direto anual, tendo usado aração no verão, não verificaram resultados de melhoria na agregação.

O milho teve grande contribuição na quantidade de matéria seca, componente que segundo Fassbender e Bornemisza (1994) e Silva e Mielniczuk (1997), contribui a formação e estabilização dos agregados.

Nuernberg. et al. (1986) verificaram que a estabilidade de agregados, avaliada pelo índice DMP, foi incrementada pela sucessão de culturas com milho, obtendo resultados semelhantes para a cultura do milho e capim pensacolla, com valores de DMP em torno de 3,8 mm para o milho em uma Terra Roxa Estruturada.

De acordo com Cogo e Streck (2003), as plantas que produzem elevada massa de raízes possibilitaram melhora na agregação. Portanto, a atuação do sistema radicular do milho pode ter contribuído para a agregação do solo.

Reicosky et al. (1995) salientaram que, mesmo nos casos em que não há aumento de matéria orgânica na camada de 0-0,20 m de solo em semeadura direta, o acúmulo de resíduos culturais sobre o solo resulta em efeitos importantes em relação a ciclagem de nutrientes, agregação, atividade microbiana, movimento e armazenamento de água, e troca de gases com a atmosfera.

**Tabela 45.** Interação E x M para os valores do índice DMP na agregação do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho.

Manejo da fitomassa	Época de semeadura			Média
	1	2	3	
mm				
0 – 0,05 m				
M1	4,50	3,75	3,25	3,83c
M2	6,00	4,00	4,00	4,67a
M3	6,00	4,00	4,50	4,83a
M4	4,00	4,00	4,00	4,00bc
M5	5,50	4,00	4,00	4,50ab
Média	5,20A	3,95B	3,95B	
0,05 – 0,10 m				
M1	4,50	3,75	3,25	4,42
M2	6,00	4,00	4,00	4,45
M3	6,00	4,00	4,50	5,04
M4	4,00	4,00	4,00	3,87
M5	5,50	4,00	4,00	4,81
Média	5,80A	4,00B	3,75C	
0,10 - 0,20 m				
M1	4,50	4,25	4,00	4,25a
M2	4,25	4,00	4,00	4,08ab
M3	4,70	3,25	3,50	3,83b
M4	4,75	4,25	4,00	4,33a
M5	5,00	4,00	3,97	4,32a
Média	4,65A	3,95B	3,89B	
0,20 – 0,40 m				
M1	5,00	4,50	5,00	4,83
M2	5,50	3,95	4,92	4,79
M3	5,00	4,44	5,00	4,81
M4	4,72	4,86	4,92	4,83
M5	4,86	5,00	4,89	4,92
Média	5,02A	4,55B	4,95AB	

Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste t-LSD-student ( $P < 0,05$ ). Manejo - 1: Ceifa a cada florescimento e retirada da fitomassa; 2: Ceifa a cada florescimento e permanência da fitomassa; 3: Ceifa no florescimento e retirada da fitomassa; 4: Ceifa no florescimento e permanência da fitomassa; 5: Livre crescimento, sem ceifar. Época 1, 2 e 3: primeira, segunda e terceira época de semeadura do milho, respectivamente.

### 6.4.5 Resistência à penetração (RP)

Na Tabela 46, verifica-se que houve diferenças em todas as camadas para época, corroborando com os maiores valores do índice DMP.

**Tabela 46.** Análise de variância para os valores de resistência a penetração do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho.

Causas de variação	Valores do teste F			
	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 - 0,20 m	0,20 – 0,40 m
<b>Época (E)</b>	20,47**	20,398**	20,988**	3,822*
<b>Manejo (M)</b>	1,90 <sup>ns</sup>	1,925 <sup>ns</sup>	6,268**	0,767 <sup>ns</sup>
<b>E x M</b>	1,14 <sup>ns</sup>	2,311*	0,831 <sup>ns</sup>	0,812 <sup>ns</sup>
<b>CV parcela (%)</b>	16,17	13,26	11,83	10,43
<b>CV subparcela (%)</b>	14,23	12,36	15,23	14,25
<b>DMS (E)</b>	0,42	0,50	0,22	0,35
<b>DMS (M)</b>	0,17	0,158	0,139	0,62

\*\* , \* , <sup>ns</sup> , significativo a 1%, 5%, não significativo, respectivamente.

No entanto, para manejo constataram-se diferenças apenas na camada de 0,10-0,20 m. A interação E x M foi significativa para a camada de 0,05-0,10 m.

Houve significância para todas as camadas, e os resultados de RP mostraram-se menores para o M<sub>4</sub>, sendo relevante principalmente o tratamento E<sub>1</sub>M<sub>4</sub> (Tabela 47). Pode-se explicar este comportamento devido ao tempo em que a área ficou continuamente com fitomassa em cobertura durante todo ano, além do efeito da proporcionalidade do sistema radicular com a parte aérea.

A RP mostrou menores valores somente para E<sub>1</sub> na camada de 0-0,05 m. A época de semeadura E<sub>2</sub> resultou em menores valores de resistência.



**Tabela 47.** Interação E x M para os valores de resistência a penetração do solo em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milheto.

Manejo da fitomassa	Época de semeadura			Média
	1	2	3	
MPa				
0 – 0,05 m				
M1	1,61	1,77	1,70	1,69
M2	1,34	1,92	1,95	1,74
M3	1,21	1,76	1,86	1,61
M4	1,19	1,92	1,56	1,55
M5	1,50	2,01	1,99	1,83
Média	1,37B	1,87A	1,81A	
0,05 – 0,10 m				
M1	1,68Bab	1,77Ba	2,27Aab	1,91
M2	1,99Aa	1,61Ba	1,88ABc	1,82
M3	1,90Ba	1,52Ca	2,38Aa	1,93
M4	1,49Bb	1,69Ba	1,95Abc	1,71
M5	1,97ABa	1,65Ba	2,21Aabc	1,94
Média	1,80A	1,65A	2,14A	
0,10 - 0,20 m				
M1	1,82	1,91	2,28	2,00a
M2	1,73	1,66	1,98	1,79b
M3	1,91	1,70	2,34	1,98a
M4	1,52	1,57	1,76	1,61c
M5	1,78	1,59	2,15	1,84ab
Média	1,75B	1,68B	2,10A	
0,20 – 0,40 m				
M1	1,65	1,84	1,90	1,79
M2	1,67	1,57	1,92	1,72
M3	1,62	1,47	2,13	1,74
M4	1,53	1,55	1,66	1,58
M5	1,73	1,71	1,75	1,73
Média	1,64A	1,62A	1,87A	

Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste t-LSD-student ( $P < 0,05$ ). Manejo - 1: Ceifa a cada florescimento e retirada da fitomassa; 2: Ceifa a cada florescimento e permanência da fitomassa; 3: Ceifa no florescimento e retirada da fitomassa; 4: Ceifa no florescimento e permanência da fitomassa; 5: Livre crescimento, sem ceifar. Época 1, 2 e 3: primeira, segunda e terceira época de semeadura do milheto, respectivamente.

Como não houve variação acentuada entre épocas para a umidade gravimétrica, esse resultado superficial (0-0,05 m) para  $E_1$  pode ser atribuído ao maior tempo em que o solo ficou coberto, muito embora, o comprimento radicular teve tendência a ser menor, principalmente na camada de 0,05-0,10 m. Outro fator foi a antecipação do milho na safrinha que produziu mais massa de matéria seca e cobriu o solo por mais tempo durante o ano, podendo ter favorecido uma diminuição nos resultados de resistência à penetração. A profundidade de trabalho do disco de corte também pode contribuir para este resultado.

Os valores de RP obtidos variaram de 1,5- 2,5 MPa e foram menores que os obtidos por Genro Junior et al. (2004), para a profundidade de 0,10-0,13 m, que foram maiores que dois MPa, quando o teor de água foi menor do que  $0,32 \text{ kg kg}^{-1}$ , e ultrapassaram três MPa em certos casos, valores que indicam um maior estado de compactação. Os autores salientam que com o aumento da umidade do solo, ocorre decréscimo na RP, ficando os valores abaixo do limitante para o desenvolvimento das raízes, sendo a RP inferior a 2 MPa somente com valores de umidade gravimétrica maiores que  $0,32 \text{ kg kg}^{-1}$ .

Os resultados obtidos nesta pesquisa demonstraram menor resultado de RP no desdobramento da interação para o manejo  $E_1M_4$ . Pode-se atribuir este fato a melhoria das condições de estrutura do solo pela atuação deste manejo com fitomassa remanescente em cobertura. Este comportamento pode ser atribuído ao fato do milho ter recebido apenas um corte, permanecendo uma relação proporcional entre parte aérea e raiz, e o milho pode crescer sem mais cortes até a primavera.

De acordo com os resultados apresentados anteriormente de CR verificou-se que o milho, para a condição de solo e clima deste trabalho, nas épocas  $E_2$  e  $E_3$ , desenvolveu-se satisfatoriamente, até mesmo acima de 2 MPa. No entanto, para a  $E_2$ , a cobertura do solo obtida foi maior, desta forma, as condições físicas melhoraram, resultando em menores valores de resistência à penetração. Para o desdobramento da interação, o tratamento  $E_2M_3$  foi significativamente menor quando comparado com as demais épocas, pelo incremento do sistema radicular para este manejo. Contudo, entre os manejos da  $E_2$  não houve diferença significativa, ao se desdobrar manejo dentro de época de semeadura.

A maior porcentagem de cobertura do solo possivelmente proporcionou, para a camada de 0,10-0,20 m, um maior acúmulo da CR para  $E_2$ , o que pode ser explicado

pelos menores resultados significativos de RP para  $E_2$ .

Esses resultados de resistência à penetração que não ultrapassaram, na maioria das médias, dois MPa, discordam dos resultados avaliados para a cultura da aveia (Ehlers et al., 1983), sendo que valores maiores que 5,0 MPa foram suficientes para limitar o crescimento de raízes de aveia, em trabalho realizado em condições de campo.

Foloni et al. (2003), avaliando a cultura do milho, constataram que o nível crítico de impedância mecânica do solo foi de 1,4 MPa, ou seja, nesta condição de resistência à penetração, não houve crescimento radicular das plantas abaixo da camada de solo compactado. Sendo assim, certamente, devido às suas raízes serem mais finas, o milho tem maior potencial de exploração do solo com seu sistema radicular, podendo penetrar mais facilmente no espaço existente interagregados.

Em contrapartida, Rosolem et al. (1994) observaram que houve crescimento radicular do milho mesmo com 2 MPa de resistência à penetração na camada de solo compactado e, Rosolem (2003) verificou, para o milho, um valor de 2,5 MPa. Silva et al. (2002) definem o valor de 2 MPa de impedância mecânica do solo como restritivo ao crescimento radicular.

Segundo a classificação de Arshad et al. (1996), citado por Beutler et al. (2001), os valores obtidos foram moderados, na maioria das vezes entre 1,0 a 2,0 MPa. Sendo assim, os tratamentos na camada de 0,05-0,10 m que resultaram em alta resistência à penetração foram os da  $E_3$ :  $E_3M_1$ ,  $E_3M_3$  e  $E_3M_5$ .

Se o milho teve bom potencial de exploração do solo, foi indubitavelmente devido a sucessão de culturas executada com a soja. Desta forma, o solo não apresentou valores tão altos de impedância, o que sugere que o milho pode ser sensível a compactação, entretanto, havendo condições adequadas de água e temperatura, a planta desempenha muito bem suas características de rápido crescimento inicial, sistema radicular abundante e produção de matéria seca significativa, constituindo-se, desde que a época seja bem estabelecida, uma opção como cultura de outono-inverno.

As raízes têm a capacidade de penetrar em pontos de menor resistência, que podem ser resultantes de canais pré-existentes de raízes mortas que podem constituir os bioporos, que são importantes para melhorar o movimento da água e a difusão de gases no perfil do solo, o que resulta em maiores resultados de comprimento e também de área

de superfície radicular (WANG et al., 1986).

Dalbiano et al. (2005), trabalhando em solos do Estado do Rio Grande do Sul, obtiveram valores de quatro MPa para a cultura da soja, com limitação na produtividade, quando comparado ao plantio direto escarificado, que assumiu valores de 2,5 MPa, sem limitação a produtividade. Neste mesmo experimento a cultura do feijoeiro mostrou-se ainda mais comprometida, devido à compactação.

## 6.5 Cultura da Soja

### 6.5.1 Altura Final de Plantas e Produtividade da Soja

Os resultados encontrados na análise de plantas no final do ciclo mostram que para a altura de plantas houve diferença significativa (Tabela 49), não havendo o mesmo comportamento para a produtividade de soja, avaliada com relação a significância para o estudo de época e manejo isoladamente, no entanto a interação foi significativa a 5% de probabilidade.

**Tabela 49.** Análise de variância da produtividade e altura de plantas da cultura da soja

Causas de variação	Valores do teste F	
	Altura de Plantas	Produtividade da Soja
Época (E)	25,37**	0,0559ns
Manejo (M)	18,02**	0,459ns
E x M	5,03*	3,697*
CV parcela (%)	23,14	11,76
CV subparcela (%)	22,03	15,08
DMS (E)	7,01	234,54
DMS (M)	5,01	302,80

\*\* , \* , ns , significativo a 1%, 5%, não significativo, respectivamente.

A E<sub>3</sub> foi significativamente maior com relação a altura de plantas de soja (Tabela 50), no entanto, isto ocorreu devido ao maior comprimento do dia e a concomitância com água. Certamente a diferença nas médias entre altura de plantas, sendo E<sub>2</sub> > E<sub>1</sub>, deveu-se a propriedades físicas, tais como, a densidade do solo, pois a E<sub>2</sub>, juntamente com E<sub>3</sub>, teve um melhor desempenho, proporcionando melhores condições para o desenvolvimento das plantas de soja.

**Tabela 50.** Resultados da produtividade e de altura de plantas da cultura da soja, em semeadura direta, sob diferentes épocas e manejos da cultura do milho no outono-inverno.

Manejo da fitomassa	Altura de planta (cm)				Produtividade de grãos (t ha <sup>-1</sup> )			
	Época <sub>1</sub>	Época <sub>2</sub>	Época <sub>3</sub>	Média	Época <sub>1</sub>	Época <sub>2</sub>	Época <sub>3</sub>	Média
M <sub>1</sub>	70Aa	60Ab	80Ab	70c	3,22	3,17	3,23	3,21
M <sub>2</sub>	76Aba	80Aa	80Ab	78b	2,96	2,88	3,22	3,02
M <sub>3</sub>	71Ba	86Aa	85Ab	81a	3,14	3,14	3,12	3,13
M <sub>4</sub>	73Aa	93Aa	89Aa	85a	2,85B	3,40A	3,06AB	3,10
M <sub>5</sub>	72Aa	73Aab	83Aab	76b	3,10	3,24	3,16	3,17
<b>Média</b>	63C	76B	83A		3,06	3,16	3,16	

Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste t-LSD-student (P<0,05). Manejo - 1: Ceifa a cada florescimento e retirada da fitomassa; 2: Ceifa a cada florescimento e permanência da fitomassa; 3: Ceifa no florescimento e retirada da fitomassa; 4: Ceifa no florescimento e permanência da fitomassa; 5: Livre crescimento, sem ceifar. Época 1, 2 e 3: primeira, segunda e terceira época de semeadura do milho, respectivamente.

O resultado obtido no desdobramento da interação, para altura de plantas, indica para a E<sub>3</sub> maior altura de plantas para o E<sub>3</sub>M<sub>4</sub>, como este tratamento também foi de maior produtividade e teve como característica a manutenção da palha, sendo efetuado apenas um corte em seu primeiro florescimento. Para o tratamento E<sub>2</sub>M<sub>3</sub> também houve diferença significativa quando comparado a E<sub>1</sub>M<sub>3</sub>.

Lemos et al. (2003) verificaram na sucessão milho - soja a maior população de plantas de soja para o M<sub>4</sub> na E<sub>1</sub>, onde foi efetuado o corte apenas no primeiro

florescimento com permanência da palha.

Além do que, é notória a relação existente entre cobertura do solo, produção de matéria seca e produtividade da soja. Pode-se inferir que a exportação do potássio pelo milho também teve interferência positiva na altura de plantas de soja, bem como na sua produtividade. Há relatos que a compactação do solo limita a altura final de plantas sensivelmente em semeadura direta (BRAGA et al., 2005).

Para a produtividade de soja não houve diferença para os valores de F para época e manejo, todavia, no desdobramento da interação, o tratamento  $E_2M_4$  diferiu do  $E_1M_4$  e não diferiu do tratamento  $E_3M_4$  (Figura 6).

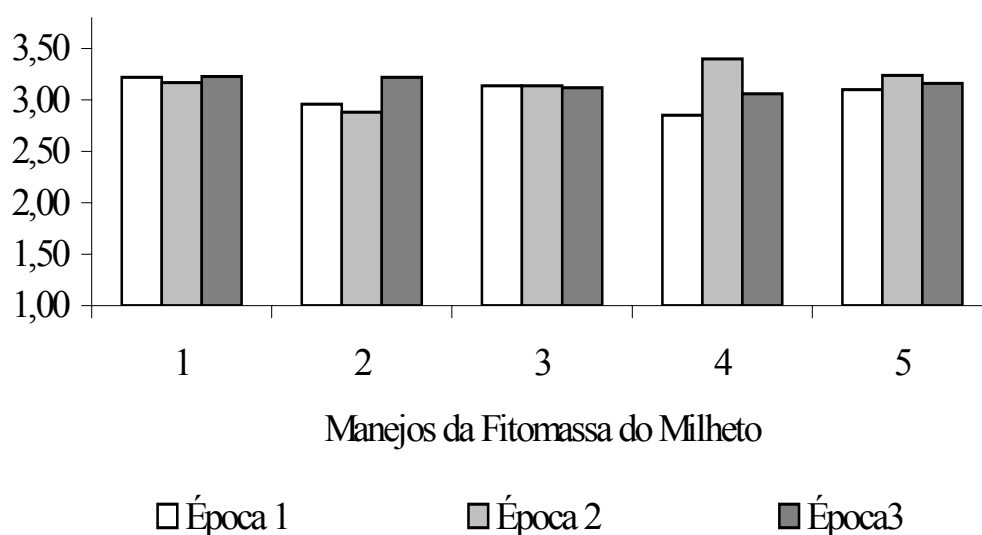


Figura 6. Produtividade da soja em função de épocas de semeadura e manejos da fitomassa do milho.

O  $M_4$  na  $E_3$  produziu significativamente igual ao  $E_2M_4$ , pois, embora tenha recebido apenas um corte, houve contribuição do aumento crescente do comprimento do dia nesta época de semeadura ( $E_3$ ), já que a partir do dia 24/06 (Solstício de Inverno no Hemisfério Sul), o comprimento do dia é crescente. O milho, como planta de dia curto, necessita de uma somatória de horas de escuro para florescer, com isso sua fase vegetativa foi mais desenvolvida no mês de agosto, até 50% da emissão de panículas em meados de outubro.

A produtividade da cultura da soja, ao ser desdobrada, revelou resultados superiores na combinação  $E_2M_4$ . A  $E_2$  proporcionou maior cobertura do solo e o  $M_4$

permitiu valores do índice DMP iguais a média obtida para toda a E<sub>2</sub>, embora não tenha ocorrido interação para este tratamento com relação a estabilidade de agregados.

O índice pH revelou valores coerentes com a maior produtividade do tratamento E<sub>2</sub>M<sub>4</sub>. Os teores de matéria orgânica e carbono orgânico total, no tratamento E<sub>2</sub>M<sub>4</sub> e E<sub>3</sub>M<sub>4</sub>, foram significativamente superiores tanto quanto foi o resultado obtido para a produtividade da soja.

De acordo com os resultados de macro e microporosidade, é necessário inferir que a maior contribuição para a produtividade da soja foi por parte da macroporosidade, uma vez que é possível identificar melhores condições de porosidade de aeração na camada de 0-0,05 m, conforme resultados de Siqueira et al. (1994) e, a maior aeração proporcionada, provavelmente, também favoreceu a fixação biológica de N<sub>2</sub> (SIQUEIRA et al., 1994).

Pode-se atribuir resultados consideráveis no rendimento de grãos de soja do tratamento E<sub>2</sub>M<sub>3</sub>, muito embora, não tenha sido significativo no desdobramento da interação para a produtividade de soja, uma possível maior atuação do sistema radicular, devido ao tipo de manejo que foi feito no milheto, tendo em vista que seu valor de macroporosidade confere com o tratamento E<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, que resultou em menor rendimento de soja do que E<sub>2</sub>M<sub>3</sub>. Derpsch et al. (1986) verificaram maior densidade do solo em semeadura direta, porém, os rendimentos de soja foram satisfatórios, não diferindo do tratamento com menores resultados de compactação.

Com relação ao grau de flocculação observou-se uma tendência de melhoria na estruturação, corroborando com a melhor produtividade soja. Esta tendência para a E<sub>2</sub> ocorreu em todas as camadas, com exceção da camada de 0,10-0,20 m. Na camada de 0,20-0,40 m o E<sub>2</sub>M<sub>4</sub> mostrou menor argila dispersa, muito embora não tenham sido constatadas diferenças significativas. Na E<sub>2</sub> as plantas de milheto desenvolveram-se melhor e proporcionaram maior cobertura do solo com um conseqüente aumento do comprimento radicular. Este melhor desenvolvimento do milheto nesta época pode ter proporcionado condições de melhor estabelecimento, conservação do teor de água, melhor estruturação do solo e talvez até menor variação de temperatura ao longo do perfil do solo.

A maior quantidade de fitomassa do milheto é importante para a cultura subseqüente, ou seja, para a cultura da soja, conforme verificado por Lemos et al.

(2003) Os autores constataram, também, que quanto maior a quantidade de fitomassa em cobertura, ou seja, da palha restante sobre o solo, houve maior população final de plantas (stand) de soja. Resultados semelhantes foram descritos por Cordeiro e Souza (1999), caracterizando a superioridade do milheto frente a vegetação espontânea em SSD, atribuindo melhor estabelecimento da cultura posteriormente semeada.

Para a primeira época de semeadura (primeira quinzena de março) e a terceira época (primeira quinzena de abril), obteve-se maiores resultados de produtividade de soja para essas épocas (LEMOS et al. 2003). Vale ressaltar, que a última época do ano agrícola de 1999, aproximou-se da E<sub>1</sub> na sucessão milheto soja para o ano de 2003.

O fato da soja semeada na região em questão, em prolongar seu ciclo, é dependente da amplitude térmica ao longo do ciclo da planta, pois se isto ocorre, a planta demora a enviar fotoassimilados para os grãos, prolongando sua fase reprodutiva.

Para Stone e Silveira (2001) o sistema de rotação que incluiu a cultura da soja afetou negativamente os atributos físico-hídricos do solo, em comparação com os sistemas de rotação que incluíram o milho e, em especial, o milheto. Na camada superficial, o plantio direto contínuo propiciou maior compactação do solo que a sucessão de aração e plantio direto (plantio direto anual). Entretanto, o fato de não revolver o solo contribuiu para maior agregação do solo. Desde fato pode-se atribuir o efeito das raízes das gramíneas, com sua estrutura fasciculada, que otimizam a agregação, facilitando as propriedades físico-hídricas relatadas por Stone e Silveira (2001).

Para Secco et al. (2004) a escarificação do solo em área manejada por oito anos sob sistema plantio direto não propiciou incremento no rendimento de grãos de soja, além do que, os valores de impedância foram de até 2,6 MPa, os de densidade do solo de até 1,51 Mg m<sup>-3</sup>, o volume de macroporos superiores a 0,10 dm<sup>3</sup> dm<sup>-3</sup>, e em condições de lavoura, não houve comprometimento do rendimento de grãos de soja. Este aspecto reforça o que correu na presente área experimental, com a manutenção da cobertura vegetal ininterruptamente por cinco anos, já que para todos os tratamentos a média geral foi superior a 3,0 t/ha.

Neste mesmo experimento, Secco et al. (2004) também constataram um pico de precipitação pluvial ao longo do ciclo da soja no mês de janeiro, tal como o verificado no presente trabalho, sendo superior a 300 mm, só neste mesmo mês. Este período



coincide exatamente com o pleno florescimento da cultura da soja, o que notoriamente refletirá em uma maior estabilidade na produção.

Torna-se relevante salientar que ao longo de experimento, pela observação de campo, foi registrada incidência relativamente baixa de doenças da parte aérea, sem afetar o rendimento de grãos da leguminosa.

Em razão do desempenho em ensaios de avaliação, pode-se comparar a BRS-48 para a região Centro-Sul do Estado de São Paulo a cultivar de soja BRS 153 sendo indicada para ser cultivada em diversas regiões do Rio Grande do Sul, pois apresenta boa adaptação quando cultivada no sistema plantio direto. Bonato et al. (2002) explicam que o seu potencial produtivo é expresso quando semeada durante o mês de novembro, com a população máxima de 300.000 plantas/ha e na média geral de três ambientes aproximou-se de 3,4 t ha<sup>-1</sup>, tal qual a cultivar BRS-48, semeada em Botucatu -SP.

Secco et al. (2004) concluíram que ao utilizar escarificação no inverno, em um dos seus tratamentos, não obtiveram diferenças na produtividade de soja após oito anos em sistema plantio direto. Essa característica observada nesse trabalho corrobora com os dados da pesquisa que revelam um patamar médio de 3000 kg ha<sup>-1</sup> de soja, com destaque para o quarto manejo com fitomassa em cobertura da segunda época de semeadura (3400 Kg ha<sup>-1</sup>). Com relação à produtividade na implantação da área experimental houve um acréscimo de 600 kg ha<sup>-1</sup> no tratamento E<sub>2</sub>M<sub>4</sub>, além do que, para Brancalião (2002), o M<sub>4</sub> na média, já apresentava um ganho de 200 kg ha<sup>-1</sup> se comparado ao segundo manejo mais produtivo, o que demonstra semelhança entre os resultados obtidos.

Portanto, a manutenção da área experimental, em sistema de semeadura direta, manteve um patamar de produtividade adequado, além do que a semeadura sempre foi efetuada com discos de corte acoplados a semeadora, sem qualquer escarificação, o que contribuiu para aumentar a persistência de fitomassa em cobertura, gradativamente, desde a implantação do experimento, havendo também redução paulatina no uso de herbicidas, principalmente considerando-se os de pós - emergência ao longo do ciclo da soja.

## 7 CONCLUSÕES

A produtividade de massa de matéria seca foi maior na primeira época de semeadura, excetuando-se o M<sub>3</sub> para a segunda época e do M<sub>2</sub> para a terceira época de semeadura.

A segunda época de semeadura proporcionou maior fitomassa em cobertura

O comprimento radicular do milho foi maior para as épocas E<sub>2</sub> e E<sub>3</sub> na superfície e o M<sub>4</sub> mostrou maior diâmetro médio radicular entre 0,20-0,40 m.

As épocas E<sub>1</sub> e E<sub>3</sub> apresentaram menor acidez ativa (índice pH) na camada de 0-0,05 m.

Quanto mais antecipada a época de semeadura maior foi o acúmulo de matéria orgânica e conseqüentemente de carbono orgânico no solo, na camada de 0-0,05 m e o M<sub>4</sub> da terceira época incrementou o teor de matéria orgânica do solo.

Na camada superficial do solo o teor de bases trocáveis foi maior nas épocas E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub>.

A capacidade de troca catiônica do solo foi maior na E<sub>1</sub> nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10 m.

As frações ácido húmico e ácido fúlvico foram maiores no tratamento E<sub>1</sub>M<sub>2</sub> (com ceifa a cada florescimento), com adição contínua de fitomassa em cobertura.

A densidade do solo, a microporosidade e a resistência a penetração mostraram valores maiores, e a porosidade total, macroporosidade e diâmetro médio ponderado dos agregados valores menores na E<sub>3</sub>

A altura final de plantas de soja decresceu da E<sub>3</sub>, para a E<sub>2</sub> e para a E<sub>1</sub>.

A macroporosidade do solo e a produtividade da cultura da soja resultaram em interação positiva no tratamento E<sub>2</sub>M<sub>4</sub>.

## 8 LITERATURA CITADA

ABRÃO, P.U.R.; GOEPFERT, C. F; GUERRA, M.; ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A Efeito de sistemas de preparo de solo sobre características de um Latossolo roxo Distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.3, n. , p. 169-172. 1979.

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A.L. ; FONTANA, E.C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27 n. 5, p. 799-806. 2003.

ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistema de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, n.1, p.115-119. 1995.

ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n.3, p. 717-723. 2001.

ALLMARRAS, R. R.; DOWDY, R. H. Conservation tillage systems and their adoption in the United States . **Soil e Tillage Research**, Amsterdam, v. 5, n. 2, p. 197-222. 1985.

ALMEIDA, F.S.; RODRIGUES, B.N. Plantio direto. In \_\_\_: **Guia de herbicidas recomendações para o uso em plantio direto e convencional**. Londrina: IAPAR, p.341-93. 1985.

ALVARENGA, R.C.; CABEZAS, W.A.L.; CRUZ, J.C.; SANTANA, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, 5p , 2001.

AMADO, T.J.C.; ALMEIDA, E.X; DALLAGNOL, I.,MATOS, A.T. Determinação da cobertura do solo por adubos verdes. Florianópolis. EMPASC, 1987.6p.

ANDERSON , G. Recent observations on humus compositions and properties. In: **Colóquio Regional sobre Matéria Orgânica do Solo**. 1982, Piracicaba. Anais... Promocet: Piracicaba, 1982. p. 3-10.

ANDERSON, D. W.; COLEMAN, D. C. The dynamic of organic matter in grassland soils. *Jornal of Soil Water Conservation*, v. 40, n. 2, p. 211-216. 1985.

ANDREOLA, F.; COSTA, L.M; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n2. , p. 857-865. 2000.

ANGHINONI, I; SALET, R.LA Amostragem de solo e as recomendações de adubação e calagem do sistema de plantio direto. In: NUERNBERG, N. J. (ed.). **Conceitos e fundamentos do sistema de plantio direto**. Lages:Sociedade Brasileira de Ciência do Solo,p.67-89 1998.

ARSHAD, M.A. et al. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison:Soil Science Society of America, p. 123-141, 1996.

AYANABA, A.The VALUE of mulches in tehe managementof organic matter in tropical soils. In: **Colóquio regional sobre matéria orgânica do solo**. 1986. Piracicaba: CENA, P. 97-103.

BALDISSERA, I.T. Influência de sistemas de manejo e coberturas vegetais nas características físicas do solo. **Lavoura Arrozeira**, v. 35, n. 385, p. 30-32, 1985.

BALESDENT, J.; BALABANE, M. Maize root-derived soil organic matter estimated by natural <sup>13</sup>C abundance. **Soil Biology and Biochemistry**, v.24. p. 97-101. 1992.

BARBER, S.A. Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach. New York, John Willey, 1984. 397p.

BAVER, L.D. **Soil physics**. 2. ed. New York:John Wiley e Sons, 1952. 398 p.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características Químicas do Solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 105-112. 1997.

BENGOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Penetrometer resistance, root penetration resistance and root elongation rate in two sandy loam soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 131, p. 59-66. 1991.

BERTOL, I., CIPRANDI, O, KURTZ, C., BAPTISTA, A.S. Persistência dos resíduos culturais da aveia milho sobre a superfície do solo em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.4, p.705-712, 1998.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J.M;REIS, E.F.e DILY, L. Propriedades Físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. **Revista Ciência Rural**, v.30, p. 91-95. 2000.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo. In: **Fatores que influem na erosão**. 3. ed. São Paulo, 1990. p. 63-67.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n.1, p. 167-177. 2001.

BONATO, E.R.; BERTAGNOLO, P.F., LINHARES, AG., COSTAMILAN, L.M.; KIIHL, R.A, ALMEIDA, L.A. BRS - 153: Cultivar de soja com boa adaptação no Rio Grande do Sul.

**Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p.1201-1204. 2002.

BRADY, N.C. Suprimento e assimilabilidade do fósforo e do potássio. In: *Natureza e propriedades dos solos*. 7.ed. **Rio de Janeiro:Freitas Bastos, 1989. p.373-413.**

BRAGA, F.V.A, REINERT, D.J., REICHERT, J.M.,LIMA, C.L.R., SUZUKI, L.E.A.S., GUBIANI, P.I. Emergência de plântulas no desenvolvimento de soja e feijoeiro de um Argissolo Vermelho sob sistema de semeadura direta. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 30, 2005, Recife. **Anais...:Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2005. CD-ROM**

BRANCALIÃO, S.R. **Efeito da fitomassa do milho sobre as propriedades físicas e químicas de um nitossolo vermelho e na produtividade da soja cultivada em sistema de semeadura direta em Botucatu - SP.** Botucatu, SP, 2002. 73 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

BÜLL, L.T. Nutrição Mineral do milho. In: BÜLL, L.T.; CANTARELA, H. (Ed.). **Cultura do milho: Fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba:POTAFOS, 1993. p.63-131.

CAIRES, E. F. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiências no estado do Paraná. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 24, REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6, REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3, 2000, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria:UFMS, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Sociedade Brasileira de Microbiologia, 2000. (editado em CD-ROM).

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas.** Piracicaba: Edusp, 1997. 132 p.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R. E CASSOL, L. C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para a cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n1. p. 383-391. 1999.

CANARACHE, A. Peneter a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil e Tillage Research**, Amsterdam, v.16, p.51-70, 1990.

CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B. Reações da matéria

orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.) **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre:GENESIS, p. 69-86, 1999.

CARPENEDO,V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolo Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, n. 1, p.99-105. 1990.

CARVALHO, W.A.; ESPINDOLA, C.R.; PACCOLA, A.A. Levantamento de solos da fazenda Lageado – Estação Experimental Presidente Médici. **Boletim Científico da Faculdade de Ciências Agrônômicas**, UNESP (Botucatu), n.1, p.1-95, 1983.

CASTRO, O. M.; LOMBARDI NETO, F.; QUAGGIO, J.A.; DE MARIA, I.C.; VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F. Perdas por erosão de nutrientes vegetais na sucessão soja/trigo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v. 10, n. 2, p. 293-297. 1986.

CENTURION, J.F.; DEMATTÊ, J.L.I. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 9, n. 3, p. 263-266. 1985.

CERETTA C.A., AITA, C., BRAIDA , J.A., PAVINATO A., SALET, R.L. Fornecimento de nitrogênio por leguminosas na primavera para o milho em sucessão nos sistemas de cultivo mínimo e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 2, p. 215-220. 1994.

CERETTA, C.A.; MARCOLAN, A.L.; DURGON, R.; TISSOT, A.R. Acúmulo de carbono em humina, ácidos fúlvicos e húmicos em três profundidades de solo com sistema de cultura, sob plantio direto, durante 6 anos. In: Encontro Brasileiro de substâncias húmicas. 2, 1997. São Carlos. **Anais...** São Carlos:Embrapa, 1997. p. 136.

CORDEIRO, L.A.M.; SOUZA, C.M. Características agrônômicas da cultura da soja (cv.IAC-1) semeada sobre palha de diferentes espécies de cobertura morta em sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, 1999, Brasília. **Resumos Expandidos...** Brasília:CPAC/EMBRAPA, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. (editado em CD-ROM).



CORELLA, J.F.; LANG, T.A.; GALLEAR, R.N. Soil humic and fulvic acid contents associated with cropping system, tillage and soil type. In: **Agronomy Abstracts**. Madison: American Society, 1990. p. 234.

COSTA, A. **Doses e modo de aplicação de calcário na implantação de sucessão soja trigo em sistema plantio direto**. Botucatu, 2000, 146 p. Tese de Doutorado. Faculdade de ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista..

COSTA, F. S, ALBUQUERQUE, J.A, BAYER, C, FONTOURA , S.M.V., WOBETO, C. Propriedades Físicas de um latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. , p. 527-535. 2003.

DA ROS, C.O.; AITA, C. Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 135-140. 1996.

DA SILVA, L.M.; LEMOS, L.B.; CRUSCIOL, C.A.C.; FELTRAN, J.C. Sistema Radicular de cultivares de feijão em resposta à calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 701-707. 2004

DABIN, B. Relação entre a evolução dos compartimentos húmicos sob a cultura e os fatores físicos e químicos da fertilidade em diferentes solos tropicais. In: **Colóquio regional sobre matéria orgânica do solo**. 1986. Piracicaba: CENA, P. 87-96.

DALBIANCO, L., REINERT, D.J., REICHERT, J.M, LIMA, CLR., SUZUKI, L.E.A.KAISE, D.R. Resistência do solo à penetração e distribuição do sistema radicular das culturas da soja e feijoeiro. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, CD-ROM, Recife, 2005.

DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M. Fósforo, Potássio e matéria orgânica em um Latossolo Roxo, sob sistemas de manejo com milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, n. 3, p. 471-477. 1993.

DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; SOUZA DIAS, H. Atributos Físicos do solo e crescimento radicular da soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. , p. 703 –709. 1999.

DE MARIA, I.C.; MNABUDE, P.C.; CASTRO, O.M. Long term tillage and crop rotation

effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. **Soil e Tillage Research**, Amsterdam, v. 51, p. 71-79. 1999a.

DECHEN, S.C.F.; LOMBARDI NETO, F.; CASTRO, O.M. Gramíneas e leguminosas e seus restos culturais no controle da erosão em Latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 5, n. 2, p.133-137. 1981.

DEDECEK, R.A.; RESK, D.V.S.; FREITAS JUNIOR, E. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em Latossolo vermelho escuro dos cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 10, n. 3, p. 265-272. 1986.

DERPSCH, R., ROTH, C.H., SIDIRAS, N., KOPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: GTZ, 1991. 272p.

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno**. IAPAR:Londrina, 1992. 78p.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; ROTH, C. H. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. **Soil e Tillage Research**, Amsterdam, v. 8, p. 253-263. 1986.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMAN, F. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n. , p. 761-773. 1985.

DEXTER, A. R. Mechanics of root growth. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 98, n. 3, p. 303-312. 1987.

DULEY, F.L. Surface factors affecting the rate of intake os water by soils. **Soil Science Society America Proc.**, v. 4, p. 60-64, 1939.

EDMEADES, D.C.; JUDO, M.; SARATHCHANDRA, S.U. The effect of lime on nitrogen mineralization as measured by grass growth. **Plant Soil**, v. 60, p.177-186. 1981.

EHLERS, W.; RÜPRE, U.; HESSE, F.; BÖHM, W. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. **Soil e Tillage Research**, Amsterdam, v. 3, p. 261-275. 1983.

ELTZ, F.L.P.; PEIXOTO, R.T.G., JASTER, F. Efeitos de sistema de preparo de solo nas propriedades físicas e químicas de um latossolo bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 13, n. , p. 259-267. 1989.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste (Dourados, MS). **Milho**: informações técnicas. Dourados:Embrapa-CPAO, 1997. 222 p. (Circular técnica, 5).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, Produção de Informação; Rio de Janeiro:Embrapa Solos, 1999. 412p.

FAGANELLO, A.; SATTTLER, A.; PORTELLA, J.A. Eficiência de semeadoras na emergência de plântulas de milho (*Zea mays*) sob sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas:Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. v.3, p.229.

FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. **Química de suelos**: com ênfasis en suelos de América Latina. 2. ed. San José: IICA, 1994. 420 p.

FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C.; DE LIMA, S.L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 947-953. 2003.

FRANCHINI, J.C.; MIYASAMA, M.A.; PAVAN, MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extrato de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 2267-2276. 1999.

FREITAS, P. L. Crescimento radicular em culturas anuais em sistema plantio direto na região dos cerrados. In: **Workshop sobre sistema radicular**: Metodologias e estudos de caso. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. p. 231-244.

FRIMMEL, F.H.; CHRISTMAN, R.F **Humic substances and their role in the environment**. New York: John Wiley e Sons, 1988. 271 p.

GENRO JUNIOR, S.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Variabilidade temporal da resistência a penetração de um Latossolo argiloso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,

Viçosa, v. 28, n. 3., p. 477-484. 2004.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 13.ed. Piracicaba:Nobel, 1991. 468p.

GONÇALVES, J.R.P. **Efeito de três espécies de adubos verdes cultivados no inverno sobre algumas propriedades do solo no desenvolvimento e na produção de milho (*Zea Mays L.*) sob cultivo convencional e plantio direto**. Botucatu, 1999. 98p. Dissertação (mestrado) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

GONÇALVES, J.R.P. **Granulometria e doses de calcário na cultura do milho e em atributos químicos do solo, em sistemas convencional e direto**. Botucatu, 2003, 143 p. Tese de Doutorado, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual paulista.

GRIME, H. Development of K-fertilizer recommendation. In: COLOQUIUM OF THE INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 22, 1990, Soligork. Proceedings... Soligork: IPI, 1990. p. 117-131.

HALLMARK, W.B.; BARBER, S.A. Root growth and morphology, nutrient uptake, and nutrient status of soybean as affected by soil K and bulk density. **Agronomy Journal**, v. 73, p. 779-782. 1981.

HAYNES, R.J.; FRANCIS, G.S. Changes in microbial biomass C, soil. Carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. **Journal of Soil Science**, v. 44. p. 665-675. 1993.

HERNANI, L.H.; SALTON, J. C. Manejo e conservação do solo. In: Algodão: tecnologia de produção. Dourdos: Embrapa Agropecuária Oeste: Campina Grande: Embrapa Algodão, p.76-102, 2001.

HOLTZ, G.P., SÁ, J.C.M. Resíduos Culturais reciclagem de nutrientes e impacto na fertilidade do solo. In: Curso sobre Manejo do Solo em Plantio Direto, 1995, Castro-Pr. Castro: Fundação ABC, 1995, p.21-36

JORGE, L.A.C.; CRESTANA, S. SIARCS 3.0: Nova Ferramenta para análise de imagens aplicada à Ciência do Solo. In: Congresso Latino-Americano de Ciência do Solo, 13, 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia:Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. (editado em CD-ROM).

KAY, B. D. Rates of change of soil structure under different cropping systems. **Advances in Soil Science**, v. 12, p. 1-52. 1990.

KIEHL, J. E. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

KIEHL, J.E. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

KIRKEGAARD, J.A.; SO, H.B.; TROEDSON, R.J. Effect of compaction on the growth of pigeon pea on clays soils. III. Effect of soil type and water regime on plant response. **Soil e Tillage Research**, Amsterdam, v. 26, p.163-178. 1993.

KIRKEGAARD, J.A.; SO, H.B.; TROEDSON, R.J. The effect of soil strength on the growth of pigeon pea radicles and seedlings. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 140, n. 2, p.65-74. 1992.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, n. 3, p. 395-401. 1995.

KUMADA, N. Soil Organic Matter Analysis Method. **Chemistry of Soil Organic Matter**, Tokio: Japan Scientific Societies Press, 1987. p. 95-97.

LAMAS, F.M.; STAUT, L.A. **Espécies Vegetais para Cobertura do Solo no Cerrado de Mato Grosso**. Comunicado Técnico-97. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-CPAO, Dourados-MS. 4p, 2005.

LANÇANOVA, J.A.C. Limitações para produção de leite a pasto. In: **Organização das Cooperativas do Paraná**. IAPAR. (Org.). Curso de atualização em pastagens. 1 ed. Cascavel, 1991. v. 1, p. 263-266.

LEMO, L.B; NAKAGAWA, J.; CRUSCIOL, C.A.C; CHIGNOLI JÚNIOR, W.; DA SILVA, T.R.B. Influência da época de semeadura e do manejo da parte aérea de milho sobre a soja em sucessão em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 405-415. 2003.

LETEY, J. The study of soil structure: science on art. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 29, n. 6, p. 699 – 707. 1991.

LIBARDI, P.L.; VAN LIER, Q.J. Atuação dos fatores físicos do solo no desenvolvimento do sistema radicular. In: **Workshop sobre sistema radicular**: Metodologias e estudos de caso.

Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. p. 43-56.

LITCHFOUSE, E. Temporal Pools of individual organic substances in soil. **Analises**, v. 27, p.442-444. 1999.

LOMBARDI NETO, F.; DE MARIA, I.C.; CASTRO O.M.; DECHEN, S.C.F.; VIEIRA, S.R. Efeito da quantidade de resíduos culturais do milho nas perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.12, n. 1, p. 71-75. 1988.

LONGO, J.V. **Fracionamento e caracterização de substâncias húmicas em materiais de solos**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1982, 66 p. Dissertação de Mestrado.

LOPES, P.R.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 11, n.1 , p. 71-75. 1987.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo:Agronômica Ceres, 1980. 256 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London:Academic Press, 1995. p.889-905.

MARTIN NETO, L.; ROSSEL, R.; SPOSITO, G. Correlation of spectroscopy indicators os humidification with mean annual rainfall along a temperature grassland climosequence. **Geoderma**, v. 81, p. 305-311. 1998.

MARTIN, J.P.; ZUNINI, H.; PEIRANO, P.; CAIOZZI, M.; HAIDER, K. Decomposition of <sup>14</sup>C-Labelled lignins, model humic acid polymers, and fungal melanins in allophonic soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 14, p. 289-293, 1982.

MEROTO JUNIOR, A.; MUNDSTOCK, C.M. Processo de afilhamento e crescimento de raízes de trigo afetados pela resistência do solo. **Revista da Agronomia**, São Paulo, v.12, n.2, p.197-202. 1999.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A; SANTOS, J.C.F. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In: INTERNATIONAL SIMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4, 1996, Belo Horizonte. **Abstracts**.. Sete Lagoas:Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1996. p. 8.

MORELLI, M.; FERREIRA, E.B. Efeito do carbonato de cálcio e do fosfato diamônico em propriedades eletroquímicas e físicas de um Latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 11, n 1. , p. 1-6. 1987.

MULLINS, G. L.; REEVES, D.W. Residual phosphorus and pH effects on pearl millet grain production. In: FIRST NATIONAL GRAIN PEARL MILLET PRODUCTION, 1995, Tifton. p.98-101.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 7, n. , p. 95-102.1983.

NASCIMENTO, E.J. **Dinâmica da matéria orgânica em um Latossolo Vermelho Escuro Distrófico, fase cerrado, submetido a diferentes sistemas de preparo e rotação de milho e soja**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1989, 70p. Dissertação de Mestrado.

NOGUEIRA, S.S.; MANFREDINI, S. Influência da compactação do solo no desenvolvimento da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.18, n.9, p. 973-6. 1983.

NUERNBERG, N.J., STAMNEL, J.G., CABEDA, MSV. Efeito da sucessão de culturas e tipo de adubação em características físicas de um solo da encosta basáltica sul – rio grandense.. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p: 185-190, Campinas, 1986.

OADES, J. M. Soil Organic Matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 76, p. 319-37. 1984.

OLIVEIRA, E.L.; PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil e Tillage Research**, Amsterdam, v. 38, p. 47-57. 1996.

OLIVEIRA, M.F.; M.F. de; Alvarenga, R. C. ; Oliveira, A. C. de; Cruz, J.C. Efeito da palha e da mistura atrazine + metalachlor no controle de plantas daninhas na cultura do milho, em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.1, p.37-41, 2001.

PALADINI, F.L.S.; MIELNICZUK, J. Distribuição do tamanho do tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, n 2. , p. 135-140. 1991.

PALMEIRA, P.R.T.; PAULETTO, E.A.; TEIXEIRA, C.F.A.; GOMES, A.S.; SILVA, J.B.

Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n.2 , p. 189-195. 1999.

PANAYIOTOPOULOS, K. P.; PAPADOPOULOU, C. P.; HATJIIOANNIDOU, A. Compaction and penetration resistance of an Alfisol and Entisol and their influence on root growth of maize seedlings. **Soil e Tillage Research**, Amsterdam, v. 31, n. 4, p. 323-337. 1994.

PARRA, M.S. **Dinâmica da matéria orgânica e de nutrientes num Latossolo Roxo Distrófico submetido aos sistemas de plantio convencional e direto e as diferentes sucessões de culturas**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1986, 94 p. Dissertação de Mestrado.

PASSIOURA, J. B. Soil structure and plant growth, **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 29, n. 6, p. 717-728. 1991.

PAVAN, M.A. Ciclagem de nutrientes e mobilidade de íons no solo sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, v. 41, p. 8-12. 1997.

PEIXOTO, R.T.G. Conseqüências do uso e manejo do solo no teor de matéria orgânica e na capacidade de troca catiônica. In: **Simpósio sobre Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas no Sistema Plantio Direto**. 1, 2000, Ponta Grossa:Associação dos Engenheiros Agrônomos de Campos Gerais, 2000. p. 26-54.

PEREIRA, J.A.R. **Cultivo de espécies visando a obtenção de cobertura vegetal do solo na entressafra da soja (Glycine max (L.) Merrill) no cerrado**. Botucatu: UNESP, 1990. 83 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de Concentração em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

PICCOLO, A., MBAGWU, J.S.C. Humic substances and surfactants effects on the stability of two tropical soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 58, p. 950-955. 1994.

PIZAURO Jr, J.M. e MELO, W.J. Influência da incorporação da parte aérea do sorgo ou label na fração da matéria orgânica de um Latossolo vermelho escuro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 19: 95-103, Campinas, 1995.

PRATA, F.; HIKISHIMA, M.; SANTOS FILHO, A.; MOTTA, A.C.V. Influência da matéria



orgânica na capacidade de troca de cátions em solos do Estado do Paraná. **Agrárias**, v. 15, n. 2, p. 69-74. 1996.

PRIMAVESI, O. **Fatores limitantes da produtividade agrícola e plantio direto**. São Paulo: BASF, 1985. 56p.

RAIJ, van B.; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análises de solos para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônomicos, 1983. 31 p. (Boletim Técnico 81)

REEVES, D. W.; WRIGHT, D.L.; MULLINS G. L.; Santen, van E. Influence of pearl milleton performance of winter annual crops. **In: First national grain pearl millet production**, 1995, Tifton, p.81-86.

REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; CABEDA, M.S.V. Índices de estabilidade de agregados e suas relações com características e parâmetros do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, p. 283-290. 1993.

REICOSKY, D.C.; KEMPER, W.D.; LANGDALE, G.W; DOUGLAS, C.L.; RASMUNSEN, P.E. soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.50, p.253-261, 1995.

RENGASAMY, P.; OLSON, A. Sodicy and soil structure. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourn, v. 29, p. 935-952. 1991.

RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; KAMINSKI, J.; XAVIER, F.M. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, p. 263-268. 2000

RICE, J. A. Humin. An Interdisciplinary Approach to Soils Research, **Soil Science**, v. 166, n. 11, p. 848-857. 2001

RITCHEY, K.D.; SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E.; CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, v. 72, p. 40-44. 1980.

ROBERTSON, L.S.; MOKMA, D.L. Crop residue and tillage considerations in energy conservation. **Energy Fact Sheet**, n. 6, p.1-6. 1978.

- ROSOLEM, C.A. *Relações solo-planta em milho*. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 53p.
- ROSOLEM, C.A.; ALMEIDA, A.C.S.; SACRAMENTO, L.V.S. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 53 n. 2, p.259-266. 1994a.
- ROSOLEM, C.A.; BESSA, A.M.; PEREIRA, H.F.M. Dinâmica do potássio no solo e nutrição potássica da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 9, p. 1045-1054. 1993.
- ROSOLEM, C.A.; MATEUS, G.P.; GODOY, L.J.G.; FELTRAN, J.C.; BRANCALIÃO, S.R. Morfologia Radicular e suprimento de potássio às raízes de milho de acordo com a disponibilidade de água e potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27,n.3 p. 875-884. 2003.
- ROSOLEM, C.A.; VALE, L.S.R.; GRASSI FILHO, H.; MORAES, M.H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18 n. 3, p. 491-497. 1994b.
- RUSSEL, R.S.; GOSS, M.J. Physical aspects of soil fertility-The response of roots to mechanical impedance. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Arnhem, v. 22, p. 305-318. 1974.
- SÁ, J.C.M. Reciclagem de nutrientes dos resíduos culturais, e estratégia de fertilização de produção de grãos no sistema plantio direto. In : SEMINÁRIO SOBRE PLANTIO DIRETO NA UFV,1., Viçosa, 1998. **Resumo das palestras**. Viçosa:Universidade Federal de Viçosa, 1998. p. 19-61.
- SÁ, J.C.M.; PETRERE, C. Desenvolvimento radicular da cultura de milho em solos sob plantio direto da Região dos Campos Gerais e do Planalto Gaúcho. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1, 1995, Castro. **Anais...** Castro: Fundação ABC, 1995. p. 162-204,.
- SALET, R.L.; KRAY, C.H.; FORNARI, T.G.; CONTE, E.; KOCHHANN, R.A. ANGHINONI, I. Variabilidade Horizontal e amostragem de solo no sistema de plantio direto. In: REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1, 1996, Lages. **Resumos**

**Expandidos:** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.74-76.

SALTON, J.C., KICHEL, A.N. Milheto – Alternativa para cobertura do solo e alimentação animal. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 45, p. 41-42. 1998.

SALTON, J.C.; HERNANI, L.C. Cultivos de primavera: alternativa para produção de palha no Mato Grosso do Sul. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10, 1994, Florianópolis. **Resumos....** Florianópolis:SBCS, 1994. p.248-249.

SALTON, J.C.; KICHEL, A.N. **Milheto – Alternativa para cobertura do solo e alimentação animal**. Dourados:EMBRAPA. Folheto. 1997.

SANCHES, P.A. **Properties and management of soil in the tropics**. New York: J. Willey, 1976.

SANTOS FILHO, A. **Capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos do Estado do Paraná**. **Revista do Setor de Ciência Agrícola**, 1985.

SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre:GENESIS, 1999. 491 p.

SANTOS, H.P.; FONTANELLI, R.S.; TOM, G.O. SPERA, S.T. Efeito de sistemas de produção mistos sob plantio direto sobre a fertilidade do solo após 8 anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 545-552, 2003.

SANTOS, H.P.; LHAMBY, J.C.B.; SANDINI, I. Efeito de culturas de inverno e de sistemas de rotação de culturas sobre algumas características da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n.11, p.1141-1146. 1997.

SANTOS, H.P.; PEREIRA, L.R.; REIS, E.M. Rotação de culturas em Guarapuana. XII. Efeitos de sistemas de sucessão de culturas sobre o rendimento de grãos e sobre outras características agronômicas da soja, em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 6, p. 907-916. 1994.

SANTOS, H.P.; REIS, E.M. Rotação de culturas. XIX. Efeitos de culturas de inverno sobre o rendimento de grãos e sobre algumas características agronômicas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 11, p. 1637-1645. 1990.

SANTOS, H.P.; TOMM, G.O. Rotação de culturas para trigo, após quatro anos: efeitos na fertilidade do solo em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 2, p. 259-265, 1999.

SANTOS, H.P.; TOMM, G.O.; LHAMBY, J.C.B. Plantio direto versus convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos das culturas em rotação com a cevada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, p. 449-454. 1995.

SANTOS, J.R. Efeitos do calcário, gesso e vinhaça sobre algumas propriedades físicas e químicas de uma terra roxa estruturada cultivada com milho e soja em dois sistemas de preparo de solo. Botucatu, 1999, 115p. Tese (Doutorado)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

SECCO, D; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; DA ROS, C.O. Produtividade da soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28 n. 5, 2004.

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

SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M.H.; MULLER, M.M.L.; FOLONI, J.S.S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo, sistemas de preparo e manejo de solo**. Jaboticabal: FUNEP, 2002. p. 1-8.

SILVA, I. F. **Formação, estabilidade e qualidade de agregados do solo afetados pelo uso agrícola**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1993. 126p. Dissertação de Mestrado.

SILVA, I. F.; ANDRADE, A.P.; CAMPOS FILHO, C.R.; OLIVEIRA, F.A.P. Efeito de diferentes coberturas vegetais e de práticas conservacionistas no controle da erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.10, n. 3, p. 289-292. 1986.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n.1, p.113-117. 1997.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 313-319. 1997a.

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

SILVA, R.H.; ROSOLEM, C.A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n.3 p. 253-260. 2001.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Teores de nutrientes e de matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2001.

SIQUEIRA, R.; BOLLER, W.; GAMERO, C.A. Capacidade de trabalho e consumo de combustível na trituração de três coberturas vegetais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1997. (Arquivo MAG 025, editado em cd – rom).

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F.M.S.; GRISI, B.M.; HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S. **Microorganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília, EMBRAPA-SPI/CNPAF, 1994. 142 p. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 45)

SIVAKUMAR, M.V.K.; SALAAM, S.A. Effect of year and fertilizer on water-use efficiency of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) in Niger. **Journal of Agricultural Science**, v. 132, p. 139-148, Part 2. 1999

SOANE, B.D.; PIDGEON, J.D. Tillage requirements in relation to soil physical properties. **Soil Science**, v. 119, n. 5, p. 376-84. 1975.

SODRÉ FILHO, J, CARDOSO, A.N, CARMONA, R, DE CARVALHO, A.M. Fitomassa em cobertura do solo de culturas de sucessão ao milho na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n4, p.237-334. 2004.

SOMANI, L.L.; SAXENA, S.N. Distribution of humic fractions in some soils of Rajasth.

Agrochimistry, v. 26, p. 95-103. 1982

SOUZA, W.J.O.; MELO, W.J. Matéria orgânica em um latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1113-1120. 2003.

SPITALNIAK, J.A.; WRIGHT, D.L.; TEARE, I.D.; USHERWOOD, N.R. Nutrient uptake (NPK) in relation to growth stage for pear millet tropical corn and temperate corn. In: **First national grain pearl millet production**, 1995, Tifton, p.102-107.

STENVESON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2. ed. New York: J Wiley, 1994. 496 p.

STEVENSON F.J. Geochemistry of soil humic substances. In: AIKEN, G.R.; MCKNIGHT, D.M.; WERSHAW, R.L.; MACCARTHY, P. (Org). **Humic substances in soil, sediment and water**. New York: A Willey Interscience Publication, 1985. Cap. 2, p.13-52.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n.2, p.387-394, 2001.

STRECK, E. V. **Erosão Hídrica do Solo relacionada com o subfator uso anterior da terra do modelo “Rusle”**. Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999, 195 p. Tese de Doutorado.

TATE III, R.L. Humic and acids: formation and decomposition. In: TATE III, R.L. (Ed.) **Soil organic matter: biological and ecological effects**. New York: John Willey e Sons., p. 147-164 1987.

TATSUKAWA, T. Determination of fulvic and humic acid by Tatsukawa's method. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Japan, v. 37, p. 28-33. 1966.

TEIXEIRA, C. F. A., PAULETTO, E.A. Resistência mecânica à penetração de um argissolo amarelo distrófico típico sob diferentes sistemas de produção em plantio direto. **Revista Ciência Rural**, vol: 33. 6. Santa Maria. 2003.

TIRITAN, C. S. **Alteração dos atributos químicos do solo e resposta do milho a calagem superficial e incorporada em região de inverno seco.** Botucatu, 2001. 108p. Tese (Doutorado)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

TISDALL, J.M.; OADES J.M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 17, p. 429-441. 1979.

TOGNON, A.A.; DENMATTÊ, J.A.M.; MAZZA, J.A. Alterações nas propriedades químicas de latossolos roxos em sistemas de manejos intensivos e de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 2, p. 71-78. 1997.

TORMENA, C.A.; ROLOLF, G.; SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. , p. 301-309. 1998.

TORRES, E.; SARAIVA, O.F. **Camadas de impedimento mecânico dos solos em sistemas agrícolas com a soja.** Londrina:EMBRAPA/CNPSO, 1999. 58p. (EMBRAPA CNPSO, Circular técnica, 23)

TORRES, E.; SARAIVA, O.F.; GALERANI, P.R. **Manejo do solo para a cultura da soja.** EMBRAPA-CNPSO, Londrina, 71p 1993.

UNGER, P.N.; KASPAR, J.C. Soil compaction and root growth: a review. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, n. 5, p. 759-766. 1994.

VALENTI, M. H. E. Épocas de manejo químico de coberturas de solo para a cultura do feijoeiro em sistema de plantio direto na palha. **Scientia Agraria**, v.1, n. 1-2, p. 75-82. 2000.

VARADACHARI, C.; GROSH, K. On humus formation. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 77, p. 305-313. 1984.

VOLK, L.B.S. **Erosão hídrica relacionada às condições físicas de superfície e subsuperfície do solo, induzidas por formas de cultivo e de manejo dos resíduos culturais.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. 68p. Dissertação de Mestrado.

WALKLEY, A. A critical examination of a rapid methods for determining organic carbon in soils: Effect of variation in digestion condition and of inorganic constituents. **Soil Science**,

Madison, v. 63, p. 251-264. 1947.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the Degtjarreff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v. 37, p. 29-38. 1934.

WANG, J.; HESKETH, J.D.; WOOLLEY, J.T. Preexisting channels and soybean rooting patterns. **Soil Science**, Baltimore, v. 141, p. 432-437. 1986.

WIETHÖLTER, S.; BEM, J.R.; KOCHHAN, R.A; PÖTKER, D. Fósforo e potássio no Sistema de Plantio Direto. In: NUERNBERG, N.J. (Ed.) **Conceitos e fundamentos do sistema de plantio direto**. Lages:SBCS- Núcleo Regional Sul, 1998. p. 121-149.

WILD, A.A. **Soil conditions and plant growth**. 11. ed. Nova Iorque:Longman Scientific e Technical, 1988. 991 p.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH D.D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington:USDA, 1978. 58 p. (Agricultural Handbook, 537).