



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA**

IVAN BORDIN

**ESTRUTURA DO SOLO E APORTE DE MATÉRIA SECA,
CARBONO E NITROGÊNIO EM SISTEMAS DE MANEJO DO
SOLO**

Londrina
2008

IVAN BORDIN

**ESTRUTURA DO SOLO E APORTE DE MATÉRIA SECA,
CARBONO E NITROGÊNIO EM SISTEMAS DE MANEJO DO
SOLO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientadora: Profa. Dra. Carmen Silvia Vieira Janeiro Neves

Londrina
2008

**Catálogo na publicação elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

B729e Bordin, Ivan.
Estrutura do solo e aporte de matéria seca, carbono e nitrogênio de raízes em sistemas de manejo do solo / Ivan Bordin. – Londrina, 2008. 104f. : il.

Orientador: Carmen Silvia Vieira Janeiro Neves.
Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2008.
Inclui bibliografia.

1. Solos – Manejo – Teses. 2. Soja – Raízes – Teses. 3. Milho – Raízes – Teses. 4. Plantio (Cultivo de plantas) – Teses. I. Neves, Carmen Silvia Vieira Janeiro. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 631.4

IVAN BORDIN

**ESTRUTURA DO SOLO E APORTE DE MATÉRIA SECA,
CARBONO E NITROGÊNIO EM SISTEMAS DE MANEJO DO
SOLO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Carmen Silvia Vieira Janeiro Neves
UEL

Profa. Dra. Cristiane Conti Medina – UEL

Prof. Dr. João Tavares Filho – UEL

Prof. Dr. Sandro José Giacomini – UFSM

Pesq. Dr. Antonio Costa – IAPAR

Pesq. Dr. Julio Cezar Franchini dos Santos
(suplente) – EMBRAPAsoja

Pesq. Dra. Graziela Moraes de Cesare Barbosa
(suplente) – IAPAR

Prof. Dra. Carmen Silvia Vieira Janeiro Neves
Orientadora – UEL

Londrina, 06 de junho de 2008.

O único lugar onde o sucesso vem antes que o trabalho é no dicionário." (Albert Einstein). "

Dedico aos leitores.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus por ter me concedido saúde, sabedoria e vontade para vencer esta etapa da minha vida.

Agradeço ao meu pai Adelino Adão Bordin (*in memoriam*), e minha mãe Márcia Leite Bordin, pelo apoio, dedicação e confiança atribuídos a mim durante este período.

A minha orientadora a Professora Dra. Carmen Silvia Vieira Janeiro Neves que me auxiliou na elaboração, desenvolvimento e avaliação do trabalho, mas sobre tudo pela sua amizade.

A Professora Dra. Cristiane Conti Medina pela ajuda no desenvolvimento do trabalho, especialmente na avaliação do perfil cultural e correção dos artigos.

Ao CNPq, que auxiliou financeiramente a Tese, com bolsa de estudos e auxílio de bancada.

Ao Prof. Dr. Celso Aita da UFSM, por ter cedido o experimento com rotação de plantas de cobertura do solo em Santa Maria, para execução da Tese.

Ao pesquisador Dr. Julio Cezar Franchini dos Santos da EMBRAPASoja, por ter cedido o experimento de sistemas de plantio convencional e direto em Londrina, para execução da Tese.

Aos funcionários da EMBRAPASoja, especialmente ao técnico de laboratório Donizete Loni e técnico de campo Luis Gustavo Garbelini.

Ao técnico de laboratório da UEL Darlot Alves da Silva Junior.

Gostaria de agradecer também a todos os acadêmicos do curso de Agronomia, que direta e indiretamente auxiliaram no desenvolvimento do trabalho: Ricardo Sfeir de Aguiar, Viviane Dutra, Fernanda Marchiotto, Vitor Camargo do Nascimento, Edilene Aparecida Preti, Carina Cardoso e Gisele Aquino.

O Autor

BORDIN, IVAN. **Estrutura do solo e aporte de matéria seca, carbono e nitrogênio em sistemas de manejo do solo**. 2008. 114f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

RESUMO

A utilização de sistemas conservacionistas como o plantio direto e a rotação de culturas, incluindo plantas de cobertura do solo, podem contribuir na melhoria da estrutura do solo, distribuição das raízes e manutenção de carbono e nitrogênio do solo. Os objetivos do trabalho foram: 1) avaliar a estrutura do Latossolo Vermelho e associá-la à distribuição do sistema radicular de trevoço branco e aveia preta em sistema convencional e plantio direto em Londrina-PR; 2) avaliar a influência do cultivo de plantas de cobertura de solo na estrutura do solo e distribuição do sistema radicular do milho; 3) avaliar a distribuição do sistema radicular e o aporte de matéria seca, carbono e nitrogênio por raízes de soja e milho em sistema de plantio convencional e direto em Londrina-PR; 4) avaliar a distribuição do sistema radicular e os aportes de matéria seca, carbono e nitrogênio da parte aérea e raízes do milho e de plantas de cobertura do solo de verão, em sistema de rotação de culturas. Os experimentos foram realizados em duas localidades: a) Londrina - PR, num Latossolo Vermelho distroférico, em sistema convencional e direto; b) Santa Maria – RS, num Argissolo Vermelho Distrófico arênico, em sistema de rotação com plantas de cobertura do solo. A estrutura do solo foi avaliada pelo método do perfil cultural, determinando-se as unidades morfológicas homogêneas (UMH), complementado por avaliação da densidade do solo. Na avaliação da distribuição das raízes, foi utilizado o método da parede do perfil, com auxílio do software SIARCS[®] 3.0 (Sistema Integrado de Análise de Raízes e Cobertura do Solo). Para avaliação do aporte de matéria seca, carbono e nitrogênio das raízes, foram abertas trincheiras e coletados anéis para amostragem das raízes em sete profundidades (0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40; 0,40-0,60; 0,60-0,80 e 0,80-1,00 m). Em amostras de raízes realizou-se a determinação de carbono e nitrogênio. A unidade morfológica homogênea C Δ , compacta, e a densidade do solo, não limitaram a distribuição das raízes de trevoço branco e aveia preta. A unidade F Δ μ , fissurada, é mais presente no sistema convencional do que no plantio direto. A distribuição do sistema radicular do milho não é influenciada pelas plantas de coberturas de solo. A distribuição, a quantidade e os aportes de matéria seca, carbono e nitrogênio de raízes de soja e milho não foram influenciados pelos sistemas de manejo do solo. O sistema de sucessão de culturas com aveia + ervilhaca no inverno e feijão-de-porco no outono aumentam o aporte de matéria seca, carbono e nitrogênio das raízes do milho. O aporte de matéria seca e carbono da parte aérea foi maior para o milheto do que a da mucuna cinza e o aporte de nitrogênio da parte aérea foi maior para o feijão-de-porco do que o do milheto e da mucuna cinza. Os sistemas radiculares de crotalaria juncea e mucuna cinza contribuíram com maior aporte de carbono e nitrogênio ao solo, respectivamente, do que o sistema radicular do milheto.

Palavras-chave: Unidade morfológica homogênea. Perfil cultural. Raiz. Manejo do solo. Adubo verde.

BORDIN, IVAN. **Soil structure and input of dry matter, carbon and nitrogen in systems of soil management**. 2008. 114f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

ABSTRACT

Conservation systems as no tillage with crop rotation with cover crops can improve soil structure, root distribution and carbon and nitrogen contents in the soil. The aim of this research work was: 1) A- The aim of the work was to evaluate the soil structure in clayey Typic Haplorthox and to associate it with the distribution of the root system of white lupin and black oat in soil tillage and no-tillage systems in Londrina-PR; 2) The aim of this research work was to evaluate the influence of cover crops and soil structure on the amount and distribution of corn roots; 3) The aim of this research work was to evaluate the distribution of the root system of soybean and corn and its contribution to the input of dry matter, carbon and nitrogen, in soil tillage and no-tillage systems; 4) The aim of this work was to evaluate the distribution of the roots system and the input of dry matter, carbon and nitrogen of corn and cover crops in a rotation system. The experiments were carried out in two locations: a) Londrina – PR, in clayey Typic Haplorthox in soil tillage and no-tillage systems; b) Santa Maria – RS, in Paleudalf soil in cover crops systems. The soil structure was evaluated by the crop profile method, determining the homogeneous morphologic units (HMU), complemented by soil bulk density analysis. Roots were evaluated by the profile wall method with SIARCS 3.0[®] software (Sistema Integrado de Análise de Raízes e Cobertura do Solo). To evaluate the input of dry matter, carbon and nitrogen from roots, trenches were open and soil samples were collected in seven depths (0-0.10; 0.10-0.20; 0.20-0.30; 0.30-0.40; 0.40-0.60; 0.60-0.80 and 0.80-1.00 m). In the root samples it was made the determination of carbon and nitrogen contents. The compacted HMU CΔ and bulk density not limit the distribution of roots of white lupin and black oat. The eager HMU F is more present in soil tillage than in the and no-tillage system. The distribution of the corn roots not influence by the cover crops. The distribution and the amount of roots of soybean and corn and the input of C and N were not influenced by the soil management systems. The crop successions system with oat + vetch in the winter and jack bean in the summer fall increase input of dry matter, carbon and nitrogen the root corn. The input of dry matter and carbon from the above ground part for the millet was higher than that of gray mucuna and the input of nitrogen from the above ground part was higher for the jack bean than the millet and gray mucuna. The roots of crotalaria juncea and gray mucuna had greater input of carbon and nitrogen into the soil, respectively, than millet roots.

Keywords: Homogeneous morphologic unit. Cultural profile. Root. Soil management. Green manure.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	9
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 MANEJO DO SOLO.....	11
2.2 MANEJO DO SOLO E SISTEMA RADICULAR DE PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO	13
2.3 MANEJO DO SOLO E SISTEMA RADICULAR DA SOJA	17
2.4 MANEJO DO SOLO E SISTEMA RADICULAR DO MILHO	18
2.5 SEQÜESTRO DE CARBONO ATMOSFÉRICO PARA O SOLO	20
2.6 APORTE DE MATÉRIA ORGÂNICA AO SOLO PELO SISTEMA RADICULAR	22
2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
3 ARTIGO A: ESTRUTURA DO SOLO E SISTEMA RADICULAR DE TREMOÇO BRANCO E AVEIA PRETA EM SISTEMA DE PLANTIO CONVENCIONAL E DIRETO	34
3.1 RESUMO E ABSTRACT.....	34
3.2 INTRODUÇÃO.....	35
3.3 MATERIAL E MÉTODOS	37
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
3.4.1 Estrutura do solo	40
3.4.2 Distribuição das raízes de tremoço branco e aveia preta.....	47
3.5 CONCLUSÕES.....	50
3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
4 ARTIGO B: ESTRUTURA DO SOLO E SISTEMA RADICULAR DO MILHO EM SUCESSÃO COM PLANTAS DE COBERTURA	54
4.1 RESUMO E ABSTRACT.....	54
4.2 INTRODUÇÃO.....	55
4.3 MATERIAL E MÉTODOS	56
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.4.1 Estrutura do solo	60
4.4.2 Distribuição das raízes de milho.....	65
4.5 CONCLUSÕES.....	67

4.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
--------------------------------------	----

**5 ARTIGO C: APORTE DE MATÉRIA SECA, CARBONO E NITROGÊNIO POR
RAÍZES DE SOJA E MILHO EM SISTEMA DE PLANTIO
CONVENCIONAL E DIRETO**

5.1 RESUMO E ABSTRACT.....	71
5.2 INTRODUÇÃO.....	72
5.3 MATERIAL E MÉTODOS	73
5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
5.5 CONCLUSÃO.....	83
5.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84

**6 ARTIGO D: APORTE DE MATÉRIA SECA, CARBONO E NITROGÊNIO DA
PARTE AÉREA E DE RAÍZES DE MILHO E PLANTAS DE
COBERTURA DO SOLO EM ROTAÇÃO DE CULTURAS.....**

6.1 RESUMO E ABSTRACT	87
6.2 INTRODUÇÃO	88
6.3 MATERIAL E MÉTODOS	90
6.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	93
6.4.1 Sistema radicular e parte aérea de milho	93
6.4.2 Sistema radicular e parte aérea de plantas de cobertura do solo	101
6.5 CONCLUSÕES	109
6.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110

7 CONCLUSÕES GERAIS

114

1 INTRODUÇÃO GERAL

O aquecimento global tem sido muito discutido e pesquisado nos dias atuais. Sabe-se que 99% dos gases da atmosfera da Terra é composta de nitrogênio, oxigênio e argônio, que têm pouca interação com a radiação infravermelha emitida pela Terra. Entretanto uma série de gases (dióxido de carbono, metano e óxido nitroso), que representam menos de 1% da atmosfera terrestre, são os responsáveis pelo aquecimento global, por absorverem e emitirem radiação infravermelha. Pode-se destacar o gás carbônico como o principal responsável pelo aquecimento da Terra, por ser emitido à atmosfera em maior quantidade que metano e óxido nitroso.

Dentre os quatro principais compartimentos de carbono na Terra (oceanos, atmosfera, formações geológicas e ecossistemas terrestres), os ecossistemas terrestres, especialmente os solos, são considerados como um grande reservatório de carbono.

Os estoques de carbono no solo podem ser aumentados pela adoção de sistemas conservacionistas de manejo do solo. Dentre os sistemas conservacionistas, pode-se destacar o plantio direto, por ser um sistema no qual a palha e os restos vegetais são deixados na superfície do solo. O solo é revolvido apenas no sulco onde são depositadas sementes e fertilizantes, não existindo preparo do solo além da mobilização no sulco de plantio, ao contrário do manejo convencional, que utiliza arações e gradagens superficiais no preparo do solo, o que pode provocar a desestruturação da camada arável, e o surgimento de uma camada superficial pulverizada e outra subsuperficial compactada.

A adoção do sistema plantio direto influencia na estrutura do solo, que embora não seja considerada um fator de crescimento para as plantas, exerce influência direta sobre movimentação de água, transferência de calor, aeração, densidade do solo e porosidade. É importante que se tenha uma visão global da estrutura do solo, para assim, poder relacioná-la com a quantidade e distribuição das raízes, gerando informações úteis que podem auxiliar na tomada de decisões quanto a práticas de manejo, uso de implementos, espaçamento, adubação e irrigação, entre outras.

A consolidação do sistema plantio direto, está essencialmente

alicerçada na rotação de culturas orientada ao incremento da rentabilidade, à promoção da cobertura permanente de solo, à geração de benefícios fitossanitários e à manifestação da fertilidade integral do solo, nos seus aspectos físicos, químicos e biológicos.

Uma forma de contribuir para estabilização desse sistema, é com a escolha de plantas de cobertura, que possam proporcionar boa proteção do solo contra a erosão hídrica e melhoria da sua estrutura, além de possuírem sistemas radiculares vigorosos e profundos capazes de adicionar matéria orgânica em profundidade ao solo, contribuindo para o seqüestro de carbono, além de deixar canais (bioporos) para crescimento das raízes das culturas subsequentes. É comum a subestimar o potencial das plantas no aporte de material vegetal ao solo, pois normalmente é estimada apenas a contribuição dos restos culturais existentes na superfície do solo provenientes da parte aérea, desprezando-se a contribuição do sistema radicular.

Com base na hipótese de que sistemas conservacionistas de manejo de solo, com plantas de cobertura de solo, possam melhorar a estrutura do solo e aumentar o crescimento radicular e consequentemente o aporte de material vegetal radicular ao solo; foram realizados dois experimentos: a) no município de Londrina-PR, na área experimental da EMBRAPA Soja, num Latossolo Vermelho distroférico, em sistemas de plantio convencional e direto; b) no município de Santa Maria-RS, na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, num Argissolo Vermelho Distrófico arênico, com sucessão de plantas de cobertura do solo.

Nesses experimentos foram realizadas diversas avaliações, divididas em quatro artigos, que tiveram os seguintes objetivos: artigo A) avaliar a estrutura do Latossolo Vermelho e associá-la à distribuição do sistema radicular de tremoço branco e aveia preta em sistema convencional e plantio direto em Londrina-PR; artigo B) avaliar a influência do cultivo de plantas de cobertura de solo na estrutura do solo e distribuição do sistema radicular do milho; artigo C) avaliar a distribuição do sistema radicular e o aporte de matéria seca, carbono e nitrogênio por raízes de soja e milho em sistema de plantio convencional e direto em Londrina-PR; artigo D) avaliar a distribuição do sistema radicular e os aportes de matéria seca, carbono e nitrogênio da parte aérea e raízes do milho e de plantas de cobertura do solo de verão, em sistema de rotação de culturas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MANEJO DO SOLO

O sistema convencional de manejo do solo realizado no Brasil durante muitas décadas e ainda praticado em muitas regiões, baseou-se em tecnologia adotada em países com clima temperado, não considerando as condições tropicais e subtropicais predominantes no Brasil, e tampouco a preservação física, química e biológica do solo (SEIXAS et al., 2005). Em termos gerais, a intensa mobilização dos solos tropicais provoca sua desagregação superficial, com a formação de uma crosta, resultante da desagregação da estrutura do solo, e ainda outra camada subsuperficial compactada, resultante tanto da pressão exercida pelo peso dos implementos agrícolas quanto da ação direta dos pneus (CASTRO et al., 1987).

O sistema plantio direto foi introduzido no Brasil no início da década de 1970, com a finalidade de controlar a erosão em lavouras cultivadas pela sucessão trigo/soja na região Sul, e hoje é adotado e adaptado a quase todas as regiões do país (SATURNINO, 2001). As razões para a acentuada adoção deste sistema, são: controle da erosão; ganho de tempo no plantio; economia de combustível; melhor estabelecimento da cultura; maior retenção de água no solo; economia de mão-de-obra e em máquinas e implementos (MUZILLI, 1981).

O sistema de plantio direto envolve a diversificação de espécies via rotação de culturas, a mobilização do solo apenas na linha da semeadura ou plantio e manutenção em superfície dos resíduos vegetais das culturas anteriores. Esse sistema submete o agroecossistema a um menor grau de perturbação e desordem, quando comparado a outras formas de manejo que empregam mobilização intensa do solo (DENARDIN; KOCHHANN, 2000).

O sistema de plantio direto vive, nos dias atuais, o seu aprimoramento em função das condições regionais em que é praticado, ou seja, cria identidade regional, conforme a oferta ambiental dos fatores de crescimento. Grande parte do sucesso desse sistema se deve ao fato de que a palha deixada por culturas de cobertura sobre a superfície do solo, somada aos resíduos das culturas

comerciais, cria um ambiente extremamente favorável ao crescimento vegetal e contribui para a estabilização da produção e para a recuperação ou manutenção da qualidade do solo (ALVARENGA et al., 2001). Essa cobertura desempenha as funções de reduzir o impacto das gotas de chuvas, protegendo o solo contra a desagregação de partículas e compactação, dificultando o escoamento superficial, aumentando o tempo e a capacidade de infiltração de água de chuvas, além de proteger a superfície do solo da ação direta de raios solares, o que reduz a amplitude térmica (CRUZ et al., 2001).

O sistema de plantio direto, geralmente, provoca maior densidade do solo e maiores valores de microporosidade na camada arável (até 0,20 m de profundidade), com conseqüente redução na macroporosidade, decorrente, sobretudo, do arranjo natural do solo não mobilizado e da pressão provocada pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas, em particular quando estas operações são realizadas em solos argilosos e com teores elevados de umidade (VIEIRA; MUZILLI, 1984; CASTRO, 1989; BERTOL et al., 2000; CRUZ et al., 2001). No entanto, em comparação com o sistema convencional, há maior homogeneidade destes atributos físicos ao longo do perfil (CRUZ et al., 2001). No sistema convencional, os valores da densidade do solo são menores na camada arável, mas podem ser maiores logo abaixo dessa camada, sob efeito do constante trabalho do solo, o que favorece o aparecimento de camadas mais compactadas, caracterizando a presença de “pé de grade” (TAVARES FILHO et al., 2001).

Com o passar dos anos, a densidade do solo sob plantio direto pode diminuir e a macroporosidade aumentar, como conseqüência, em parte, do aumento do nível de matéria orgânica na camada superficial e da atividade biológica, o que melhora a estrutura do solo (REEVES, 1995). Em trabalho realizado num Latossolo Roxo, Corsini e Ferrauto (1999) evidenciaram que, entre o quarto e o oitavo ano sob plantio direto, houve a recuperação da densidade do solo, da porosidade e do desenvolvimento radicular do milho.

Para se obter sucesso na estabilização do plantio direto é necessário adotar a rotação de culturas, que consiste na seqüência ordenada de culturas no tempo e no espaço, de tal forma que uma espécie só poderá ser cultivada de novo, no mesmo local e área, após um intervalo mínimo de dois anos, ao contrário da sucessão de culturas onde são plantadas as mesmas espécies todos os anos (HERNANI; SALTON, 1998). A rotação deve ser feita com plantas de

cobertura do solo, que têm a finalidade de proteção, manutenção ou melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (CALEGARI, 2006a).

Os benefícios da rotação de culturas são: o controle de plantas daninhas, doenças e pragas, a reposição de material orgânico, e a proteção do solo contra a ação dos agentes climáticos. É recomendável utilizar espécies de plantas de cobertura do solo que, preferivelmente, fixem nitrogênio e tenham sistema radicular profundo ou abundante, capaz de aproveitar os fertilizantes residuais das culturas comerciais (ARF et al., 1999).

Em sistemas de manejo de resíduos, uma planta de cobertura deve satisfazer certas exigências: ser fácil de se estabelecer; ter rápida taxa de crescimento; produzir quantidade suficiente de matéria seca para manutenção de resíduos; ser tolerante a doenças e não atuar como hospedeira de doenças da cultura econômica; ser fácil de exterminar e ser economicamente viável (REEVES, 1994). Entretanto pela impossibilidade de se reunir todas essas qualidades em apenas uma espécie, conjugam-se outras, que se complementam em seus benefícios, incrementando, ainda, a diversificação da rotação e da sucessão de culturas (ALVARENGA et al., 2001). Assim, torna-se fundamental que, em cada região, o sistema de rotação e sucessão de culturas seja adaptado, de forma a ser o mais eficiente possível (CRUZ et al., 2001).

2.2 MANEJO DO SOLO E SISTEMA RADICULAR DE PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO

O cultivo de plantas de cobertura do solo, que tenham sistemas radiculares capazes de se desenvolver sob condições físicas adversas como alta resistência do solo à penetração e deficiência de O₂, é uma prática desejável para a recuperação de áreas fisicamente degradadas.

Segundo Wohlenberg et al. (2004), culturas com sistema radicular agressivo podem minimizar os efeitos negativos da degradação dos solos por meio de melhorias na sua estrutura; porém, informações sobre quais sistemas de culturas são mais apropriados para proporcionar estas melhorias, ainda são incompletas. Para Silva e Mielniczuk (1997), as raízes, apesar de representarem uma pequena

fração dos constituintes orgânicos do solo, exercem grande influência na formação e estabilidade dos agregados do solo.

As plantas de cobertura do solo da família das poaceas, por apresentarem maior densidade de raízes e melhor distribuição do sistema radicular no solo, favorecem as ligações dos pontos de contato entre partículas minerais e agregados, contribuindo, assim, para recuperação da estrutura do solo em áreas degradadas (SILVA; MIELNICZUK, 1997).

Quando as raízes se decompõem, elas deixam canais (bioporos) que podem melhorar o movimento da água e a difusão dos gases no perfil do solo, além de servir de caminhos para a penetração radicular de outras culturas (DEXTER, 1991).

Cintra e Mielniczuk (1983), ao trabalharem com blocos de solo compactados até a densidade de $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$, destacaram a colza e o tremoço pela maior capacidade de penetração da raiz pivotante nesses blocos em relação ao trigo e à cevada. Silva e Rosolem (2001), em trabalho realizado em vasos com diferentes níveis de densidade do solo, chegando a $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$, concluíram que tremoço, mucuna e guandu, com raízes pivotantes, foram inferiores na produção de massa seca radicular quando comparados a milho e sorgo, com raízes fasciculadas. Gonçalves et al. (2006), em trabalho também realizado em vasos com níveis de compactação do solo, concluíram que o milho foi superior na produção de massa seca da parte aérea e no desenvolvimento radicular, quando comparado a amaranto, capim pé-de-galinha e kenaf.

Alvarenga et al. (1996), ao submeter espécies de plantas de cobertura do solo com sistema radicular pivotante à compactação do solo em vasos, observou que o sistema radicular de guandu, crotalária juncea, feijão-de-porco e feijão-bravo-do-ceará têm a distribuição do seu sistema radicular afetados pelo aumento da compactação do solo, acumulando suas raízes nas camadas superiores. Em trabalho realizado a campo, Alvarenga et al. (1995), observaram que crotalária paulina, crotalária juncea, caupi e mucuna-preta apresentaram comprimento da raiz pivotante inferior a 0,5 m de profundidade, ficando o feijão-de-porco e o lab-lab com 0,92 m, numa posição intermediária, enquanto que o feijão-bravo-do-ceará e o guandu tiveram a raiz pivotante mais profunda, com 1,59 e 2,02 m, respectivamente. Quando avaliado o comprimento radicular considerando todas as raízes a 0,05 m de distância da linha de plantio, os mesmos autores evidenciaram

que na profundidade 0-0,11 m as crotalárias paulina e juncea concentraram mais suas raízes em relação às demais fabáceas, mas isso não ocorreu nas demais profundidades avaliadas 0,11-0,21 e 0,21-0,32 m.

Segundo Alvarenga et al. (1995), essa dificuldade apresentada pelas crotalárias de penetrar suas raízes ao encontrar camadas de solo que possam exercer limites ao seu desenvolvimento, pode ocorrer devido ao fato destas plantas apresentarem, em estádios juvenis, raízes mais grossas, o que dificulta a penetração em solos adensados ou compactados, onde o número de poros grandes é menor. Rosolem et al. (2002), ao trabalharem com camadas de solo compactadas em vasos, verificaram respostas semelhantes, com menor desenvolvimento radicular das crotalárias juncea e spectabilis e girassol, quando comparados a milho e sorgo.

Foloni et al. (2006), ao trabalharem em camadas de solo compactadas em vasos, com até $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$ de densidade do solo, concluíram que o sistema radicular mais tolerante à resistência mecânica do solo foi o da mucuna preta. Todavia, os autores enfatizam que, independentemente da sensibilidade à compactação do solo, as raízes da crotalária juncea apresentaram potencial de formação de “bioporos” semelhante ao da mucuna preta. O crescimento das raízes da crotalária juncea dentro das camadas de solo compactadas pode estar associado ao fato de esta espécie ter apresentado redução do seu diâmetro médio radicular, decorrente do aumento da resistência mecânica.

O cultivo de plantas que produzem grande volume de raízes profundas e que mantêm boa cobertura do solo, com crescimento inicial rápido e agressivo pode recuperar os solos fisicamente degradados, sendo que, muitas vezes, deve-se adotar a consorciação de duas ou mais espécies, ou mesmo a rotação adequada de culturas, para que os resultados sejam rapidamente evidenciados (NUERBERG et al., 1986). O consórcio entre milho e leguminosas melhora as qualidades físicas do solo, havendo aumento do tamanho e estabilidade de agregados e redução na densidade e resistência do solo à penetração. Latif et al. (1992) atribuíram essas melhorias ao aumento da incorporação de resíduos orgânicos das leguminosas ao solo, principalmente os provindos de suas raízes.

Em trabalho realizado em vasos, foi constatado que nabo forrageiro, aveia branca e aveia preta foram as espécies mais promissoras em aprofundar seus sistemas radiculares em condições de solo compactado em relação à ervilhaca e ao

tremoço branco, com conseqüente maior quantidade de bioporos (MÜLLER et al., 2001). Em trabalho semelhante, Silva e Rosolem (2002) atribuíram ao efeito descompactador e à criação de bioporos deixados pelas raízes de aveia-preta, guandu e milheto, o favorecimento ao crescimento radicular da soja em camadas compactadas de solo, ao comparar estes adubos verdes com mucuna-preta, tremoço-azul, sorgo, soja e pousio. No trabalho realizado por Arihara et al. (1991 apud ALVARENGA et al., 1995), a soja e o milho tiveram maior desenvolvimento radicular em profundidade, através dos canais deixados pelas raízes do guandu, após sua decomposição.

Com relação à distribuição das raízes, Fante Júnior et al. (1999) constataram que a concentração do sistema radicular da aveia forrageira, em três estádios vegetativos, avaliada por diferentes métodos até 0,50 m de profundidade, variou de 83% a 96% nos primeiros 0,20 m. Estes resultados estão semelhantes dos encontrados por Merten e Mielniczuk (1991), que constataram a concentração de 76% das raízes de aveia preta nos primeiros 0,10 m na semeadura convencional e de 84% na semeadura direta ao avaliarem até uma profundidade de 0,40 m.

É fato conhecido que, independente da planta avaliada, a maioria do sistema radicular se concentra nas camadas superiores do perfil do solo; porém, as pesquisas vêm demonstrando relevância das raízes distribuídas nas camadas mais profundas do solo em relação ao total de raízes. Da Ros e Aita (1996), ao avaliarem a matéria seca de raízes de várias plantas de cobertura do solo coletadas na forma de blocos (0,25 x 0,25 x 0,25 m) a partir da superfície do solo, constataram que os valores variaram de 0,17 Mg ha⁻¹ para a ervilhaca forrageira a 1,36 t Mg ha⁻¹ para aveia preta, enquanto Derpsch et al. (1985) encontraram produções superiores de matéria seca de raízes, ficando entre de 3,08 Mg ha⁻¹ na aveia preta e média de 1,67 Mg ha⁻¹ para as demais oito espécies avaliadas (tremoço-branco, ervilhaca-peluda, chícharo, centeio, trigo, nabo forrageiro, colza e girassol), ao trabalharem com colunas de solo de 0,10 m de largura e 0,10 m de comprimento, até 0,90 m de profundidade.

2.3 MANEJO DO SOLO E SISTEMA RADICULAR DA SOJA

O sistema radicular da soja é constituído de um eixo principal formado pela radícula e grande número de raízes secundárias distribuídas ao longo do eixo. Apesar do eixo principal ser um tanto maior em diâmetro que várias das ramificações com diâmetros similares, a raiz da soja é definida como sendo um sistema radicular difuso, no qual a raiz principal é pouco desenvolvida (GANDOLF et al., 1983).

O sistema radicular da soja tem se mostrado susceptível ao impedimento físico do solo em trabalhos realizados com camadas compactadas em vasos. Borges et al. (1988), ao submeterem cinco variedades de soja a diferentes níveis de compactação do solo, observaram redução no crescimento radicular à medida que foi aumentado o nível de compactação, evidenciando a falta de crescimento radicular a partir da densidade de $1,35 \text{ Mg m}^{-3}$, sendo todas as variedades testadas sensíveis ao aumento da densidade. Resultados semelhantes foram encontrados por Moraes et al. (1991), com restrições ao crescimento radicular da soja em densidades de solo em torno de $1,23 \text{ Mg m}^{-3}$ a $1,3 \text{ Mg m}^{-3}$.

Por outro lado, Nogueira e Manfredini (1983) verificaram total inibição do crescimento radicular da soja, somente na densidade do solo de $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$. Fernandes et al. (1995) e Rosolem et al. (1994), em trabalhos semelhantes, constataram que a soja cessou seu crescimento radicular à densidade do solo de $1,52 \text{ Mg m}^{-3}$ e $1,72 \text{ Mg m}^{-3}$, respectivamente. Tu e Buttery (1988) verificaram, entre outros parâmetros, que a nodulação em raízes de soja foi significativamente reduzida com o aumento da compactação do solo.

Em relação ao manejo do solo, De Maria et al. (1999) e Merten e Mielniczuk (1991) não encontraram diferenças na matéria seca de raízes de soja até a profundidade de 0,40 m, entre sistemas de semeadura direta e manejo com revolvimento do solo. Vieira (1981), ao avaliar a distribuição do sistema radicular da soja na profundidade de 1,00 m, constatou que, no plantio convencional, as raízes se concentravam nas camadas superiores, enquanto que, para o sistema de semeadura direta, as raízes estavam mais aprofundadas no perfil do solo.

No trabalho realizado por Cardoso et al. (2006), cujos tratamentos foram plantio direto compactado, em solo submetido a tráfego intenso, com

densidade do solo em torno de $1,38 \text{ Mg m}^{-3}$ e plantio direto não compactado, com densidade do solo de $1,17 \text{ Mg m}^{-3}$, os autores concluíram que a presença de estruturas compactadas diminuiu a exploração do sistema radicular da soja.

A razão para a melhor distribuição no perfil do solo das raízes de soja em plantio direto pode ocorrer pela continuidade dos poros formados por raízes que apodrecem e pelas galerias feitas pela macrofauna do solo, que são mais comuns nos solos sob sistemas de semeadura direta (LAL, 1993). Wang et al. (1986) relataram que a raiz pivotante da soja, bem como as laterais de primeira ordem, tiveram pouco desenvolvimento, quando não encontraram canais pré-existent nos primeiros 0,35-0,40 m de profundidade do solo. Esse resultado levaram os autores a concluir que o crescimento radicular da soja é dependente da existência desses canais no solo. Silva e Rosolem (2002), concluíram que as raízes da soja se desenvolveram melhor em camadas compactadas de solo quando cultivadas após aveia-preta, guandu e milho.

2.4 MANEJO DO SOLO E SISTEMA RADICULAR DO MILHO

O sistema radicular do milho é constituído de raízes seminais (originadas da semente), adventícias (originadas do mesocótilo) e de suporte (esporões), formando um sistema radicular fasciculado, que, geralmente, apresenta distribuição superficial. Algumas semanas após a germinação, as raízes adventícias assumem totalmente as funções de absorção de nutrientes e água, em decorrência da natureza efêmera das raízes seminais; ao passo que as raízes de suporte (esporões), originadas acima da superfície do solo, são imprescindíveis para a sustentação da planta (FANCELLI e LIMA, 1982).

Bengough e Mullins (1991) constataram que as raízes de milho são intolerantes a elevadas densidades do solo, e que ocorre correlação negativa entre a taxa de alongamento de suas raízes e a resistência do solo à penetração, com redução de 50 a 60%, quando submetidas à restrição física do solo. Em trabalho de Seixas et al. (2005), a subsolagem no plantio direto ocasionou maior aprofundamento das raízes de milho em diferentes manejos do solo, pela quebra da camada compactada e pela melhoria da qualidade física do solo.

Em ensaio em vasos Rosolem et al. (1999) constataram-se que a raiz seminal primária é mais sensível ao aumento da resistência do solo do que as seminais adventícias, e que a resistência à penetração de 1,3 MPa reduziu em 50% o crescimento das raízes do milho. Foloni et al. (2003) em trabalho semelhante, constataram que, independentemente das plantas de milho serem de origem híbrida ou de variedade, são igualmente prejudicadas pela compactação do solo e demonstram distribuição radicular mais superficial com o impedimento mecânico do solo; porém, sem alterar o volume total de raízes.

Em trabalho realizado a campo, Albuquerque e Reinert (2001), ao avaliarem a distribuição das raízes de milho no perfil do solo, relataram que, para o mesmo Argissolo Vermelho distrófico arênico, a profundidade das raízes estava intimamente relacionada à profundidade do horizonte B textural, estando as raízes mais superficiais quando o horizonte estava a 0,40 m de profundidade, e melhor distribuídas no perfil do solo quando o horizonte B textural estava a 0,80 m de profundidade. Segundo os autores, este fato se deu pela interação dos fatores: presença de concreções; elevado teor de argila; e baixas quantidades de macroporos e espaço aéreo. Resultado semelhante foi encontrado por Barreto (1991), que observou em um Latossolo Vermelho Escuro, que o sistema radicular do milho distribuiu-se em 78, 11 e 11% do total a 0,0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade, respectivamente. O fato do horizonte A₃ (0,14-0,40 m) ter apresentado compactação, contribuiu para a maior presença de raízes na camada de 0,0-0,20 m.

Com relação ao manejo do solo, Ivo e Mielniczuk (1999), utilizando o método da placa de pregos em vários estádios de desenvolvimento do milho (20, 30, 58, 74 dias) em sistemas de plantio convencional, reduzido e direto, constataram que, dos 20 aos 30 dias, as raízes tiveram desenvolvimento mais horizontal para o plantio convencional e mais vertical para o plantio direto; enquanto que o sistema de cultivo reduzido ficou numa posição intermediária. A partir do estádio de 58 dias, este padrão desapareceu e as raízes ocuparam quase toda área avaliada, sem diferenciação entre sistemas, mas com concentração maior de raízes nos primeiros 0,05 m de profundidade para o plantio convencional. Aos 74 dias, percebeu-se grande crescimento em extensão e profundidade das raízes até profundidade final da placa de 0,35 m, com diferenciação entre os tratamentos na morfologia das raízes, mas não na sua distribuição.

A maior incidência de raízes de milho no plantio direto em relação ao plantio convencional nos primeiros centímetros de profundidade também foi identificada por outros autores, que associaram esse fato ao melhor perfil químico apresentado, principalmente em relação a pH e Ca^{+2} , devido ao manejo do calcário sem incorporação ao solo (LEITE et al., 2006).

Merten e Mielniczuk (1991) encontraram concentração do sistema radicular de 77% nos primeiros 0,10 m para o sistema convencional e 82% para a semeadura direta ao avaliarem o perfil de solo até 0,40 m de profundidade num Latossolo Roxo distrófico de textura argilosa. Venzke Filho et al. (2004), em contrapartida, ao avaliarem até 0,50 m, constataram que a concentração das raízes de milho nos primeiros 0,10 m foi de apenas 36% num solo argiloso em sistema de semeadura direta de 22 anos.

Bassoi et al. (1994), ao avaliarem o perfil do solo de uma Terra Roxa Estruturada, até a profundidade de 1 m, encontraram cerca de 70% das raízes de milho até profundidade de 0,40. Wahab et al. (1976) apud Bassoi et al. (1994), ao compararem a profundidade de enraizamento de plantas de milho, notaram que a máxima profundidade atingida pelo sistema radicular em um Oxisol foi de 0,90-0,95 m, com 75% do total de raízes presentes a 0,50 m. Já em um Ultisol, caracterizado por apresentar compactação em todo perfil do solo, a maior profundidade foi a 0,25-0,30 m, com 75% do total até 0,12 m.

2.5 SEQÜESTRO DE CARBONO ATMOSFÉRICO PARA O SOLO

A atmosfera da Terra é constituída, principalmente, de nitrogênio (N_2 ; 78,1% do volume), oxigênio (O_2 ; 20,9% do volume) e argônio (Ar; 0,93% do volume). Estes gases possuem limitada interação com a radiação emitida pelo Sol e não interagem com a radiação infravermelha emitida pela Terra. Entretanto, há uma série de gases traços como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e ozônio (O_3) que absorvem e emitem radiação infravermelha. Estes gases, também denominados gases de efeito estufa, ocupam menos que 0,1% do volume da atmosfera e possuem relevante papel no balanço energético da Terra. Embora o gás metano e o óxido nitroso apresentem potencial de aquecimento maior que o gás

carbônico ($\text{CH}_4 = 23$ vezes o CO_2 e $\text{N}_2\text{O} = 296$ vezes o CO_2), o CO_2 é emitido em maiores quantidades devido à queima de combustíveis fósseis, desmatamento ou queimadas (MACHADO, 2005).

Os quatro principais compartimentos de carbono na Terra, são: oceanos; atmosfera; formações geológicas contendo carbono fóssil e mineral; e ecossistemas terrestres (vegetação e solo). Os ecossistemas terrestres são considerados, atualmente, como um grande reservatório de carbono, especialmente os solos, que apresentam maior capacidade de armazenar carbono que a vegetação (LAL et al., 1999).

Conceitualmente, pode-se definir seqüestro de carbono em sistemas agrícolas como sendo a incorporação do carbono fotossintetizado por vegetais ao solo na forma de matéria orgânica do solo (MOS). No entanto, o solo é um reservatório com limites definidos e apresenta capacidade limitada em acumular C na forma de MOS (BAYER e MIELNICZUK, 1997). Solos sob vegetação natural apresentam estoque de C orgânico estável, resultante da igualdade do influxo de CO_2 atmosférico ao solo via plantas e do efluxo de CO_2 do solo para atmosfera via decomposição microbiana. Quando o solo é cultivado, ocorre alteração na magnitude do influxo e do efluxo de CO_2 no sistema solo-atmosfera, com reflexos nos estoques de C orgânico do solo. Normalmente, o cultivo do solo resulta na diminuição dos estoques de C orgânico do solo, resultante do aumento do efluxo de CO_2 para atmosfera e diminuição do influxo de C fotossintetizado no solo. Entretanto, dependendo do manejo aplicado, pode ocorrer equilíbrio, com recuperação, ou até mesmo acumulação, o que seria ecologicamente vantajoso, do ponto de vista de diminuição do CO_2 da atmosfera, reduzindo-se o efeito estufa e os impactos da atividade agrícola no ambiente (SIQUEIRA, 1993; LAL et al., 1999).

Do ponto de vista do manejo do solo, Duxbury et al. (1989) propõem que os diferentes estágios da dinâmica do C podem se alocar em quatro compartimentos ou “pools”, representando as possíveis alterações causadas pelo manejo:

“Pool” ativo ou lábil – é constituído por compostos orgânicos facilmente oxidáveis, derivados de fragmentos de vegetais. É controlado, principalmente, pela adição de resíduos culturais e pelo clima. É fortemente influenciado pelo tipo de manejo do solo empregado. A atividade microbiana é intensa, o que resulta em elevadas quantidades de C e N no solo.

“Pool” lentamente oxidável – está diretamente relacionado com os macroagregados e é controlado pela mineralogia e pelos fatores agronômicos que interferem na agregação, dentre os quais os sistemas de manejo do solo, que afetam o tamanho deste reservatório;

“Pool” muito lentamente oxidável – está diretamente relacionado com os microgregados e é controlado pela sua estabilidade em água. O sistema de manejo do solo interfere muito pouco nesse compartimento;

“Pool” passivo ou recalcitrante – está relacionado com o C associado às partículas primárias do solo. É controlado pela mineralogia da fração argila, formando complexos organo-minerais. Este compartimento não é influenciado pelo manejo do solo.

O aumento ou a redução dos estoques de carbono orgânico no solo são influenciados pelo grau de exposição do solo aos fatores que favorecem as perdas de carbono orgânico (CO) – revolvimento, ruptura de agregados, erosão, lixiviação, baixa adição de resíduos – ou aos fatores que favorecem o aumento dos estoques de CO – alta adição de resíduos, não revolvimento, aumento da estabilidade de agregados, proteção do solo contra a erosão (NICOLOSO, 2005).

Sistemas de manejo conservacionistas determinam alterações na ciclagem de C no sistema solo-atmosfera, as quais se refletem no aumento dos estoques de C orgânico no solo (BAYER e MIELNICZUK, 1997). Sistemas de preparo sem revolvimento ou com mínima mobilização do solo reduzem o efluxo de C do solo para a atmosfera devido à diminuição das taxas de decomposição da matéria orgânica (BAYER et al., 2000a) e, ao se empregarem técnicas de rotação de culturas com alto aporte de resíduos vegetais, determina-se um aumento do influxo de C atmosférico ao solo.

2.6 APORTE DE CARBONO ORGÂNICO AO SOLO PELO SISTEMA RADICULAR

O carbono orgânico no solo está presente na matéria orgânica viva, que corresponde a 2% do carbono orgânico total do solo e na matéria orgânica morta, que corresponde à maior parte (cerca de 98%). O carbono da matéria orgânica viva (CMOV) subdivide-se no carbono presente nos microrganismos (60-80%), constituídos principalmente, de fungos e bactérias, nos macrorganismos (15-

30%) constituídos por minhocas, ácaros e térmitas terrestres e, finalmente, nas raízes (5-10%). O carbono da matéria orgânica morta (CMOM) se subdivide na matéria orgânica, ou seja, resíduos vegetais recém adicionados ao solo, e no húmus (80-90% do CMOM), que consiste de substâncias não húmicas (30% do carbono do húmus) representadas pelos ácidos orgânicos de baixo peso molecular (ex. ácido cítrico, ácido ftálico, ácido malônico) e substâncias húmicas (70% do carbono do húmus) representadas pelos ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas. Apesar do CMOV estar presente em proporção bem menor que o CMOM, as importâncias se igualam, pois os micro e macrorganismos, pelas suas atividades no solo, se constituem num dos principais fatores responsáveis pelas transformações do CMOM, resultando em acúmulo ou perdas (na forma de CO₂) de carbono orgânico do solo (MACHADO, 2005).

Segundo vários autores, práticas conservacionistas com inclusão de espécies de plantas de cobertura de solo nos sistemas de cultivo, aumentam os estoques de C no solo (BAYER et al., 2000b; AMADO et al., 2001). Os produtos da fotossíntese, translocados para o interior do solo, são representados por tecido radicular vivo, exsudatos e diversos constituintes orgânicos, que são derivados de raízes em crescimento, raízes mortas, pêlos radiculares, microrganismos rizosféricos e seus subprodutos (BALESDENT; BALABANE, 1992). A quantificação da contribuição real destes compostos para o aumento do teor da matéria orgânica do solo é dificultada pela existência de matéria orgânica nativa e do aporte de resíduos orgânicos pela parte aérea, que podem ser incorporados ao solo pela atividade biológica ou pelo deslocamento no perfil a partir da superfície do solo (MIELNICZUK, 1999).

Balesdent e Balabane (1996), ao avaliarem a decomposição da matéria orgânica da parte aérea e do sistema radicular do milho durante quatro anos, encontraram significativa contribuição do sistema radicular do milho para o acúmulo de matéria orgânica no solo. Segundo os autores, 61% do carbono encontrado no solo foi derivado do sistema radicular do milho, embora as raízes representassem apenas 40% do C contido na parte aérea. Esta diferença na taxa de acumulação do C derivado das raízes se deve, segundo os mesmos autores, à menor taxa de decomposição do tecido radicular e à maior taxa de conversão de C do tecido radicular em C do solo, devido à alta relação lignina/nitrogênio, melhor distribuição dos compostos na matriz do solo e maior proteção física da matéria orgânica no interior dos agregados formados.

Segundo Verpraskas (1994), as raízes são órgãos flexíveis, que se desenvolvem através do solo, seguindo, aparentemente, os caminhos de uma mucilagem que envolve a ponta das raízes. Essa mucilagem, formada por ácidos orgânicos e polissacarídeos, além de proteger as raízes da dessecação, lubrificam, principalmente, a sua ponta, região importante para a penetração através do solo, proporcionando diminuição do atrito, devido à alteração na superfície de tensão da água com o solo. Esse ambiente na rizosfera, rico em energia, estimula a proliferação de microrganismos, que liberam substâncias húmicas e polissacarídios responsáveis pela estabilização dos microrganismos formados e sua aglutinação em unidades maiores (MIELNICZUK, 1999). Buyanovsky et al. (1994) relataram que a capacidade das raízes em penetrar nos microagregados do solo, resulta em maior proteção e permanência a matéria orgânica do solo, pelo fato deste ambiente ter menor taxa de oxigênio e atividade microbiológica.

Segundo Lynch (1986), os microrganismos estimulam a liberação de compostos orgânicos das raízes para o solo e essa exsudação das raízes vivas e das raízes mortas em decomposição é a principal fonte de substrato para a vida microbiana nas camadas mais profundas do solo. A principal fonte de compostos orgânicos para o solo é de origem vegetal, e, em condições aeróbias, 60 a 70% do carbono depositado são utilizados como fonte de energia primária para o crescimento microbiano, sendo oxidados bioquimicamente a CO₂. O restante do carbono fica retido no solo, na biomassa microbiana ou em compostos orgânicos recalcitrantes de origem microbiana e de difícil decomposição, que, juntamente com a fração não decomposta do resíduo, formam complexos orgânicos com alta estabilidade química e difícil decomposição (SIQUEIRA; FRANCO, 1988).

Calegari (2006b), ao avaliar os sistemas de plantio direto e convencional, constatou que as maiores concentrações de COS foram obtidas, em ordem decrescente, pelos seguintes tratamentos de inverno: tremoço azul, aveia preta, nabo forrageiro, ervilhaca peluda, trigo e pousio. O autor justificou estes resultados pela maior capacidade destas plantas em gerar resíduos orgânicos na parte aérea e nos sistemas radiculares.

Lovato et al. (2004) concluíram que a adição anual mínima de C via resíduos de plantas no sistema plantio direto deve ser de 4,2 Mg ha⁻¹ para as condições climáticas do Rio Grande do Sul; enquanto que, para as mesmas condições sob preparo convencional, seria necessário um aporte anual de resíduos

de 8,9 Mg ha⁻¹. Para adições inferiores a esse valor, a emissão de CO₂ para atmosfera será maior do que a retenção do C pela mineralização da MOS.

Um fator importante a ser considerado no aporte do carbono adicionado pelas culturas ao solo é a contribuição dos exsudatos radiculares, pois, quando se considera apenas os dados de biomassa radicular, o total de carbono do solo derivado das raízes é subestimado. Segundo Johnson et al. (2006) a rizodeposição representa 2,5 a 6 vezes o carbono da biomassa das raízes. Entretanto, a análise dos rizodepósitos é de difícil execução prática em razão de sua característica altamente lábil, como componente do CO do solo, que age como substrato de microrganismos; portanto, muito dinâmico no solo. Para contornar estes inconvenientes e realizar o balanço do carbono do solo de forma adequada, mesmo sem realizar a análise dos rizodepósitos, alguns autores usam estimativas da participação destes componentes no solo. Assim, alguns autores usam o índice K rec, definido como: $K_{rec} = (C \text{ da biomassa radicular} + \text{Rizodeposição de C}) / (C \text{ dos grãos colhidos} + C \text{ dos resíduos vegetais})$; e usam valores de K rec de 0,82; 0,55 e 0,62 para trigo, milho, e soja, respectivamente (JOHNSON et al., 2006). Outros índices têm sido usados para o ajuste da contribuição do carbono total das raízes; Kundu et al. (2007), com base em dados da literatura, utilizaram uma correção nos cálculos, assumindo que a contribuição em rizodepósitos e exsudados de raízes de soja era de 10% da biomassa da parte aérea colhida e para trigo utilizaram o fator 1,4 para multiplicar o total de carbono encontrado na biomassa das raízes. Já Lovato et al. (2004), consideraram que os totais de carbono e nitrogênio radiculares foram equivalentes a 30% do encontrado na parte aérea.

Apesar de serem relevantes no aporte de matéria orgânica ao solo, pouco se sabe sobre o potencial das culturas comerciais e plantas de cobertura do solo em adicionar matéria orgânica diretamente ao solo. Venzke Filho et al. (2004), ao trabalharem num Latossolo Vermelho Escuro com 22 anos de plantio direto, a 0,5 m de profundidade, obtiveram valores de carbono contido nas raízes de 0,39 Mg ha⁻¹ para soja e 1,32 Mg ha⁻¹ para o milho. Derpsch et al. (1985) obtiveram média de 0,72 Mg ha⁻¹ de carbono contido nas raízes de nove espécies (tremoço-branco, ervilhaca-peluda, chícharo, centeio, aveia preta, trigo, nabo forrageiro, colza, e girassol), ao trabalharem com colunas de solo de 0,10 m de largura e 0,10 m de comprimento, até 0,90 m de profundidade.

2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J. Densidade radicular do milho considerados os atributos de um solo com horizonte B textural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.539-549, 2001.
- ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGASSI, A. J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.2, p.319-326, 1996.
- ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZI, A. J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.2, p.175-185, 1995.
- ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura do solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.208, p.25-36, 2001.
- AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.189-197, 2001.
- ARF, O.; SILVA, L. S.; BUZETTI, S.; ALVES, M. C.; SÁ, M. E.; RODRIGUES, R. A. F.; HERNANDEZ, F. B. T. Efeito da rotação de culturas, adubação verde e nitrogenada sobre o rendimento do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.11, p.2029-2036, 1999.
- BALESDENT, J.; BALABANE, M. Maize root-derived soil organic matter estimated by natural ¹³C abundance. **Soil Biology and Biochemistry**, New York, v.24, n.2, p.97-101, 1992.
- BALESDENT, J.; BALABANE, M. Major contribution of roots to soil carbon storage inferred from maize cultivated soils. **Soil Biology and Biochemistry**, New York, v.28, n.9, p.1261-1263, 1996.
- BARRETO, A. C. **Efeito do sistema de rotação, sucessão e níveis de calagem sobre características físicas e químicas do solo e no desenvolvimento radicular e produção de grãos de milho (*Zea mays* L.)**. 1991. 154f. Tese

(Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BASSOI, L. H.; FANTE JÚNIOR, L.; JORGE, L. A. C.; CRESTANA, S.; REICHARDT, K. Distribuição do sistema radicular do milho em Terra Roxa Estruturada Latossólica: II. Comparação entre cultura irrigada e fertirrigada. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.51, n.3, p.541-548, 1994.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIM NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.3, p.599-607, 2000a.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIM NETO, L.; FERNANDES, S. V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.53, n.1-2, p.101-109, 2000b.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.2, 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**, Dordrech, v.131, n.1, p.59-66. 1991.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J. M. Propriedades físicas de um Cambissolo húmico álico afetadas pelo manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.1, p.91-95, 2000.

BORGES, E. N.; NOVAES, R. F.; REGAZZI, A. J.; FERNANDES, B.; BARROS, N. F. Respostas de variedades de soja à compactação de camadas de solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v.35, n.5, p.553-568, 1988.

BUYANOVSKY, G.A.; ASLAM, M.; WAGNER, G.H. Carbon turnover in soil physical fractions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.1167-1173, 1994.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura. In: CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.; PASSINI, J. J. **Sistema plantio direto com qualidade**, Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006a. p.559-73.

CALEGARI, A. **Seqüestro de carbono, atributos físicos e químicos em deferentes sistemas de manejo em um latossolo argiloso do Sul do Brasil.** 2006b. 191f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

CARDOSO, E. G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J. L.; TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; GUIMARÃES, M. F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, p.493-501, 2006.

CASTRO, O. M. Compactação do solo em plantio direto. In: Fancelli, A. L. (coord.). **Plantio direto no Estado de São Paulo.** Piracicaba: FEALQ/ESALQ, 1989. p.129-139.

CASTRO, O. M.; VIEIRA, S. R.; DE MARIA, I. C. Sistemas de preparo do solo e disponibilidade de água. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 1987, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.27-51.

CINTRA, F. L. D.; MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Campinas, v.7, n.1, p.197-201, 1983.

CORSINI, P. C.; FERRAUTO, A. S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.2, p.289-298, 1999.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; SANTANA, D. P. Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.208, p.13-24, 2001.

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**, Campinas, v.20, n.1, p.135-140, 1996.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; SOUZA DIAZ, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.703-709, 1999.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. **Sistemas de produção em plantio direto**. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/not0899.htm>. On line. Acesso em: 2 set. 2000.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F. X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.7, p.761-773, 1985.

DEXTER, A. R. Amelioration of soil by natural processes. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.20, n.2-4, p.87-100. 1991.

DUXBURY, J. M.; SMITH, M. S.; DORAN, J. W. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii Press, 1989. p.33-68.

FANCELLI, A. L.; LIMA, V. A. **Milho: produção, pré-processamento e transformação agroindustrial**. São Paulo: FEALQ. 1982, 112p.

FANTE JÚNIOR, L.; REICHARDT, K.; JORGE, L. A. C.; BACCHI, O. O. S. Distribuição do sistema radicular de uma cultura de aveia forrageira. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.56, n.4, p.1091-1100, 1999.

FERNANDES, E. M.; CRUSCIOL, C. A. C.; THIMOTEO, C. M. S.; ROSOLEM, C. A. Matéria seca e nutrição de soja em razão da compactação do solo e adubação fosfatada. **Científica**, São Paulo, v.23, n.1, p.117-132, 1995.

FOLONI, J. S. S.; LIMA, S. L.; BULL, L. T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.30, n.1, p.49-57, 2006.

FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; 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.

GANDOLF, V. H.; BÃN, A. D.; VILHORDO, B. V.; MÜLLER, L. Morfologia, anatomia e desenvolvimento. In: VERNETTI, F. J. **Soja: planta, clima, pragas, moléstias e invasoras**. Campinas: Fundação Cargil, 1983. p.17-80.

GONÇALVES, W. G.; JIMENEZ, R. L.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; PIRES, F. R. Sistema radicular de plantas de cobertura sob compactação do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.67-75, 2006.

HERNANI, L. C.; SALTON, J. C. **Algodão – Informação Tecnológica**. Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1998. 267p. (Circular técnica, 7).

IVO, W. M. P. M.; MIELNICZUK, J. Influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.1, p.135-143, 1999.

JOHNSON, J. M. F.; ALLMARAS, R. R.; REICOSKY, D. C. Estimating source carbon from crop residues, roots and rhizodeposits using the national grain-yield database. **Agronomy Journal**. Madison, v.98, n.3, p.622-636, 2006.

KUNDU S., BHATTACHARYYA, R.; PRAKASH, V.; GHOSH, B. N.; GUPTA, H. S. Carbon sequestration and relationship between carbon addition and storage under rainfed soybean–wheat rotation in a sandy loam soil of the Indian Himalayas. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.92, n.1, p.87-95, 2007.

LAL, R. Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality, an sustainability. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 27, n. 1, p. 1-8,1993.

LAL, R.; FOLLET, R. F.; KIMBLE, J.; COLE, C. V. Managing U. S. cropland to sequester carbon in soil. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.54 n.1, p.374-381, 1999.

LATIF, M. A.; MEHUYS, G. E.; MCKENZIE, A. F.; ALLI, I.; FARIS, M. A. Effects of legumes on soil physical and quality in maize crop. **Plant and Soil**, Dordrech, v.140, n.1, p.15-23, 1992.

LEITE, G. H. M. N.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; COGO, N. P. Atributos químicos e perfil de enraizamento de milho influenciados pela calagem em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.30, n.4, p.685-693, 2006.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.28, n.1, p.175-187, 2004.

LYNCH, J. M. **Biotecnologia do solo**. São Paulo: Manole, 1986. p.16-17.

MACHADO, P. L. O. A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, Rio de Janeiro, v.28, n.2, p.329-334, 2005.

MERTEN, G. H.; MIELNICZUK, J. Distribuição de sistema radicular e dos nutrientes em Latossolo Roxo sob dois sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.3, p.369-374, 1991.

MIELNICZUK, J. Importância do estudo de raízes no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis. In: FERNANDES, M. F.; TAVARES, E. D.; SILVA LEAL, M. L. **Workshop sobre sistemas radicular: metodologias e estudos de casos**. Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 1999. p.13-17.

MORAES, M. H.; BENEZ, S. H.; LIBARDI, P. L. Influência de camadas compactadas de subsuperfície no desenvolvimento do sistema radicular de plantas de soja (*Glycine max* (L.) Merril. **Científica**, São Paulo, v.19, n.1, p.195-206, 1991.

MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.531-538, 2001.

MUZILLI, O. Desenvolvimento e produtividade das culturas. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Plantio direto no Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1981. p.199-203. (Circular técnica, 23).

NICOLOSO, R. S. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto**. 2005. 149f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

NOGUEIRA, S. S.; MANFREDINI, S. Influência da compactação do solo no desenvolvimento da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.18, n.9, p.973-976, 1983.

NUERBERG, N. J.; STAMMEL, J. G. CABEDA, M. S. V. Efeito de sucessão de culturas e tipos de adubação em características físicas de um solo da encosta basáltica sul-rio-grandense. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v.10, n.3, p.185-90, 1986.

REEVES, D. W. Cover crops and rotations. In: HATFIELD, J. L.; STEWART, B. A. Crops residue management. **Advances in Soil Science**. Florida: Lewis, 1994. p.125-172.

REEVES, D. W. Soil management under no-tillage: soil physical aspects. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., 1995, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: Sociedade Brasileira de Plantio Direto, 1995. p.127-130.

ROSOLEM, C. A.; ALMEIDA, A. C. S.; SACRAMENTO, L. V. S. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Revista Bragantia**, Campinas, v.53, n.2, p.259-266. 1994.

ROSOLEM, C. A.; FERNANDES, E. M.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C. A. C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.5, p.821-828, 1999.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S. Rot growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.65, n.1, p.109-115, 2002.

SATURNINO, H. M. Evolução do plantio direto e as perspectivas nos cerrados. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.208, p.5-12, 2001.

SEIXAS, J.; ROLOFF, G.; RALISCH, R. Tráfego de máquinas e enraizamento do milho em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.4, p.794-798, 2005.

SILVA, H. R.; 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.2, p.253-260, 2001.

SILVA, H. R.; ROSOLEM, C.A. Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.6, p.973-976, 2002.

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.

SIQUEIRA, J. O. **Biologia do solo**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 230p.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo: fundamentos e Perspectivas**. Brasília: MEC/ABEAS, 1988. 236p.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G; M; C, GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I; C; B. Resistência do solo a penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.725-730, 2001.

TU, J. C.; BUTTERY, B. R. Soil compaction reduces nodulation, nodule efficiency, and growth of soybean and white bean. **Hort Science**, Michigan, v.23, n.2, p.722-724, 1988.

VENZKE FILHO, S. P.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; FANTE JÚNIOR, L.; SIQUEIRA NETO, M.; CERRI, C. C. Root systems and soil microbial biomass under no-tillage system. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.61, n.5, p.529-537, 2004.

VERPRASKAS, M. J. Plant response mechanisms to soil compaction. In: WILKINSON. R. E. **Plant-environment interactions**. New York: Marcel Dekker, 1994. p.263-287.

VIEIRA, M. J. Propriedades físicas do solo. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Plantio Direto no estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1981. p.19-32. (Circular técnica, 23).

VIEIRA, M. J.; MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.7, p.873-882, 1984.

WANG, J.; HESKETH, J. D.; WOOLLEY, J. T. Preexisting channels and soybean rooting patterns. **Soil Science**, Baltimore, v.141, n.6, p.432-437, 1986.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.5, p.891-900, 2004.

3 ARTIGO A: ESTRUTURA DE UM LATOSSOLO VERMELHO E SISTEMA RADICULAR DE TREMOÇO BRANCO E AVEIA PRETA EM SISTEMA DE PLANTIO CONVENCIONAL E DIRETO

3.1 Resumo

O Plantio Direto modifica a estrutura do solo e influencia na distribuição das raízes. O objetivo do trabalho foi avaliar a estrutura do Latossolo Vermelho e associá-la à distribuição do sistema radicular de tremoço branco e aveia preta em sistema convencional e plantio direto em Londrina-PR. A estrutura do solo foi avaliada pelo método do perfil cultural, determinando-se as unidades morfológicas homogêneas (UMH), complementado por avaliação da densidade do solo. Na avaliação das raízes, foi utilizado o método da parede do perfil, com auxílio do software SIARCS[®] 3.0 (Sistema Integrado de Análise de Raízes e Cobertura do Solo). O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso. Os resultados do comprimento de raízes foram submetidos à análise de variância e teste t de Student a 5%. A unidade morfológica homogênea C Δ , compacta, e a densidade do solo, não limitaram a distribuição das raízes de tremoço branco e aveia preta. A unidade F Δ μ , fissurada, é mais presente no sistema convencional do que no plantio direto. O sistema convencional concentra mais as raízes do tremoço branco e aveia preta na superfície do solo do que o plantio direto.

Palavras-chave: unidade morfológica homogênea, perfil cultural, raiz, manejo do solo

3.1 Abstract

The no-tillage system modifies the soil structure and it influences in the roots distribution. The aim of the work was to evaluate the soil structure in clayey Typic Haplorthox and to associate it with the distribution of the root system of white lupin and black oat in soil tillage and no-tillage systems in Londrina-PR. The soil structure was evaluated by the cultural profile method, determining the homogeneous morphologic units (HMU), complemented by the soil bulk density analysis. The evaluation of the roots was made by the profile wall method with SIARCS 3.0[®] software (Sistema Integrado de Análise de Raízes e Cobertura do Solo). The

statistical design was the randomized blocks. The roots results were submitted to the variance analysis and test t of Student at 5%. The compacted HMU CΔ and bulk density not limit the distribution of roots of white lupin and black oat. The eager HMU F is more present in soil tillage than in the and no-tillage system. The soil tillage ponders more the roots of the white lupin and black oat in the soil surface than in the no-tillage system.

Key words: homogeneous morphologic unit, cultural profile, root, soil management

3.2 Introdução

O manejo do solo no sistema convencional, com aração e gradagens, normalmente, ocasiona degradação da estrutura do solo. É comum encontrar em áreas cultivadas com este tipo de manejo, camadas de solo compactadas em subsuperfície, formadas na área de contato entre as camadas mobilizadas e não mobilizadas, denominadas “pé de grade” (TAVARES FILHO et al., 2001). Já o plantio direto, por mobilizar apenas a linha de semeadura, mantém a superfície do solo coberta pelos restos da cultura anterior, acarretando redução da erosão e aumento no teor de matéria orgânica no solo; entretanto, também pode provocar compactação da camada superficial do solo (DE MARIA et al., 1999). Dessa forma, o menor revolvimento do solo, pode provocar no perfil estruturas diferentes daquelas resultantes dos preparos convencionais, as quais podem influenciar o desenvolvimento do sistema radicular e, por conseqüência, a produtividade das plantas (IVO e MIELNICZUK, 1999).

Para o bom estabelecimento do plantio direto, é necessário que haja rotação de culturas, com o cultivo de plantas que propiciem cobertura do solo, produção de matéria seca da parte aérea e que tenham sistemas radiculares capazes de penetrar a grandes profundidades, proporcionando ciclagem de nutrientes e abertura de canais para o desenvolvimento radicular das culturas que vierem em sucessão (DEXTER, 1991; ALVARENGA et al., 1995).

Dentre as opções de plantas de cobertura do solo de inverno em rotação de culturas, recomenda-se o tremoço branco e a aveia preta, em plantios antecedendo o milho e a soja, respectivamente (SANTOS et al., 1999). Em trabalhos realizados em vasos, a aveia preta e a aveia branca se destacaram em relação ao tremoço branco e ao tremoço azul, pelo maior comprimento radicular, quando

submetidos a níveis de compactação do solo (SILVA e ROSOLEM, 2001, 2002; MÜLLER et al., 2001). Porém, pouco se sabe sobre a distribuição do sistema radicular destas espécies a campo e suas relações com a estrutura e compactação do solo.

A busca por alternativas tecnológicas que possibilitem o uso racional do solo tem sido a tônica das discussões em torno do tema manejo correto do solo para uma agricultura sustentável. Nesse contexto, o uso de metodologias que quantifiquem e qualifiquem as condições estruturais do solo nos vários sistemas de manejo é importante na avaliação da qualidade física do solo, considerada um indicador da sustentabilidade dos sistemas de uso e manejo (ARSHAD et al., 1996; HARRIS et al., 1996). A utilização do método do perfil cultural (HENIN et al., 1960; MANICHON, 1982) é uma boa alternativa na avaliação das alterações estruturais do solo, pois se baseia na identificação das estruturas em regiões do perfil do solo, individualizadas pela intervenção de implementos agrícolas, pelo comportamento das raízes das plantas, pela influência dos fatores naturais e pelas técnicas de cultivo adotadas (TAVARES FILHO et al., 1999).

Cardoso et al. (2006), ao utilizarem o método do perfil cultural, caracterizaram estruturas compactadas de solo em subsuperfície em sistema de plantio direto submetido a tráfego intenso, e concluíram que a presença destas estruturas diminuiu a exploração do sistema radicular da soja. Tavares Filho et al. (2001), observaram que a estrutura do solo, num sistema de plantio direto conduzido por 20 anos, favoreceu o desenvolvimento radicular do milho, quando comparado ao sistema convencional.

O objetivo do trabalho foi avaliar a estrutura do Latossolo Vermelho e associá-la à distribuição do sistema radicular de tremoço branco e aveia preta em sistema convencional e plantio direto em Londrina-PR.

3.3 Material e Métodos

O trabalho foi realizado no município de Londrina-PR, na área experimental da EMBRAPA Soja, cujas coordenadas geográficas são: latitude 23°23' Sul e longitude 51°11 Oeste, com 560 m de altitude. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 1999), com textura muito argilosa (787 g kg⁻¹ de argila, 168 g kg⁻¹ de silte e 45 g kg⁻¹ de areia) (CARDOSO et al., 2006). O clima da região é subtropical úmido (Cfa), insolação média de 7,05 h dia⁻¹, com precipitação e temperatura médias anuais de 1.615 mm e 21 °C, respectivamente.

O ensaio foi conduzido desde 1997 com rotação de culturas, com alternância de soja e milho no verão; e trigo, tremoço e aveia preta no inverno (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Rotação de culturas utilizada no sistema convencional e direto. Londrina, 2004-2005.

Anos	Períodos	Rotação de culturas
97	inverno	Aveia preta
97/98	verão	Milho
98	inverno	Aveia preta
98/99	verão	Soja
99	inverno	Trigo
99/00	verão	Soja
00	inverno	Tremoço branco
00/01	verão	Milho
01	inverno	Aveia preta
01/02	verão	Soja
02	inverno	Aveia preta
02/03	verão	Soja
03	inverno	Trigo
03/04	verão	Soja
04	inverno	Tremoço branco
04/05	verão	Milho
05	inverno	Aveia preta

Os tratamentos foram: sistemas de plantio convencional e direto. No sistema convencional, o solo foi preparado no verão, utilizando-se arado e grade niveladora e, no inverno, grade aradora e grade niveladora, sendo o arado de quatro

discos com 30” de diâmetro, grade aradora de 20 discos de 26” de diâmetro e grade niveladora de 42 discos de 22” de diâmetro. No plantio direto não houve o revolvimento do solo por implementos de corte, além das linhas de semeadura.

Foram avaliadas duas culturas nos estádios de pleno florescimento: 1) tremoço branco (*Lupinus albus* L), em agosto de 2004, com espaçamento nas entrelinhas de 0,17 m e 14 plantas por metro linear; e 2) aveia preta (*Avena strigosa*), variedade Neblina BRS 139, em agosto de 2005, com espaçamento nas entrelinhas de 0,17 m e 45 plantas por metro linear. As duas culturas não foram adubadas.

Para avaliação das estruturas do solo, foi utilizado o método do perfil cultural (TAVARES FILHO et al., 1999), que foi realizado por meio da abertura de 4 trincheiras por tratamento (convencional e direto), para cada planta de cobertura do solo avaliada, transversais às linhas de plantio, com largura de 0,9 m, comprimento e profundidade de 1 m, contemplando 5 plantas. Com auxílio de uma faca, foram identificadas as estruturas do solo, nas diferentes regiões do perfil, denominadas de unidades morfológicas homogêneas (UMH) (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 – Descrição das unidades morfológicas homogêneas (UMH), considerando-se o modo de organização do perfil do solo⁽¹⁾ e o estado interno dos torrões⁽²⁾. Adaptado de Tavares Filho et al. (1999).

Nível de análise	UMH	Descrição
I ⁽¹⁾	Z	Unidade morfológica homogênea essencialmente laminar, apresentando-se superficialmente no solo . As raízes quando presentes são tortuosas e achatadas.
	L	Unidade morfológica homogênea livre e solta constituída por terra fina e agregados sem coesão. Pode apresentar raízes em grandes quantidades e bem ramificadas.
	F	Unidade morfológica homogênea fissurada, em que a individualização de torrões é facilitada pela fissuração. Quando presentes nesse volume, as raízes se desenvolvem preferencialmente entre os torrões, nas fissuras existentes.
	C	Unidade morfológica homogênea contínua em que os elementos (agregados e terra fina) estão unidos, formando uma unidade homogênea, com aspecto de estrutura maciça. Pode apresentar raízes de várias formas, dependendo da compactação do solo.
	NAM	Unidade morfológica homogênea não alterada pelo manejo do solo.
II ⁽²⁾	μ	Estado interno dos torrões não compactados, caracterizado por uma distribuição de agregados com estrutura interna e externa porosa. Normalmente, apresenta raízes intra e entre agregados, bem ramificadas, com orientação vertical.
	Δ	Estado interno de torrões compactados, caracterizado por uma distribuição de agregados com estrutura angulosa (poliédrica, cúbica ou prismática). Quase não apresenta raízes e estas, quando presentes, possuem poucas ramificações.
	$\Delta\mu$	Estado de transição entre (Δ) e (μ).

A partir das UMHs encontradas, foram confeccionados mapas em papel milimetrado na escala 5:1, localizando cada unidade no perfil do solo, que foram, posteriormente, digitalizados com auxílio do software AutoCAD (AUTODESK, 2007), determinando as porcentagens de área de cada UMH no perfil do solo. Para determinação da densidade do solo (EMBRAPA, 1997), foram identificadas as UMHs e coletados por cada tratamento (convencional e direto), 50 anéis de ferro de 0,105 m de diâmetro por 0,10 m de altura, com volume de $8,65 \times 10^{-4} \text{ m}^3$, com o auxílio de um esticador hidráulico.

Para avaliação das raízes, foi utilizado o método da parede do perfil (BÖHM, 1979), utilizando as mesmas trincheiras usadas na avaliação do perfil cultural, nivelando novamente o perfil do solo. As raízes foram expostas com um rolo escarificador e pintadas individualmente com tinta branca. Foram utilizadas telas quadriculadas com malhas de 0,17 X 0,25 m para o tremoço branco e 0,225 X 0,25 m para aveia preta. Foram obtidas imagens de cada quadrícula com câmera digital, sendo analisadas pelo programa SIARCS 3.0[®] (JORGE et al., 1996), obtendo-se o comprimento radicular (m). Os dados de comprimento radicular foram apresentados em sobreposição às unidades morfológicas homogêneas (UMHs). Determinou-se também a porcentagem do comprimento de raízes e sua distribuição por profundidade, calculando-se a profundidade efetiva, onde se concentram 80% das raízes (KLAR, 1991).

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, em parcelas de 6 x 12 m. Os dados do comprimento de raízes foram submetidos à análise de variância e teste t de Student a 5% de probabilidade de erro.

3.4 Resultados e Discussão

3.4.1 Estrutura do solo

No solo cultivado com o tremoço branco (Figura 3.1), até a profundidade de 0,225 m, foram encontradas as mesmas unidades morfológicas homogêneas (UMHs) (Z, F $\Delta\mu$, C Δ , C $\Delta\mu$ e C μ), tanto no sistema convencional, quanto no plantio direto, com exceção da estrutura livre (L), encontrada num pequeno volume no plantio direto. A estrutura laminar Z também aparece ocupando uma pequena área no perfil do solo, enquanto as UMHs C Δ (contínua e compacta), C $\Delta\mu$ (contínua em transição entre compacta e não compacta) e F $\Delta\mu$, (com torrões individualizados por fissuras), foram as que mais ocorreram, não se evidenciando alterações com relação ao manejo do solo. A densidade do solo para estas UMHs (F $\Delta\mu$, C Δ , C $\Delta\mu$ e C μ) foram muito semelhantes entre o sistema convencional e plantio direto, ficando com médias entre 1,09 e 1,12 Mg m⁻³ (Tabela 3.3).

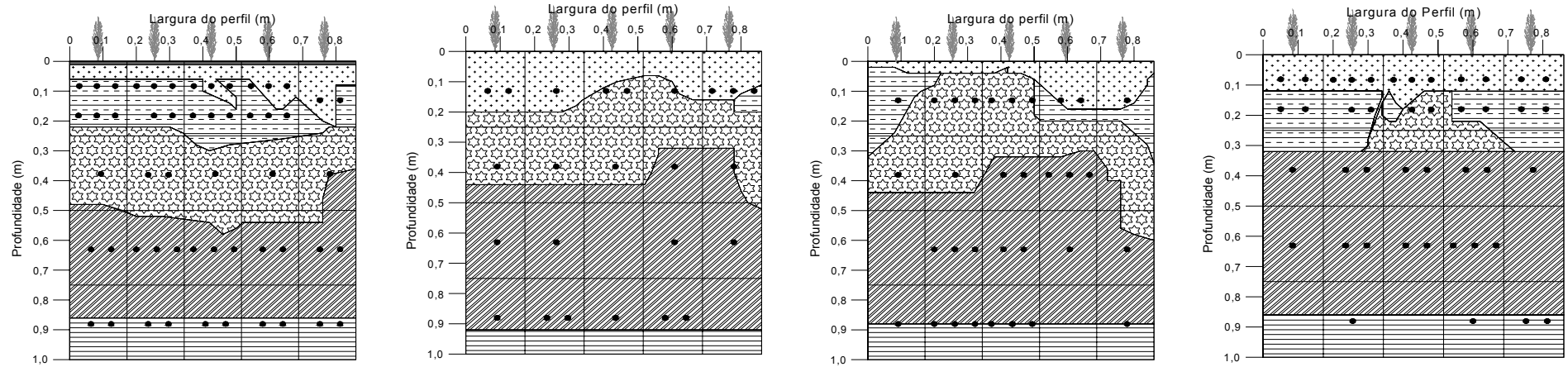
Na camada de 0,25 a 0,50 m, para os dois tratamentos, as UMHs C $\Delta\mu$ e C μ , esta última (caracterizada por uma estrutura maciça constituída por

torrões, cujo estado interno apresenta estrutura porosa), se alternaram no perfil do solo. Já na camada de 0,50 a 0,75 m, a unidade C_{μ} predominou sobre a $C_{\Delta\mu}$ no sistema convencional, enquanto no plantio direto a distribuição foi mais equilibrada entre as unidades C_{μ} e $C_{\Delta\mu}$. A UMH não alterada pelo manejo do solo (NAM), para os dois tratamentos, foi encontrada a partir de 0,85 m de profundidade (Figura 3.1).

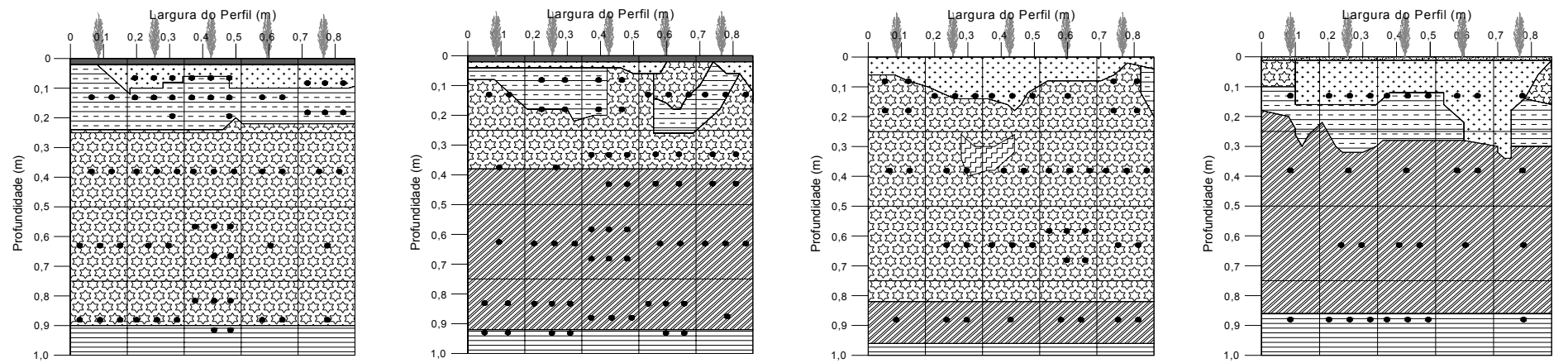
Para a aveia preta, na profundidade de 0,25 m, foram constatadas as UMHs $F_{\Delta\mu}$ (fissurada com transição entre Δ e μ), F_{Δ} (fissurada compacta), C_{Δ} (contínuo compacto) e $C_{\Delta\mu}$ (contínuo com transição entre Δ e μ). As unidades $F_{\Delta\mu}$ e C_{Δ} , foram as que tiveram maior presença, não sendo influenciadas pelos manejos do solo (Figura 3.2). As densidades do solo, como no solo cultivado com tremoço branco, também foram semelhantes entre os tratamentos avaliados. Pode-se destacar as unidades compactas F_{Δ} , com $1,24 \text{ Mg m}^{-3}$, e C_{Δ} , com $1,18 \text{ Mg m}^{-3}$, como as UMHs que apresentaram as maiores médias de densidades do solo, ficando as unidades $F_{\Delta\mu}$ e $C_{\Delta\mu}$ com densidades do solo médias de $1,01$ e $1,10 \text{ Mg m}^{-3}$, respectivamente. (Tabela 3.3).

Na profundidade de 0,25 a 0,50 m, foi constatada maior presença das unidades C_{Δ} e $C_{\Delta\mu}$ nos dois tratamentos, enquanto na profundidade de 0,50 a 0,75 m predominou a unidade $C_{\Delta\mu}$. A estrutura não afetada pelo manejo do solo (NAM), para os dois tratamentos, apareceu a partir de 0,75 m (Figura 3.2). As unidades $C_{\Delta\mu}$, C_{μ} e NAM, que foram mais presentes em camadas de solo mais profundas tiveram densidades do solo médias de $1,00$ a $1,10 \text{ Mg m}^{-3}$ (Tabela 3.3).

Sistema Convencional



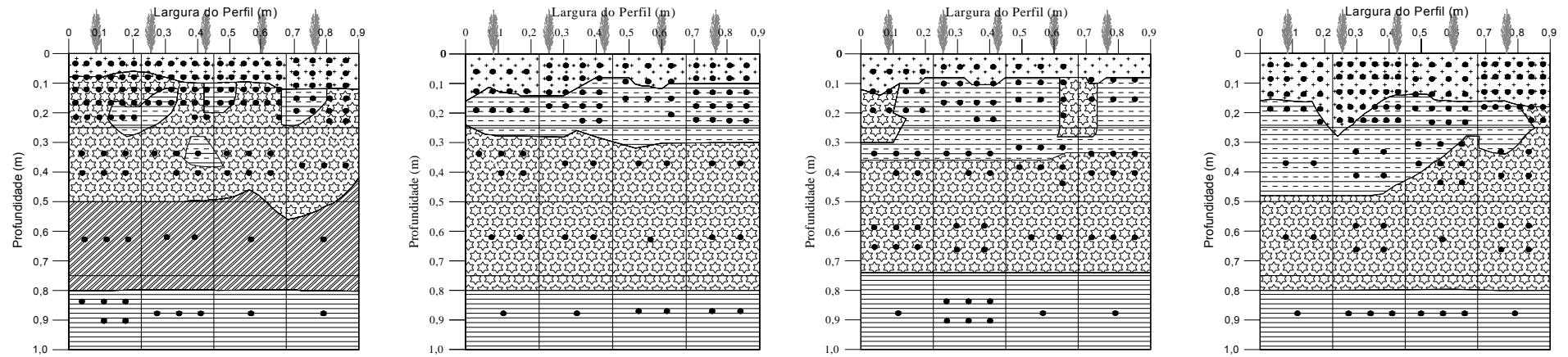
Plantio Direto



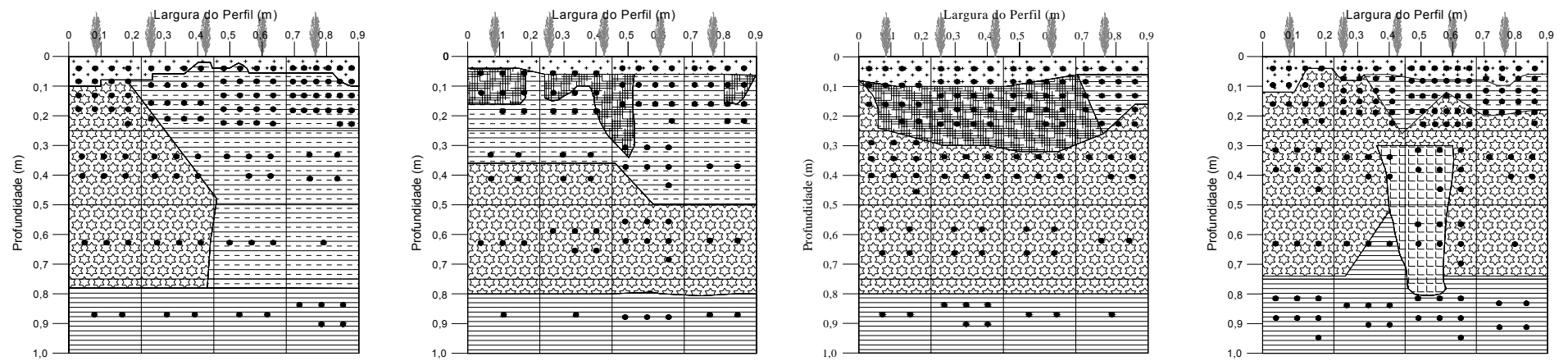
■ Z = estrutura laminar; ■ L = estrutura livre; ■ F $\Delta\mu$ = fissurado transição entre Δ e μ ; ■ C Δ = contínuo com compactação; ■ C $\Delta\mu$ = contínuo transição entre Δ e μ ; ■ b = atividade biológica; ■ C μ = contínuo com microagregação; ■ NAM = não alterado pelo manejo. Cada representa 0,01 m de comprimento de raízes.

Figura 3.1 - Unidades morfológicas homogêneas (UMH) do solo e comprimento radicular do tremoço branco cultivado no sistema convencional e plantio direto. Londrina, PR-2004.

Sistema Convencional



Plantio direto



$F_{\Delta\mu}$ = fissurado transição entre Δ e μ ; F_{Δ} = fissurado compacto; F_{μ} = fissurado com microagregação; C_{Δ} = contínuo com compactação; $C_{\Delta\mu}$ = contínuo com transição entre Δ e μ ; C_{μ} = contínuo com microagregação; NAM = não alterado pelo manejo. Cada \bullet representa 0,10 m de comprimento de raízes.

Figura 3.2 - Unidades morfológicas homogêneas (UMH) do solo e comprimento radicular da aveia preta cultivada no sistema convencional e plantio direto. Londrina-PR, 2005.

Ao considerar a densidade do solo dentro dos sistemas de manejo, pode-se observar que durante o cultivo do tremoço branco (estádio de pleno florescimento), a média das densidades do solo foram de $1,11 \text{ Mg m}^{-3}$ para os dois tratamentos. Já, durante o cultivo da aveia preta, também no estágio de pleno florescimento, o plantio direto, teve a média de densidade do solo de $1,18 \text{ Mg m}^{-3}$, maior que a média de $1,08 \text{ Mg m}^{-3}$ para o sistema convencional (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 - Densidade do solo cultivado com as culturas de tremoço branco e aveia preta nas unidades morfológicas homogêneas (UMH) em sistema convencional e plantio direto. Londrina-PR, 2004-05.

UMH	Sistema convencional	Plantio direto	Média
Densidade do solo (Mg m^{-3})			
Tremoço branco			
F $\Delta\mu$	1,09	1,13	1,11
C Δ	1,10	1,11	1,11
C $\Delta\mu$	1,10	1,08	1,09
C μ	1,13	1,10	1,12
Média	1,11	1,11	
Aveia preta			
F Δ	-	1,24	1,24
F $\Delta\mu$	1,01	-	1,01
C Δ	1,16	1,19	1,18
C $\Delta\mu$	1,11	1,10	1,10
C μ	1,10	-	1,10
NAM	1,04	-	1,04
Média	1,08	1,18	

F $\Delta\mu$ = fissurado transição entre Δ e μ ; F Δ = fissurado compacto; C Δ = contínuo com compactação; C $\Delta\mu$ = contínuo transição entre Δ e μ ; C μ = contínuo com microagregação; NAM = não alterado pelo manejo.

Segundo alguns autores, o sistema de plantio direto aumenta a densidade do solo, principalmente nos primeiros 0,20 m de profundidade, durante os primeiros anos de cultivo, devido à pressão exercida no solo pelas operações de manejo efetuadas durante os cultivos, bem como à consolidação natural do solo em função da ausência de preparo. O que resulta na diminuição da macroporosidade e aumento da microporosidade do solo (BERTOL et al., 2000; SECCO et al., 2005). Porém, com o passar dos anos, a densidade do solo pode diminuir gradativamente, igualando-se ao sistema convencional após 8 a 12 anos, devido ao aumento dos níveis

de matéria orgânica e atividade biológica, o que melhora a estrutura do solo (CORSINI; FERRAUTO et al., 1999; ASSIS; LANÇAS et al., 2005).

As médias das densidades do solo encontradas tanto nas UMHs, quanto nos tratamentos, são consideradas baixas e não limitantes ao crescimento das raízes. Outros autores, ao trabalhar no mesmo Latossolo Vermelho distroférrico, concluíram que as densidades do solo limitantes ao crescimento radicular da soja ficaram entre 1,27 e 1,33 Mg m^{-3} (TORRES; SARAIVA, 1999), e 1,38 Mg m^{-3} (CARDOSO et al., 2006).

Para porcentagem da área no perfil do solo (Tabela 3.4), as UMHs Z, L, F_{μ} e F_{Δ} , não tiveram uma distribuição regular no perfil do solo, dificultando sua interação com os sistemas de manejo do solo. Na unidade $F_{\Delta\mu}$, pode-se notar que na média dos sistemas, o convencional teve maior área no perfil do solo (12,62%) do que o plantio direto (7,45 %). Este resultado corrobora com o encontrado por Ivo e Mielniczuk (1999), que constataram, maior presença da estrutura fissurada no preparo convencional e preparo reduzido, que utilizaram implementos de corte, em relação ao plantio direto. Segundo os mesmos autores este resultado está relacionado às fissuras provocadas pelos implementos utilizados. A existência dessas unidades fissuradas no perfil do solo, que possuem maior quantidade de poros grandes e fissuras entre elementos estruturais, são vias preferenciais ao crescimento das raízes por sua baixa resistência (TAVARES FILHO et al., 2001). O que foi constatado no trabalho, com a distribuição mais concentrada das raízes na superfície do solo no sistema convencional do que no direto (Figura 3.3).

Tabela 3.4 - Porcentagem da área do perfil do solo (0,0 -1,0 m) ocupado pelas unidades morfológicas homogêneas (UMH) em solo sob tremço branco e aveia preta e sistemas de plantio convencional e direto. Londrina-PR, 2004-05.

UMH	Tremço branco		Aveia preta		Médias	
	Convencional	Direto	Convencional	Direto	Convencional	Direto
Z	0,29	1,00	-	-	0,15	0,5
L	-	0,28	-	-	-	0,14
F μ	-	-	1,73	2,37	0,865	1,18
F Δ	-	-	-	5,62	-	2,81
F $\Delta\mu$	10,93	7,92	14,31	6,98	12,62	7,45
C Δ	9,16	8,78	15,02	20,43	12,09	14,61
C $\Delta\mu$	20,65	40,94	28,96	40,08	24,8	40,51
C μ	46,95	31,08	17,43	-	32,19	15,54
NAM	12	11	21,5	22	16,75	16,25

Z = estrutura laminar; L = estrutura livre; F μ = fissurado com microagregação; F Δ = fissurado compacto; F $\Delta\mu$ = fissurado com transição entre Δ e μ ; C Δ = contínuo com compactação; C $\Delta\mu$ = contínuo com transição entre Δ e μ ; C μ = contínuo com microagregação; NAM = não alterado pelo manejo.

A média da área ocupada pela unidade C Δ , compacta, foi semelhante entre os dois sistemas, com 12,09 e 14,61% para o sistema convencional e direto, respectivamente (Tabela 3.4). Essa unidade, considerada mais restritiva ao crescimento radicular da soja (CARDOSO et al., 2006), revelou a densidade do solo entre 1,11 e 1,18 Mg m⁻³ (Tabela 3.3), consideradas não impeditivas ao crescimento radicular (TORRES; SARAIVA, 1999; CARDOSO et al., 2006). O fato dessas estruturas (F $\Delta\mu$ e C Δ) ocuparem a maioria da área na profundidade de 0,00-0,25 m, elas assumem papel importante na caracterização da estrutura do solo, por abranger o limite divisório entre a ação antrópica dos implementos agrícolas e as camadas mais inferiores não mobilizadas.

Para as demais unidades consideradas menos compactas, na C $\Delta\mu$, as médias das áreas no perfil do solo foram de 24,8 e 40,51% para o sistema convencional e direto, respectivamente, o que a caracteriza como a estrutura mais presente no perfil do solo. Já para unidade C μ , a área no perfil do solo foi de 32,19% para o convencional e 15,54% para o direto. A unidade não modificada pelo manejo do solo (NAM), foi semelhante entre os tratamentos com médias entre 16,75 e 16,25% para o convencional e 15,54% para o direto.

3.4.2 Distribuição das raízes de tremoço branco e aveia preta

Com relação à distribuição radicular, o tremoço branco apresentou poucas raízes no perfil do solo. Apesar disso, suas raízes não demonstraram concentrações em locais específicos, resultando numa distribuição em todo perfil, independentemente da presença de estruturas mais compactadas (Figura 3.1). A aveia preta apresentou grande quantidade de raízes. Na profundidade de 0,25 m houve concentração do sistema radicular, não impedindo que as raízes atingissem todas as profundidades avaliadas e todas as UMHS do solo, mesmo as mais compactas (Figura 3.2). Pode-se constatar que a UMH C Δ , considerada mais compacta, não limitou a distribuição das raízes de tremoço branco e aveia preta, tanto no sistema convencional, quanto no plantio direto (Figuras 3.1 e 3.2). Estes resultados discordam dos encontrados por Tavares Filho et al. (2001), que caracterizaram uma camada de solo em subsuperfície restritiva ao crescimento radicular em sistema convencional “pé de grade”, quando comparado ao plantio direto.

Para porcentagem da distribuição do comprimento de raízes (Figura 3.3), apesar da maior quantidade de comprimento radicular da aveia preta, do que o tremoço branco, pode-se observar comportamento semelhante entre as duas espécies em relação aos sistemas de manejo do solo. Na profundidade de 0,25 m houve maior concentração das raízes no sistema convencional do que no plantio direto. Nas demais profundidades (0,25-0,50; 0,50-0,75 e 0,75-0,100 m), o plantio direto concentrou mais raízes que o sistema convencional, o que caracteriza, uma distribuição mais homogênea no perfil do solo para o plantio direto (Figura 3.3).

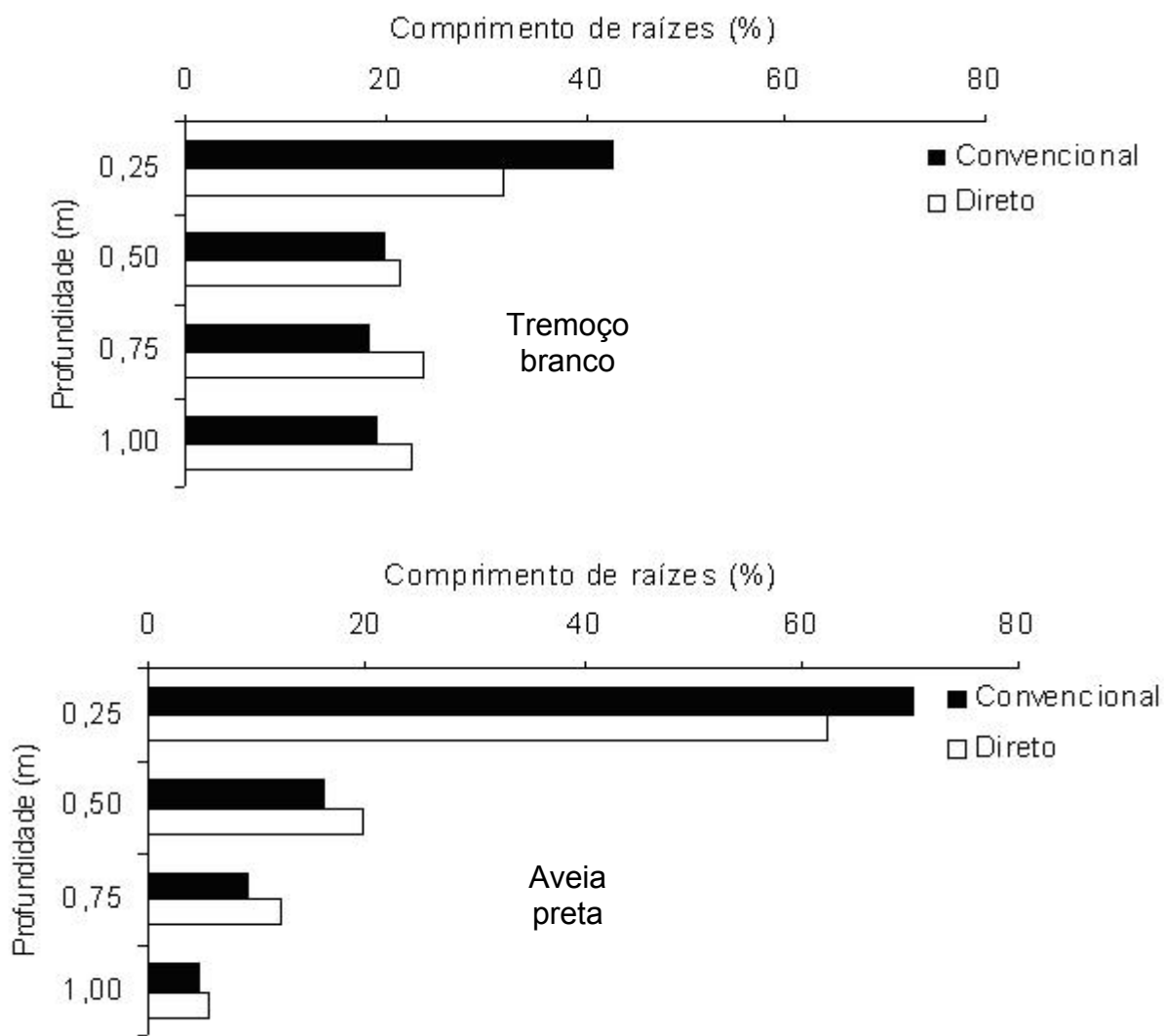


Figura 3.3 - Porcentagem da distribuição do comprimento de raízes de tremoço branco e aveia preta, cultivados no sistema convencional e plantio direto. Londrina-PR, 2004-2005.

Este padrão de distribuição das raízes foi encontrado por Vieira (1981), ao avaliar a distribuição do sistema radicular da soja até a profundidade de 1,00 m, constatando que, no plantio convencional, as raízes se concentravam nas camadas superiores, enquanto que, para o plantio direto, as raízes estavam mais aprofundadas no perfil do solo. Ivo e Mielniczuk (1999), ao avaliarem a distribuição das raízes do milho, também constataram que no sistema de plantio convencional, as raízes tiveram desenvolvimento mais horizontal e mais vertical para o plantio direto.

Esta maior concentração das raízes do tremoço branco e aveia preta na profundidade de 0,00-0,25 m no sistema convencional, do que no plantio direto, está relacionado a maior área do perfil do solo da unidade FΔμ, fissurada (Tabela 3.4), que ocasionou melhores condições para o desenvolvimento das raízes.

Para o comprimento de raízes do tremoço branco, a distribuição das raízes não apresentou diferenças significativas nas profundidades avaliadas (Tabela 3.5). Independentemente do sistema de manejo do solo adotado, o tremoço branco teve pouco comprimento radicular, corroborando com os resultados encontrados por Müller et al. (2001), ao trabalharem em vasos com profundidade de 0,335 m, e Barradas et al. (2001), em trabalho a campo, considerando 0,25 m de profundidade.

Tabela 3.5 – Comprimento de raízes de tremoço branco e aveia preta, cultivados no sistema convencional (SC) e plantio direto (PD). Londrina-PR.

Profundidade	Tremoço branco		Aveia preta	
	Convencional	Direto	Convencional	Direto
	Comprimento radicular (m)			
0,00-0,25	0,85 a*	0,83 a	7,48 a	6,99 a
0,25-0,50	0,39 a	0,56 a	1,70 a	2,20 a
0,50-0,75	0,36 a	0,62 a	0,96 a	1,37 a
0,75-1,00	0,38 a	0,59 a	0,49 a	0,63 a
Profundidade efetiva	0,75 a	0,76 a	0,39 a	0,48 a
Comprimento total	1,98 a	2,57 a	10,63 a	11,21 a

*Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si, pelo teste t de Student a 5% de probabilidade de erro.

Na distribuição radicular da aveia, também não foram constatadas respostas entre os manejos do solo nas profundidades avaliadas (Figura 3.5). Estes resultados correspondem aos encontrados por Merten e Mielniczuk (1991), que também não encontram diferenças entre o sistema convencional e plantio direto para as raízes de aveia.

Para o comprimento total e profundidade efetiva das raízes, o tremoço branco e aveia preta também não tiveram diferenças estatísticas entre os manejos do

solo (Tabela 3.5). Os valores dos comprimentos totais das raízes da aveia preta ficaram entre 10,63 e 11,21 m, superiores aos comprimentos totais das raízes do tremoço branco (1,98 a 2,57 m) (Tabela 3.5), demonstrando o potencial da aveia preta para contribuir na adição de resíduos orgânicos e agregação do solo (MERTEN; MIELNICZUK, 1991; SILVA; MIELNICZUK, 1997).

Apesar do tremoço branco ter apresentado poucas raízes, a sua profundidade efetiva foi profunda, ficando entre 0,75 e 0,76 m (Tabela 3.5). A profundidade efetiva da aveia preta ficou entre 0,39 e 0,48 m, sendo superior aos encontrados por Fante Júnior et al. (1999), que, ao trabalharem com aveia forrageira em três estádios vegetativos, avaliada por diferentes métodos a 0,5 m de profundidade, constataram que a quantidade de raízes variou entre 83% a 96% nos primeiros 0,20 m.

3.5 Conclusões

A unidade morfológica homogênea $C\Delta$, compacta, e a densidade do solo, não limitaram a distribuição das raízes de tremoço branco e aveia preta.

A unidade $F\Delta\mu$, fissurada, é mais presente no sistema convencional do que no plantio direto.

O sistema convencional concentra mais as raízes do tremoço branco e aveia preta na superfície do solo do que o plantio direto.

3.6 Referências Bibliográficas

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZI, A. J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.2, p.175-185, 1995.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of América, 1996. p.123-141. (SSSA Special Publication, 49).

ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.3, p.515-522, 2005.

AUTODESK. **Produtos**. Disponível em < <http://www.autodesk.com.br> >. Acesso em: 2 agosto, 2007.

BARRADAS, C. A. A.; FREIRE, L. R.; ALMEIDA, D. L.; DE-POLLI, H. Comportamento de adubos verdes de inverno na região serrana fluminense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.12, p.1461-1468, 2001.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas as do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.1, p.155-163, 2004.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlim: Springer – Verlag, 1979. 188p.

CARDOSO, E. G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J. L.; TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; GUIMARÃES, M. F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, p. 493-501, 2006.

CORSINI, P. C.; FERRAUTO, A. S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.2, p.289-298, 1999.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; SOUZA DIAZ, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.703-709, 1999.

DEXTER, A. R. Amelioration of soil by natural processes. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.20, n.2-4, p.87-100, 1991.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1997. 212p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999. 412p.

FANTE JÚNIOR, L.; REICHARDT, K.; JORGE, L. A. C.; BACCHI, O. O. S. Distribuição do sistema radicular de uma cultura de aveia forrageira. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.56, n.4, p.1091-1100, 1999.

HARRIS, R. F.; KARLEN, D. L.; MULLA, D. J. A conceptual framework for assessment and management of soil quality and health. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.61-82. (SSSA Special Publication, 49).

HENIN, S.; FEODOROFF, A.; GRAS, R.; MONNIER, G. **Le profil cultural: principes de physique du sol**. Paris: Masson, 1960. 320p.

IVO, W. M. P. M.; MIELNICZUK, J. Influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.1, p.135-143, 1999.

JORGE, L. A. C.; RALISCH, R.; ABI SAAB, O. J. G.; MEDINA, C. C.; GUIMARÃES, M. F.; NEVES, C. S. V. J.; CRESTANA, S.; CINTRA, F. L. D.; BASSOI, L. H.; FERNANDES, S. B. V. Aquisição de imagens de raízes. In: JORGE, L. A. C. (Ed.). **Recomendações práticas para aquisição de imagens digitais analisadas através do SIARCS**. São Carlos: EMBRAPA/CNPEDIA, 1996. p.2-28. (Circular técnica, 1).

KLAR, A. E. **Irrigação: frequência e quantidade de aplicação**. São Paulo: Nobel, 1991. 156p.

MANICHON, H. **Influence des systèmes de culture sur le profil cultural: élaboration d'une méthode de diagnostic basée sur l'observation morphologique**. 1982. 241f. Tese (Doutorado) – Institut National de la Recherche Agronomique Poitou-Charentes, Paris.

MERTEN, G. H.; MIELNICZUK, J. Distribuição de sistema radicular e dos nutrientes em Latossolo Roxo sob dois sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.3, p.369-374, 1991.

MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.531-538, 2001.

NEVES, C. S. V. J.; FELLER, C.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C.; TAVARES FILHO, J.; FORTIER, M. Soil bulk density and porosity of homogeneous morphological

units identified by the cropping profile method in clayey oxisols in Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.71, n.2, p.109-119, 2003.

SANTOS, H. P.; AMBROSI, I.; IGNACZAK, J. C.; WOBETO, C. Análise econômica de sistemas de rotação de culturas para trigo, num período de dez anos, sob plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.34, n.12, p.2175-2183, 1999.

SECCO, D.; DA ROS, C. O.; SECCO, J. K.; FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.3, p.407-414, 2005.

SILVA, H. R.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.6, p.973-976, 2002.

SILVA, H. R.; 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.2, p.253-260, 2001.

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.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C, GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Resistência do solo á penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.725-730, 2001.

TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C.; BALBINO, L. C.; NEVES, C. S. V. J. Método do Perfil Cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.393-399, 1999.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1999. 58p. (Circular técnica, 23).

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1999. 58p. (Circular técnica, 23).

VIEIRA, M. J. Propriedades físicas do solo. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Plantio Direto no estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1981. p.19-32. (Circular técnica, 23).

4 ARTIGO B: ESTRUTURA DO SOLO E SISTEMA RADICULAR DO MILHO EM SUCESSÃO COM PLANTAS DE COBERTURA

4.1 Resumo

As plantas de cobertura de solo podem ser utilizadas para recuperação da estrutura do solo e melhorar o crescimento das raízes das culturas subseqüentes. O objetivo do trabalho foi avaliar a estrutura do solo e a distribuição do sistema radicular do milho em sucessão a: pousio com vegetação espontânea, feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* DC); mucuna cinza (*Mucuna cochinchinensis*) e crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.). O experimento foi realizado em Santa Maria-RS num Argissolo Vermelho Distrófico arênico, cuja estrutura foi avaliada pelo método do perfil cultural, complementada por avaliação da densidade do solo. Na avaliação das raízes foi utilizado o método da parede do perfil com auxílio do software SIARCS[®] 3.0 (Sistema Integrado de Análise de Raízes e Cobertura do Solo). O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso. Os resultados do comprimento de raízes foram submetidos à análise de variância e teste Tukey a 5%. As plantas de cobertura de solo melhoram a estrutura do solo. A distribuição do sistema radicular do milho não é influenciada pelas plantas de coberturas de solo.

Palavras-chave: unidade morfológica homogênea, perfil cultural, raiz, *Zea mays*

4.1 Abstract

The cover crops can be used for recovery of soil structure and to roots growth of the subsequent plants. The aim of this research work was to evaluate the influence of cover crops and soil structure on the amount and distribution of corn roots. The treatments were spontaneous vegetation, jach bean (*Canavalia ensiformis* DC); gray mucuna (*Mucuna cochinchinensis*) and crotalaria juncea (*Crotalaria juncea* L.). The experiment was accomplished in Santa Maria-RS in Paleudalf soil, whose soil structure was evaluated through the cultural profile method, complemented by the soil bulk density analysis. The evaluation of the roots was made by the profile wall method

with SIARCS 3.0[®] software (Sistema Integrado de Análise de Raízes e Cobertura do Solo). The statistical design was the randomized blocks. The root results were submitted to ANOVA and Tukey test at 5%. The cover crops improve the soil structure. The distribution of the corn roots not influence by the cover crops.

Key words: homogeneous morphologic unit, cultural profile, root, *Zea mays*

4.2 Introdução

A utilização de plantas de cobertura de solo influenciam na melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, proporcionando condições satisfatórias ao desenvolvimento das culturas (ALVARENGA et al., 1995). As plantas utilizadas como cobertura de solo compõem um fator importante na modificação da estrutura do solo, mediante a ação mecânica das raízes ou pela excreção de substâncias com ação cimentante e conseqüente fornecimento de nutrientes à fauna do solo (SILVA; MIELNICZUK, 1997).

Diversas espécies podem ser utilizadas com o propósito de melhorar a estrutura do solo (DERPSCH; CALEGARI, 1992; CALEGARI, 1995). Segundo Carpenedo e Mielniczuk (1990) e Silva e Mielniczuk (1997), as poaceas perenes são mais eficientes nesse aspecto, por terem maior densidade de raízes e melhor distribuição do sistema radicular. Para Perin et al. (2002), fabaceas também podem proporcionar melhorias na estrutura do solo quando comparadas com o solo sem vegetação manejado com capina manual.

Verpraskas (1994) constatou que as raízes podem alterar sua direção de crescimento para ultrapassar obstáculos provocados por agregados ou estruturas mais adensadas, crescendo em fendas ou canais deixados por raízes decompostas. Assim, uma estratégia para melhorar o desenvolvimento das raízes no solo pode ser o cultivo de espécies com sistema radicular vigoroso e profundo, que deixem canais que propiciem condições ao desenvolvimento de raízes da cultura subsequente (DEXTER, 1991). Segundo Abreu (2000), os poros formados pela ação das raízes no solo são estáveis, pois sua decomposição por microrganismos gera materiais que atuam como

cimentantes nas paredes desses poros, proporcionando maior durabilidade, se comparados com aqueles formados por implementos mecânicos.

Silva e Rosolem (2002), em trabalho realizado em vasos, concluíram que o cultivo anterior com aveia-preta, guandu ou milheto favoreceu o crescimento radicular da soja abaixo de camadas compactadas do solo, porém os mesmos autores alertam que o aumento da densidade do solo pode neutralizar o benefício ocasionado por essas espécies.

Solos fisicamente degradados podem ser recuperados com o cultivo de espécies de diferentes sistemas aéreos e radiculares, que adicionam material orgânico em quantidade e composição variadas (WOHLENBERG et al., 2004). O efeito das coberturas do solo sobre as propriedades físicas do solo, especialmente a densidade, não são imediatos (LAURANI et al., 2004). No trabalho realizado por Albuquerque et al. (1995), foram necessários sete anos de rotação com plantas de cobertura até a diminuição da densidade do solo.

O método do perfil cultural (HENIN et al., 1960; MANICHON, 1982) é uma boa alternativa para avaliar as alterações estruturais do solo, permitindo distinguir as interações das raízes com as estruturas do solo, sendo fundamentado no estudo da morfologia do solo, consistindo na delimitação dos volumes antropizados distintos (modificados pelo manejo do solo), denominados unidades morfológicas homogêneas (UMH), tanto em profundidade quanto lateralmente, a partir de critérios como: forma, tamanho e distribuição dos elementos estruturais; presença ou ausência de poros visíveis a olho nu e continuidade destes e forma e dureza de agregados e sua relação com as raízes (TAVARES FILHO et al., 1999, 2001; NEVES et al. 2003).

O objetivo do trabalho foi avaliar a influência do cultivo de plantas de cobertura de solo na estrutura do solo e distribuição do sistema radicular do milho.

4.3 Material e Métodos

O trabalho foi realizado no município de Santa Maria-RS, na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, cujas coordenadas geográficas são: latitude 29°41' Sul e longitude 53°48' Oeste, com 151 m

de altitude. O solo é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico (EMBRAPA, 1999), com textura superficial franco-arenosa (109 g kg⁻¹ de argila, 244 g kg⁻¹ de silte e 648 g kg⁻¹ de areia) e subsuperficial franco-argilosa (295 g kg⁻¹ de argila, 284 g kg⁻¹ de silte e 421 g kg⁻¹ de areia) (ALBUQUERQUE; REINERT, 2001). O clima da região é subtropical úmido (Cfa2), com precipitação e temperatura médias anuais de 1561 mm e 19,3 °C, respectivamente.

O ensaio foi conduzido em sistema de plantio direto desde 1998 com três semeaduras anuais, que constavam de plantas de cobertura de solo (fevereiro a maio); consórcio de aveia + ervilhaca (maio a setembro), e milho (setembro a fevereiro) como cultura comercial (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Tratamentos utilizados no experimento. Santa Maria-RS, 2005.

Tratamentos	Períodos		
	Fevereiro a maio	Maio a setembro	Setembro a março
1	Pousio	Aveia + ervilhaca	Milho
2	Feijão-de-porco	Aveia + ervilhaca	Milho
3	Mucuna cinza	Aveia + ervilhaca	Milho
4	Crotalária juncea	Aveia + ervilhaca	Milho

Os tratamentos utilizados foram: 1) pousio, com vegetação espontânea com predominância de picão preto (*Bidens subalternans* DC.), grama-seda (*Cynodon dactylon* L.), falsa-serralha (*Emilia sonchifolia* (L) DC) e poaia (*Richardia brasiliensis*); 2) feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.); 3) mucuna cinza (*Stizolobium niveum* Kuntze); e 4) crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.). As plantas de cobertura de solo foram semeadas manualmente entre as linhas do milho, que estava na fase de enchimento de grãos. O espaçamento utilizado foi de 0,45 m, com 5, 5 e 26 sementes por metro linear, respectivamente para feijão-de-porco, mucuna cinza e crotalária juncea. As plantas de cobertura de solo foram cultivadas sem adubação química e manejadas com rolo-faca antes da semeadura do consórcio de aveia (*Avena stringosa*) + ervilhaca (*Vicia sativa*); que foram semeadas a lanço com 24 kg ha⁻¹ para aveia + 56 kg ha⁻¹ para ervilhaca, sem adição de adubação química.

A cultura avaliada foi o milho (*Zea mays*) híbrido Pioneer 32R21, no estágio de pleno florescimento, em janeiro de 2005, cultivado no espaçamento de 0,9 m

entrelinhas com 5 plantas por metro linear, que recebeu 30 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 70 kg ha^{-1} de K_2O , sem adição de N.

Para avaliação das estruturas do solo, foi utilizado o método do perfil cultural (TAVARES FILHO et al.,1999), que foi realizado por meio da abertura de 3 trincheiras por tratamento, transversais às linhas de plantio, com largura de 0,9 m, comprimento e profundidade de 1 m, contemplando uma planta de milho. Com auxílio de uma faca, foram identificadas as estruturas do solo, nas diferentes regiões do perfil, denominadas de unidades morfológicas homogêneas (UMH) (Tabela 4.2).

A partir das UMHs encontradas, foram confeccionados mapas em papel milimetrado, localizando cada unidade no perfil do solo, que foram, posteriormente, digitalizados com auxílio do software AutoCAD (AUTODESK, 2007), determinando as porcentagens de área de cada UMH no perfil do solo. Para determinação da densidade do solo (EMBRAPA, 1997), foram identificadas as UMHs e coletados dentro das 12 trincheiras, 50 anéis de ferro de 0,105 m de diâmetro por 0,10 m de altura, com volume de $8,65 \times 10^{-4} \text{ m}^3$, com o auxílio de um esticador hidráulico.

Tabela 4.2 – Descrição das unidades morfológicas homogêneas (UMH), considerando-se o modo de organização do perfil do solo⁽¹⁾ e o estado interno dos torrões⁽²⁾. Adaptado de Tavares Filho et al. (1999).

Nível de análise	UMH	Descrição
I ⁽¹⁾	F	Unidade morfológica homogênea fissurada, em que a individualização de torrões é facilitada pela fissuração. Quando presentes nesse volume, as raízes se desenvolvem preferencialmente entre os torrões, nas fissuras existentes.
	C	Unidade morfológica homogênea contínua em que os elementos (agregados e terra fina) estão unidos, formando uma unidade homogênea, com aspecto de estrutura maciça. Pode apresentar raízes de várias formas, dependendo da compactação do solo.
II ⁽²⁾	μ	Estado interno dos torrões não compactados, caracterizado por uma distribuição de agregados com estrutura interna e externa porosa. Normalmente, apresenta raízes intra e entre agregados, bem ramificadas, com orientação vertical.
	Δ	Estado interno de torrões compactados, caracterizado por uma distribuição de agregados com estrutura angulosa (poliédrica, cúbica ou prismática). Quase não apresenta raízes e estas, quando presentes, possuem poucas ramificações.
	$\Delta\mu$	Estado de transição entre (Δ) e (μ).

Para avaliação das raízes, foi utilizado o método da parede do perfil (BÖHM, 1979), utilizando as mesmas trincheiras usadas na avaliação do perfil cultural, nivelando novamente o perfil do solo. As raízes foram expostas com um rolo escarificador e pintadas individualmente com tinta branca. Foram utilizadas telas quadriculadas com malhas de 0,225 X 0,25 m. Foram obtidas imagens de cada quadrícula com câmera digital, sendo analisadas pelo programa SIARCS 3.0[®] (JORGE et al., 1996), obtendo-se o comprimento radicular (m). Os dados de comprimento radicular foram apresentados em sobreposição às unidades morfológicas homogêneas (UMHs). Determinou-se também a porcentagem do comprimento de raízes e sua distribuição por profundidade, calculando-se a profundidade efetiva, onde se concentram 80% das raízes (KLAR, 1991).

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, em parcelas de 5 x 5 m. Os dados do comprimento de raízes foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

4.4 Resultados e Discussão

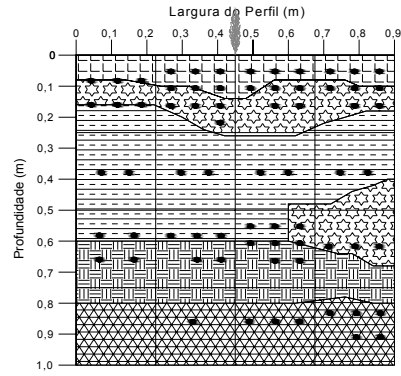
4.4.1 Estrutura do solo

Na avaliação do perfil cultural, foi identificada em todos os tratamentos uma camada entre 0,05 e 0,15 m da unidade morfológica homogênea (UMH) F_{μ} , fissurada, com porosidade intra-agregados (Figura 4.1), cuja densidade do solo média foi de $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$ (Tabela 4.3). A UMH C_{Δ} , de estrutura maciça e compactada, com densidade média de $1,63 \text{ Mg m}^{-3}$ (Tabela 4.3), foi observada também em todos os tratamentos, destacando-se no pousio. A profundidade de ocorrência dessa camada compactada foi a partir de 0,10 até 0,25 m, mas, em alguns perfis, foi até 0,50 m, principalmente no tratamento pousio (Figura 4.1).

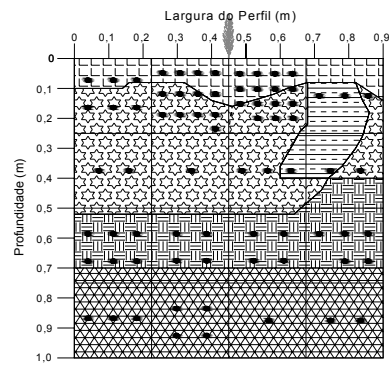
A unidade $C_{\Delta\mu}$, de transição entre o estado compactado e não compactado, com densidade do solo média de $1,62 \text{ Mg m}^{-3}$, também ocorreu em todos os tratamentos, mas em pequena proporção em dois dos perfis do sistema pousio (Figura 4.1).

Na profundidade de 0,25-0,50 m, existiu a predominância da unidade $C_{\Delta\mu}$ sobre a C_{Δ} em todos os tratamentos. Abaixo desta profundidade (0,25-0,50 m), surgem os horizontes não modificados pelo manejo do solo, sendo a profundidade de 0,50-0,75 m, predominada pelo horizonte eluvial (E) (Figura 4.1), que apresenta a densidade do solo média de $1,68 \text{ Mg m}^{-3}$ (Tabela 4.3). Já a partir da profundidade de 0,75 m apareceu o horizonte B textural, com aumento abrupto na quantidade de argila (Figura 4.1), e densidade do solo média de $1,44 \text{ Mg m}^{-3}$ (Tabela 4.3).

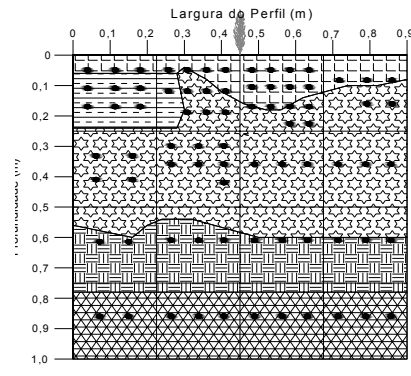
Pousio



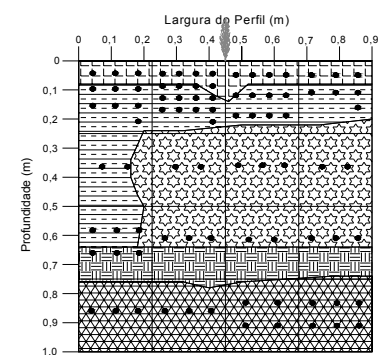
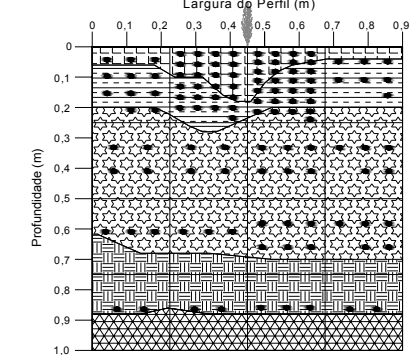
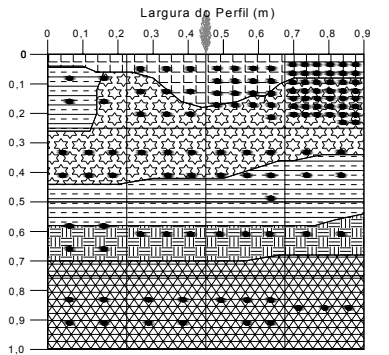
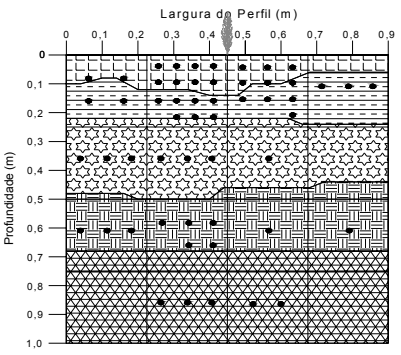
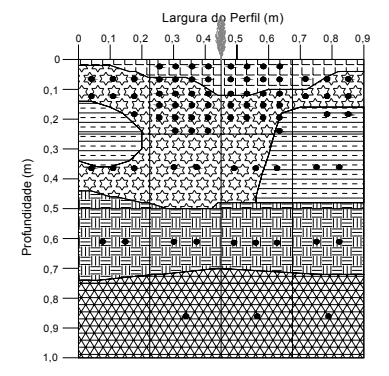
Feijão-de-porco



Mucuna cinza



Crotalária juncea



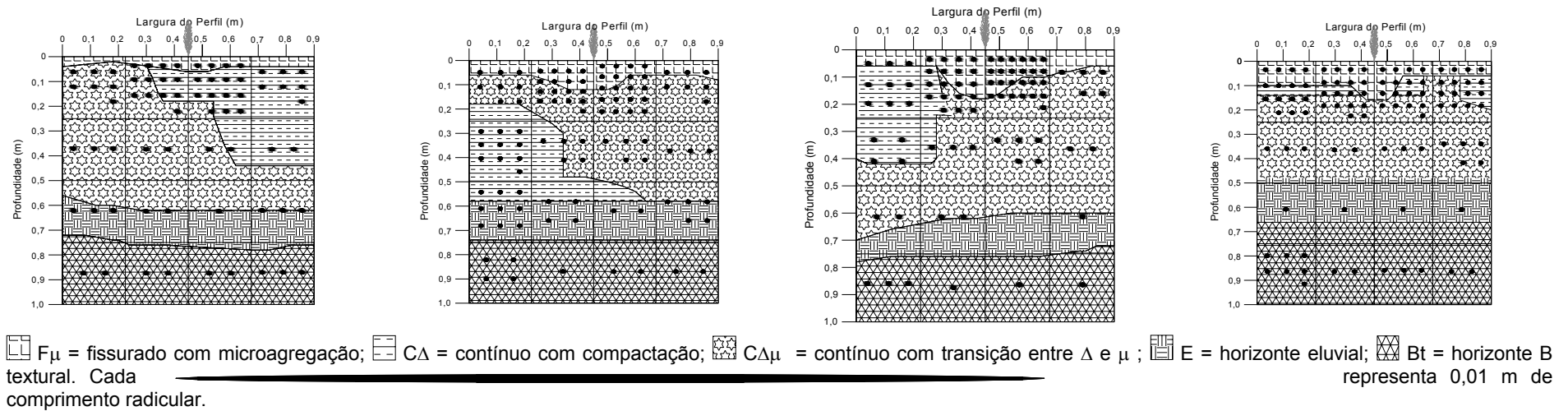


Figura 4.1 – Unidades morfológicas homogêneas (UMH) do solo e comprimento radicular do milho cultivado em sucessão ao pousio, feijão-de-porco, mucuna cinza e crotalária juncea. Santa Maria-RS, 2005.

Ao observar as médias das densidades do solo dentro de cada tratamento, nota-se que os valores ficaram entre 1,58 e 1,60 Mg m⁻³ (Tabela 4.3). Essa semelhança corrobora com os resultados obtidos por Bertol et al. (2004), que não encontraram diferenças para as densidades do solo, ao avaliar a rotação de culturas (feijão/aveia; milho/nabo; soja/ervilhaca), em comparação à sucessão de culturas (milho/ervilhaca), durante seis anos, em plantio direto. Porém, Albuquerque et al. (1995), após sete anos, constataram que as rotações de culturas (aveia + ervilhaca/milho; trigo/soja; aveia/soja) e (aveia/soja; trigo/soja) diminuíram a densidade do solo em relação à sucessão (trigo/soja). Os autores atribuíram esta melhoria na densidade do solo ao fato de ter sido incluída a aveia nos tratamentos de rotações de culturas, que, pelo seu sistema radicular abundante, contribui na conservação e na restauração da estrutura do solo.

Os valores de densidade do solo encontrados no experimento são considerados restritivos ao desenvolvimento radicular em solos de textura argilosa (TORRES; SARAIVA, 1999; CARDOSO et al., 2006). Já para solos arenosos, Albuquerque e Reinert (2001), ao trabalharem no mesmo Argissolo Vermelho Distrófico arênico, constataram que as altas densidades do solo encontradas, que variaram entre 1,47 e 1,71 Mg m⁻³ até 0,9 m de profundidade, não influenciaram o desenvolvimento radicular do milho. Altas densidades do solo em solos arenosos também foram encontradas por Santana et al. (2006), que constataram restrição ao crescimento radicular de citros em densidades de solo entre 1,6 e 1,7 Mg m⁻³, porém sem limitar totalmente seu crescimento. A justificativa esta relacionada ao fato da densidade do solo ser dependente do peso específico das partículas constituintes do solo, assim, solos arenosos, podem ter altos valores de densidade sem comprometer os espaços porosos que garantem o fluxo de água e ar (TORRES; SARAIVA, 1999).

Tabela 4.3 – Densidade do solo e porcentagem da área do perfil do solo ocupada pelas unidades morfológicas homogêneas (UMH) em sucessão ao pousio, feijão-de-porco, mucuna cinza e crotalária juncea. Santa Maria-RS, 2005.

UMH	Pousio	Feijão-de-porco	Mucuna cinza	Crotalária juncea	Média
Densidade do solo (Mg m^{-3})					
F μ	1,52	-	-	1,58	1,55
C Δ	1,65	1,61	1,65	1,61	1,63
C $\Delta\mu$	1,63	1,65	1,60	1,60	1,62
E	1,67	1,64	1,67	1,72	1,68
Bt	1,43	1,41	1,47	1,47	1,45
Média	1,58	1,58	1,60	1,60	
Área %					
F μ	8,00	9,33	9,33	8,33	8,75
C Δ	21,75	14,57	10,30	13,64	15,06
C $\Delta\mu$	27,03	31,09	43,50	31,36	33,24
Média	56,78	54,99	63,13	53,33	

F μ = fissurado com microagregação; C Δ = contínuo com compactação; C $\Delta\mu$ = contínuo com transição entre Δ e μ ; E = horizonte eluvial; Bt = horizonte B textural.

Com relação à área das UMHs no perfil do solo, a unidade F μ teve uma distribuição semelhante entre os tratamentos. Já para unidade C Δ (contínua com compactação), o tratamento pousio teve maior média (21,75%) do que os tratamentos feijão-de-porco, mucuna cinza e crotalária juncea (14,57; 10,30 e 13,64%) respectivamente. Nota-se que para a unidade C $\Delta\mu$, (contínuo com transição entre compacto e não compacto) ocorreu o inverso, com o tratamento pousio ficando com menor área do perfil (27,03%) do que os tratamentos feijão-de-porco, mucuna cinza e crotalária juncea (31,09; 43,50 e 31,36%) respectivamente (Tabela 4.3).

Esse aumento da área no perfil do solo para unidade $\Delta\mu$ (transição entre compacto e não compacto) com diminuição da unidade Δ (compacto) constatado nos tratamentos com plantas de cobertura de solo, é de relevância na melhoria da estrutura do solo, pois, em sua determinação a campo, leva-se em consideração a interação dos agregados com as raízes. Assim, na estrutura $\Delta\mu$, são encontradas mais raízes dentro dos agregados, menos achatadas e com mais ramificações do que na estrutura Δ (Tabela 4.1). Porém, Neves et al., (2003), ao avaliar estruturas

determinadas pelo perfil cultural, concluíram que o estado interno dos torrões $\Delta\mu$ e Δ tiveram a mesma densidade do solo e porosidade total, quando comparados a μ .

A maior área da unidade $C\Delta\mu$ no perfil do solo nos tratamentos com plantas de cobertura de solo do que no pousio, pode ser explicado pelo maior sistema radicular destas plantas em relação às plantas espontâneas presentes no pousio, pois as raízes são fonte de matéria orgânica no solo, que estimula a proliferação de microrganismos, resultando em agentes cimentantes, contribuindo na aglutinação do solo em unidades maiores, melhorando a agregação e a qualidade física do solo (REID; GOSS, 1982; CAMPOS et al., 1995; MIELNICZUK, 1999;). Nota-se que, independentemente da planta de cobertura de solo utilizada, a unidade $C\Delta\mu$ (transição entre compacto e não compacto), sempre teve maior área ocupada no perfil do solo do que a unidade $F\mu$ e a unidade $C\Delta$ (compacta), demonstrando que, se trata de um solo sem muitas limitações estruturais, e que, dependendo do manejo utilizado, este solo pode desenvolver compactação.

4.4.2 Distribuição das raízes de milho

Com relação a distribuição da porcentagem das raízes de milho, notou-se maior presença na profundidade 0,00-0,250 m para todos os tratamentos avaliados, onde se concentraram de 48 a 66% das raízes (Figura 4,2). Este fato está relacionado à própria natureza das plantas de concentrarem suas raízes nas camadas superficiais, associado à existência da unidade $F\mu$, que possui maior quantidade de poros grandes e fissuras entre elementos estruturais, sendo estas vias preferenciais ao crescimento das raízes por sua baixa resistência (TAVARES FILHO et al., 2001). Pode-se observar na profundidade 0,00-0,250 m, que a organização das UMH não influenciou a distribuição das raízes do milho, pois as raízes ocorreram em todas as UMH, mesmo nas compactadas. Ivo e Mielniczuk (1999), ao avaliarem a distribuição radicular do milho, concluíram que os modos de organização das estruturas do solo nem sempre explicam a presença das raízes no perfil do solo.

A distribuição da porcentagem do comprimento radicular foi muito semelhante nas três últimas profundidades (0,25-0,50; 0,50-0,75; 0,75-1,0 m), para

todos os tratamentos, caracterizando uma distribuição das raízes por todo o perfil do solo (Figura 4.2).

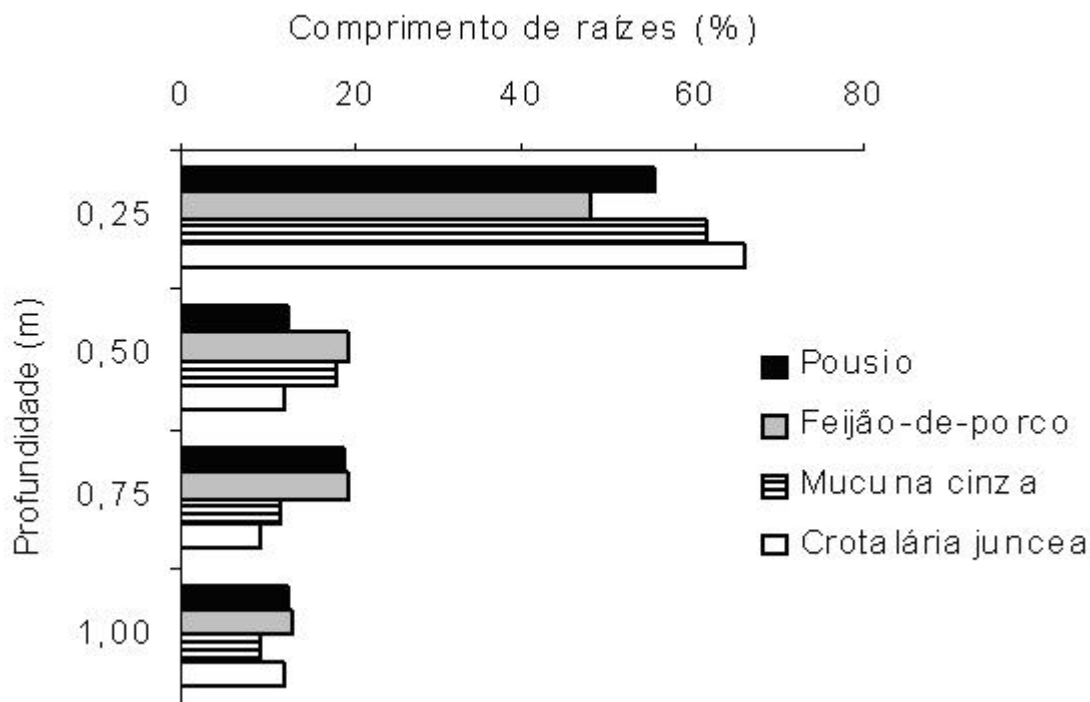


Figura 4.2 - Porcentagem da distribuição do comprimento de raízes de milho em sucessão ao pousio, feijão-de-porco, mucuna cinza e crotalaria juncea. Santa Maria-RS, 2005.

Tomando-se o tratamento pousio como testemunha, pode-se inferir que a distribuição do sistema radicular do milho não foi afetada pelas plantas de coberturas de solo, em nenhuma das profundidades avaliadas (Tabela 4.4). Em trabalho realizado em vasos, Silva e Rosolem (2002) atribuíram o favorecimento ao crescimento radicular da soja cultivada em sucessão, ao efeito descompactador e à criação de bioporos deixados pelas raízes de aveia-preta, guandu e milho em camadas compactadas de solo, quando estas plantas foram comparadas à mucuna preta, tremoço azul, sorgo, soja e pousio. Segundo Dexter (1991), quando as raízes se decompõem, elas deixam canais (bioporos) que podem melhorar o movimento da água e a difusão dos gases no perfil do solo, além de servirem de caminhos para a penetração radicular de outras culturas.

Tabela 4.4 – Comprimento de raízes de milho em sucessão ao pousio, feijão-de-porco, mucuna cinza e crotalária juncea. Santa Maria-RS, 2005.

Profundidade	Pousio	Feijão-de-porco	Mucuna cinza	Crotalária juncea	Cv
		Comprimento de raízes (m)			%
0,00-0,25	3,59 a*	4,22 a	5,69 a	5,80 a	20,08
0,25-0,50	0,83 a	1,71 a	1,67 a	1,08 a	15,04
0,50-0,75	1,24 a	1,71 a	1,08 a	0,80 a	17,05
0,75-1,00	0,81 a	1,15 a	0,85 a	1,07 a	12,20
Comprimento total	6,49 a	8,80 a	9,26 a	8,78 a	16,25
Profundidade efetiva	0,64 a	0,67 a	0,52 a	0,51 a	19,94

*Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Ao avaliarem a distribuição do sistema radicular do milho no mesmo solo do presente estudo, Albuquerque e Reinert (2001) concluíram que a profundidade do horizonte B textural foi o fator que mais influenciou a distribuição das raízes, devido à pequena quantidade de macroporos e presença de concreções, o que limitou as raízes a 0,45 m para os horizontes Bt mais próximos da superfície e 0,80 m para os mais profundos, ao trabalharem com trincheiras de 1 m de profundidade. Como este horizonte foi identificado na profundidade entre 0,75 a 1 m, em todos os perfis avaliados (Figura 4.1), sua presença não influenciou a distribuição das raízes.

O comprimento total e a profundidade efetiva do sistema radicular também não apresentaram diferenças entre o pousio e as plantas de cobertura de solo (Tabela 4.4). Os valores das profundidades efetivas do sistema radicular do milho variaram entre 0,51 e 0,67 m, superiores aos 0,40 m encontrados por Bassoi et al. (1994), ao avaliarem o sistema radicular do milho, até uma profundidade de 1,00 m, numa Terra Roxa Estruturada. Os valores de profundidade efetiva encontrados (0,51 a 0,67 m) sugerem que estas plantas não teriam grandes dificuldades para absorver água e nutrientes caso fossem expostas à deficiência hídrica.

4.5 Conclusões

As plantas de cobertura de solo melhoram a estrutura do solo.

A distribuição do sistema radicular do milho não é influenciada pelas plantas de coberturas de solo.

4.6 Referências Bibliográficas

ABREU, S. L. **Propriedades hídricas e mecânicas afetadas por sistemas de manejo e variabilidade espacial de um Argissolo**. 2000. 65f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J. Densidade radicular do milho considerados os atributos de um solo com horizonte B textural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.539-549, 2001.

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

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZI, A. J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.2, p.175-185, 1995.

AUTODESK. **Produtos**. Disponível em < <http://www.autodesk.com.br> >. Acesso em: 2 agosto, 2007.

BASSOI, L. H.; FANTE JÚNIOR, L.; JORGE, L. A. C.; CRESTANA, S.; REICHARDT, K. Distribuição do sistema radicular do milho em Terra Roxa Estruturada Latossólica: II. Comparação entre cultura irrigada e fertirrigada. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.51, n.3, p.541-548, 1994.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas as do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.1, p.155-163, 2004.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlim: Springer – Verlag, 1979. 188p.

CALEGARI, A. **Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1995. 118p. (Circular técnica, 80).

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.1, p.121-126, 1995.

CARDOSO, E. G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J. L.; TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; GUIMARÃES, M. F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, p. 493-501, 2006.

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

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno**. 2^a. ed. Londrina: IAPAR, 1992. 80p. (Circular técnica, 73).

DEXTER, A. R. Amelioration of soil by natural processes. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.20, n.2-4, p.87-100. 1991.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1997. 212p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999. 412p.

HENIN, S.; FEODOROFF, A.; GRAS, R.; MONNIER, G. **Le profil cultural: principes de physique du sol**. Paris: Masson, 1960. 320p.

IVO, W. M. P. M.; MIELNICZUK, J. Influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.1, p.135-143, 1999.

JORGE, L. A. C.; RALISCH, R.; ABI SAAB, O. J. G.; MEDINA, C. C.; GUIMARÃES, M. F.; NEVES, C. S. V. J.; CRESTANA, S.; CINTRA, F. L. D.; BASSOI, L. H.; FERNANDES, S. B. V. Aquisição de imagens de raízes. In: JORGE, L. A. C. (Ed.). **Recomendações práticas para aquisição de imagens digitais analisadas através do SIARCS**. São Carlos: EMBRAPA/CNPDIA, 1996. p.2-28. (Circular técnica, 1).

KLAR, A. E. **Irrigação: frequência e quantidade de aplicação**. São Paulo: Nobel, 1991. 156p.

LAURANI, R. A.; RALISCH, R.; TAVARES FILHO, J.; SOARES, D. S.; RIBON, A. A. Distribuição de poros de um Latossolo Vermelho eutroférico na fase de implantação de um sistema de plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.2, p.347-354, 2004.

MANICHON, H. **Influence des systèmes de culture sur le profil cultural: élaboration d'une méthode de diagnostic basée sur l'observation morphologique**. 1982. 241f. Tese (Doutorado) – Institut National de la Recherche Agronomique Poitou-Charentes, Paris.

MIELNICZUK, J. Importância do estudo de raízes no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis. In: FERNANDES, M. F.; TAVARES, E. D.; SILVA LEAL, M. L. **Workshop sobre sistemas radicular: metodologias e estudos de casos**. Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 1999. p.13-17.

NEVES, C. S. V. J.; FELLER, C.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C.; TAVARES FILHO, J.; FORTIER, M. Soil bulk density and porosity of homogeneous morphological units identified by the cropping profile method in clayey oxisols in Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.71, n.2, p.109-119, 2003.

PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um Argissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.3, p.713-720, 2002.

REID, J. B.; GOSS, M. J. Interactions between soil drying due to plant water use and decreases in aggregate stability caused by maize roots. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.33, n.3, p.47-53, 1982.

SANTANA, M. B.; SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D.; FONTES, L. E. F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.1, p.1-12, 2006.

SILVA, H. R.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.6, p.973-976, 2002.

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.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.725-730, 2001.

TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C.; BALBINO, L. C.; NEVES, C. S. V. J. Método do Perfil Cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.393-399, 1999.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1999. 58p. (Circular técnica, 23).

VERPRASKAS, M. J. Plant response mechanisms to soil compaction. In: WILKINSON. R. E. **Plant-environment interactions**. New York: Marcel Dekker, 1994. p.263-287.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.5, p.891-900, 2004.

5 ARTIGO C: APORTE DE MATÉRIA SECA, CARBONO E NITROGÊNIO POR RAÍZES DE SOJA E MILHO EM SISTEMA CONVENCIONAL E DIRETO

5.1 Resumo

O conhecimento sobre a contribuição das raízes no acúmulo de resíduos orgânicos ao solo é importante para a melhor quantificação do seqüestro do carbono atmosférico e reciclagem de nutrientes pelas culturas agrícolas. O objetivo do trabalho foi avaliar a distribuição e o aporte de matéria seca, carbono e nitrogênio provenientes do sistema radicular de soja e milho em sistemas de plantio convencional e direto. Foram abertas trincheiras e coletados anéis para amostragem das raízes em sete profundidades (0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40; 0,40-0,60; 0,60-0,80 e 0,80-1,00 m). A avaliação das raízes foi realizada com auxílio do software SIARCS[®] 3.0 (Sistema Integrado de Análise de Raízes e Cobertura do Solo). Em amostras de raízes realizou-se a determinação de carbono e nitrogênio. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso e os resultados foram submetidos à análise de variância e teste t de Student. A distribuição, a quantidade e os aportes de matéria seca, carbono e nitrogênio de raízes de soja e milho não foram influenciados pelos sistemas de manejo do solo. Independentemente do sistema de manejo do solo, 80% do aporte de matéria seca, carbono e nitrogênio de raízes de soja e milho esteve entre 0,35 a 0,40 m de profundidade.

Palavras-chave: manejo do solo, raiz, *Zea mays*, *Glycine max* (L).

5.1 Abstract

The knowledge about the contribution of the roots in the input of organic residues into the soil is important for better quantification of the atmospheric carbon sequestration and nutrients supply in agricultural crops. The aim of this research work was to evaluate the distribution of the root system of soybean and corn and its contribution to the input of dry matter, carbon and nitrogen, in soil tillage and no-tillage systems. Rings were collected in trenches for roots sampling in seven depths (0-0.10;

0.10-0.20; 0.20-0.30; 0.30-0.40; 0.40-0.60; 0.60-0.80 and 0.80-1.00 m). The evaluation of the roots was accomplished with SIARCS 3.0[®] software (Sistema Integrado de Análise de Raízes e Cobertura do Solo). Root samples were taken for determination of carbon and nitrogen. The statistical design was randomized blocks and the results were submitted to ANOVA and Student test t. The distribution and the amount of roots of soybean and corn and the input of C and N were not influenced by the soil management systems. Independently of the soil management of handling, the dry matter, carbon and nitrogen input from roots of soybean and corn (80%) in 0.35 and 0.40 m of depth.

Key words: soil management, root, *Zea mays*, *Glycine max* (L).

5.2 Introdução

No âmbito das mudanças climáticas globais, o solo e suas formas de uso estão em foco, sobretudo no que se refere à agricultura. Os solos agrícolas podem atuar como dreno ou fonte de gases de efeito estufa (GEE), dependendo do sistema de manejo a que forem submetidos (IPCC, 2001). O cultivo intensivo do solo, com aração e gradagens, resultam na diminuição dos estoques de C orgânico do solo, o que, ocasiona o aumento do efluxo de CO₂ para atmosfera e diminuição do influxo de C fotossintetizado ao solo. Por outro lado os sistemas de manejo conservacionistas, determinam alterações na ciclagem de C no sistema solo-atmosfera, com aumento dos estoques de C orgânico no solo devido à diminuição das taxas de decomposição da matéria orgânica (BAYER et al., 2000; 2003).

A introdução de plantas de cobertura de solo, em sistemas de rotação de culturas, é uma prática que tem aumentado os estoques de matéria orgânica e proporcionando melhorias em várias propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, principalmente quando associadas a sistemas de preparo sem revolvimento, ou com mínima mobilização do solo (BAYER et al., 2003). Uma das fontes de matéria orgânica para o solo é o sistema radicular das culturas. Segundo Balesdent e Balabane (1992), os produtos da fotossíntese translocados para o interior do solo são representados pelo tecido radicular vivo, exsudatos e diversos constituintes orgânicos que são derivados de raízes em crescimento, raízes mortas e pêlos radiculares, e

microrganismos rizosféricos e seus subprodutos. Por estar intimamente em contato com a fração mineral do solo e apresentar baixa taxa de decomposição devido à alta relação lignina/nitrogênio, o carbono de origem radicular promove a formação de compostos insolúveis, que permanecerão estáveis no solo (BALESDENT; BALABANE, 1996). Calegari (2006), ao avaliar um sistema de plantio direto com 19 anos de manejo, concluiu que os sistemas de rotação de culturas que incluíram tremoço azul, nabo e aveia preta, adicionaram mais matéria orgânica ao solo em profundidade do que ervilhaca peluda, trigo e pousio, em razão do aprofundamento do sistema radicular daquelas culturas.

A dinâmica do C no solo esta intimamente associada à quantidade de N, por serem ambos componentes da matéria orgânica do solo e influenciados pelos mecanismos de adição e de perda de material orgânico. A relação C/N entre 25 e 30 apresenta um equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização do N (ALLISON, 1966). Pelo fato da matéria orgânica ser a principal reserva de nitrogênio do solo (CHAGAS, 2007), se faz necessário quantificar a contribuição das raízes no fornecimento de nitrogênio ao solo, o que pode direcionar o manejo do solo de forma a possibilitar a otimização da ciclagem de nutrientes e o aumento do conteúdo de matéria orgânica do solo.

Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar a distribuição do sistema radicular e o aporte de matéria seca, carbono e nitrogênio por raízes de soja e milho em sistema de plantio convencional e direto em Londrina-PR.

5.3 Material e Métodos

O trabalho foi realizado no município de Londrina-PR, na área experimental da EMBRAPA Soja, cujas coordenadas geográficas são: latitude 23°23' Sul e longitude 51°11 Oeste, com 560 m de altitude. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 1999), com textura muito argilosa (787 g kg⁻¹ de argila, 168 g kg⁻¹ de silte e 45 g kg⁻¹ de areia) (CARDOSO et al., 2006). O clima da região é subtropical úmido (Cfa), insolação média de 7,05 h dia⁻¹, com precipitação e temperatura médias anuais de 1.615 mm e 21 °C, respectivamente.

O ensaio foi conduzido desde 1997 com dois sistemas de rotações de culturas, com alternância de soja e milho no verão, e trigo, tremoço e aveia preta no inverno (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 - Rotações de culturas manejadas no sistema convencional e direto. Londrina, 2006.

Anos	Períodos	Rotação 1	Rotação 2
97	inverno	Aveia preta	Aveia preta
97/98	verão	Milho	Soja
98	inverno	Aveia preta	Tremoço branco
98/99	verão	Soja	Milho
99	inverno	Trigo	Aveia preta
99/00	verão	Soja	Soja
00	inverno	Tremoço branco	Trigo
00/01	verão	Milho	Soja
01	inverno	Aveia preta	Tremoço branco
01/02	verão	Soja	Milho
02	inverno	Aveia preta	Tremoço branco
02/03	verão	Soja	Milho
03	inverno	Trigo	Trigo
03/04	verão	Soja	Soja
04	inverno	Tremoço branco	Aveia preta
04/05	verão	Milho	Soja
05	inverno	Aveia preta	Trigo
05/06	verão	Soja	Milho

Os tratamentos foram: sistemas de plantio convencional e direto. No sistema convencional, o solo foi preparado no verão, utilizando-se arado e grade niveladora e, no inverno, grade aradora e grade niveladora, sendo o arado de quatro discos com 30” de diâmetro, grade aradora de 20 discos de 26” de diâmetro e grade niveladora de 42 discos de 22” de diâmetro. No plantio direto não houve o revolvimento do solo por implementos de corte, além das linhas de semeadura.

Foram avaliadas duas culturas, em fevereiro de 2006, nos estádios de pleno florescimento: 1) soja (*Glycine max* L.) variedade BRS 156, no espaçamento de 0,45 m nas entrelinhas com 15 plantas por metro linear e adição de 200 kg ha⁻¹ do adubo formulado 0-20-20; e 2) milho (*Zea mays*) híbrido Pioneer 30F33, no

espaçamento nas entrelinhas de 0,9 m com 5 plantas por metro linear, adição de 200 kg ha⁻¹ do adubo formulado 0-20-20 e 80 kg de N em cobertura aos 45 dias.

Na amostragem das raízes, foi utilizado o método do trado modificado, com coleta das amostras por meio de anéis volumétricos (BÖHM, 1979). Para isso, foram abertas 4 trincheiras para cada tratamento por espécie avaliada, perpendicularmente à linha de plantio, com largura de 0,9 m, comprimento e profundidade de 1 m. Na parede das trincheiras, foram cravados anéis de ferro de 0,105 m de diâmetro por 0,10 m de altura, com volume de $8,65 \times 10^{-4} \text{ m}^3$, com o auxílio de um esticador hidráulico, em sete profundidades (0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40; 0,40-0,60; 0,60-0,80 e 0,80-1,00 m) e em dois locais em relação à planta (linha e entrelinha de plantio), para obtenção de média.

Na separação das raízes do solo, cada anel foi lavado com água corrente em peneira com malha de 1 mm. As raízes foram submetidas à leitura ótica com scanner e analisadas pelo programa SIARCS 3.0[®] (JORGE et al., 1996), para obtenção do comprimento. Os dados de comprimento das raízes foram expressos em relação a cada profundidade coletada, em comprimento de raízes até 1,0 m de profundidade e em profundidade efetiva, até onde se concentram 80% das raízes (KLAR, 1991).

As raízes foram, posteriormente, levadas à estufa a 65 °C por 48 horas, para determinação da matéria seca. Para isso, foram feitas amostras compostas das raízes de soja e de milho, sendo retiradas quatro subamostras por espécie, para determinação de carbono e nitrogênio (TEDESCO et al., 1995). A partir dos dados obtidos, foi feita relação entre o volume do anel ($8,65 \times 10^{-4} \text{ m}^3$) e a área do terreno (ha), determinando-se os conteúdos de comprimento de raízes (km ha⁻¹), matéria seca, carbono (Mg ha⁻¹) e nitrogênio (kg ha⁻¹).

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste t de Student a 5% de probabilidade de erro.

5.4 Resultados e Discussão

A porcentagem de carbono da matéria seca das raízes foi de 31,16% para a soja e 28,87% para o milho (Tabela 5.2), valores que se assemelham aos encontrados na literatura, de 34% para raízes de soja (KUNDU et al., 2007) e 28 a 31% para raízes de azevém (*Lolium perene*) (BAZOT et al., 2005). No caso do nitrogênio, a porcentagem encontrada na matéria seca das raízes foi de 1,90% para soja e 0,75% para o milho, que correspondem aos valores encontrados na literatura, de 1,8 a 2,2% de nitrogênio nas raízes da leguminosa trevo branco (*Trifolium repens*) e de 0,4 a 0,6% nas raízes da gramínea grama-timóteo (*Phleum pratense*) (HOKKA et al., 2004).

Tabela 5.2 - Porcentagens de carbono, nitrogênio e relação C/N na matéria seca das raízes da soja e do milho. Londrina-PR, 2006.

Cultura	Carbono		Nitrogênio	Relação C/N
	%			
Soja	31,16		1,90	16,37
Milho	28,87		0,75	38,71

O Comprimento de raízes de soja e milho não apresentaram diferenças entre os sistemas convencional e direto, para todas as profundidades (Figura 5.1). Ivo e Mielniczuk (1999), avaliando o comprimento radicular do milho em vários estádios de desenvolvimento (20, 30, 58, 74 dias), constataram que, dos 20 aos 30 dias, as raízes tiveram um desenvolvimento mais horizontal para o plantio convencional e mais vertical para o plantio direto, mas que também ficaram equivalentes nos últimos estádios avaliados. Porém, Vieira (1981), ao avaliar a distribuição do comprimento radicular da soja até a profundidade de 1 m, constatou que, no plantio convencional, as raízes se concentravam nas camadas superiores e, no sistema de semeadura direta, estavam mais aprofundadas no perfil do solo.

Para o comprimento de raízes total até um metro de profundidade e para profundidade efetiva do sistema radicular da soja e do milho, também não foram encontradas diferenças entre os tratamentos (Tabela 5.3). As profundidades efetivas variaram de 0,43 a 0,54 m para soja e 0,40 a 0,46 m para o milho. Esses valores de profundidade efetiva são semelhantes aos encontrados por Bassoi et al. (1994), que, ao

avaliarem o perfil do solo até uma profundidade de 1 m, encontraram cerca de 70% do comprimento de raízes de milho a 0,4 m de profundidade, numa Terra Roxa Estruturada.

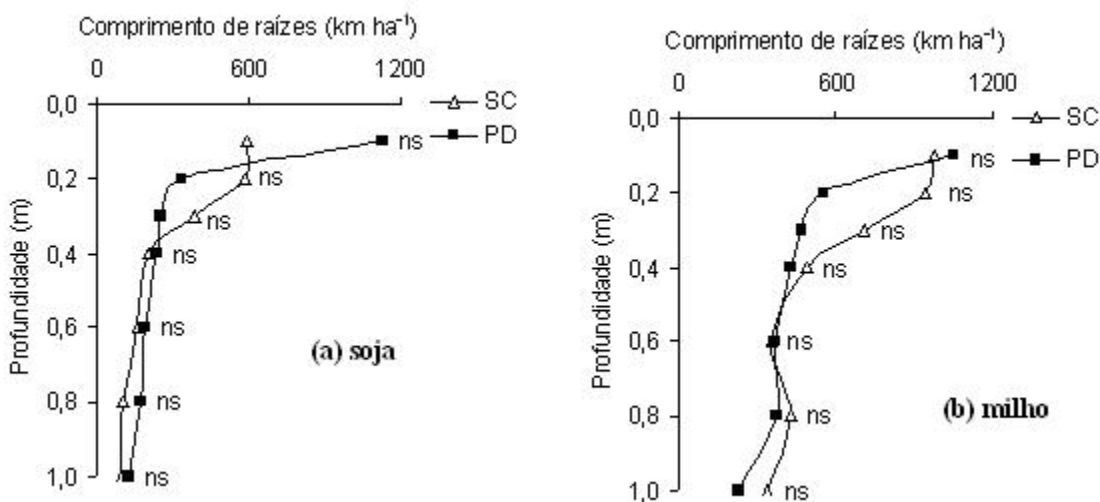


Figura 5.1 - Comprimento das raízes de soja (a) e de milho (b) em sistema convencional (SC) e plantio direto (PD). Londrina-PR, 2006.

O conteúdo de matéria seca das raízes no solo não se diferenciou entre os sistemas de plantio para as duas culturas em todas as profundidades avaliadas (Figura 5.2a). De Maria et al. (1999) também não encontraram diferenças entre sistema convencional e plantio direto para o conteúdo de matéria seca de raízes de soja, considerando até 0,4 m de profundidade. Da mesma forma, Merten e Mielniczuk (1991), ao avaliarem plantio direto e sistemas de manejo com revolvimento do solo até a profundidade de 0,4 m, concluíram que não houve diferença para a matéria seca das raízes de soja; enquanto que a matéria seca das raízes do milho foi maior em sistema convencional do que em plantio direto.

Para o conteúdo de matéria seca total, nos dois sistemas de manejo do solo, considerando até um metro de profundidade, também não houve diferença entre os tratamentos, tanto para soja quanto para o milho (Tabela 5.3). Os valores foram de 2,01 e 1,94 Mg ha⁻¹ para soja e de 3,79 e 2,50 Mg ha⁻¹ para o milho, em sistema convencional e plantio direto, respectivamente.

Confrontando-se esses resultados do aporte da matéria seca das raízes com a matéria seca da parte aérea relatada na literatura, no estadio de maturação fisiológica, que indica valores de 2 a 3 Mg ha⁻¹ para soja (MACEDO e MIRANDA, 2001; HERZOG et al., 2004) e 5,2 a 7,9 Mg ha⁻¹ para o milho (MAI et al., 2003), chega-se a valores médios para a soja de 55,84% de parte aérea e 44,16% de sistema radicular, e para o milho de 65,11% de parte aérea e 34,89% de sistema radicular. Estes resultados indicam que o sistema radicular da soja, em relação à parte aérea, tem maior contribuição no aporte de matéria seca ao solo do que o milho. Brasil et al. (2007), ao avaliarem a matéria seca de oito genótipos de milho em sistema de hidroponia, obtiveram proporções semelhantes a essas, com 64% para parte aérea e 36% para o sistema radicular. Porém, Machado e Furlani (2004) em trabalho semelhante, obtiveram uma proporção da matéria seca de 73,5% para parte aérea e 26,5% para o sistema radicular, ao avaliarem seis variedades de milho.

Tabela 5.3 - Comprimento total de raízes, profundidade efetiva do comprimento de raízes, matéria seca total, carbono total e nitrogênio total das raízes e profundidade efetiva da matéria seca, carbono e nitrogênio de soja e milho em sistema convencional e plantio direto, até 1 m de profundidade. Londrina-PR, 2006.

Variáveis	Soja		Milho	
	Convencional	Direto	Convencional	Direto
Comprimento total (km ha ⁻¹)	2136 a	2449 a	4246 a	3482 a
Profundidade efetiva do comprimento de raízes (m)	0,43 a	0,54 a	0,40 a	0,46 a
Matéria seca total (Mg ha ⁻¹)	2,01 a	1,94 a	3,80 a	2,51 a
Carbono total (Mg ha ⁻¹)	0,63 a	0,61 a	1,10 a	0,72 a
Nitrogênio total (kg ha ⁻¹)	38,22 a	36,89 a	28,48 a	18,78 a
Profundidade efetiva da matéria seca, carbono e nitrogênio (m)	0,35 a	0,35 a	0,38 a	0,40 a

*Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, para cada cultura, não diferem entre si, pelo teste de t de Student a 5% de probabilidade de erro.

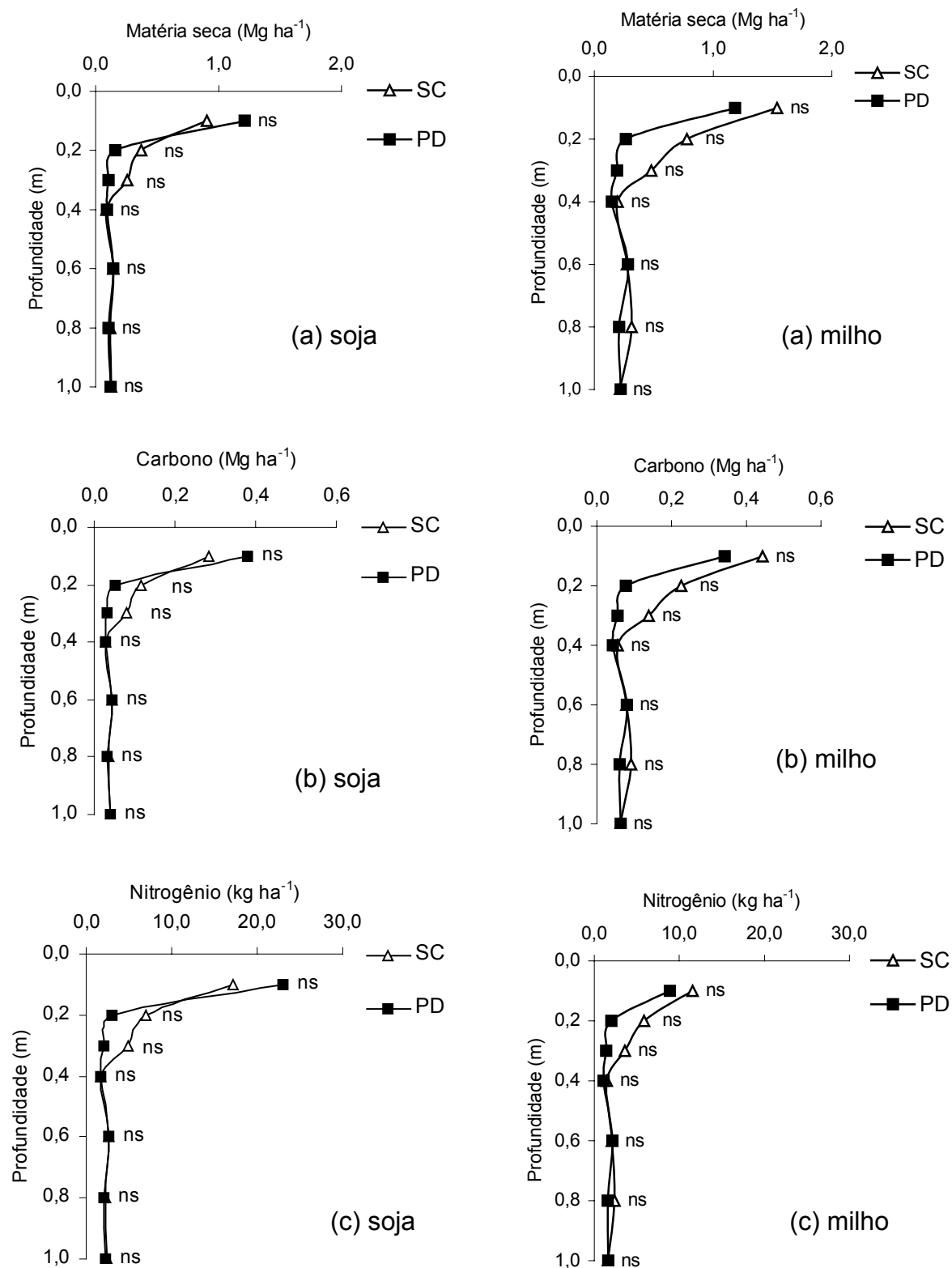


Figura 5.2 - Matéria seca (a), carbono (b) e nitrogênio (c) das raízes da soja e do milho no sistema convencional (SC) e plantio direto (PD). Londrina-PR, 2006.

Para o aporte de carbono das raízes, também não foram observadas diferenças entre plantio direto e sistema convencional para soja e milho em todas as profundidades avaliadas e para o total até um metro de profundidade (Figura 5.2b) (Tabela 5.3). A soja teve aporte de 0,63 e 0,61 Mg ha⁻¹ e o milho 1,10 e 0,72 Mg ha⁻¹ para sistema convencional e plantio direto, respectivamente (Tabela 5.3). Venzke Filho et al. (2004), ao trabalharem num Latossolo Vermelho Escuro com 22 anos de plantio direto, a 0,5 m de profundidade, obtiveram valores superiores de carbono para o milho (1,324 Mg ha⁻¹) e inferiores para a soja (0,392 Mg ha⁻¹).

Lovato et al. (2004), ao avaliarem vários sistemas de rotações de culturas envolvendo o milho e plantas de cobertura do solo de inverno, determinaram que a parte aérea do milho, incluindo a produção de grãos, contribui no aporte de carbono ao solo com 1,75 a 3,41 Mg ha⁻¹. Ao se considerar a médias dos valores de carbono do milho, os resultados indicam que entre 34,20% e 21,06% do carbono adicionado pela cultura do milho ao solo foi proveniente das raízes (Tabela 5.3). Balesdent e Balabane (1996), ao avaliarem a decomposição da matéria orgânica da parte aérea e do sistema radicular do milho durante quatro anos, constataram que as raízes representaram 40% do C contido nas plantas de milho, mas que 61% do carbono encontrado no solo foram derivados do sistema radicular. Esta diferença na taxa de acumulação do C derivado das raízes deve-se, segundo os mesmos autores, à menor taxa de decomposição do tecido radicular e à maior taxa de conversão de C do tecido radicular em C do solo, devido à alta relação lignina/nitrogênio, melhor distribuição dos compostos na matriz do solo e maior proteção física da matéria orgânica no interior dos agregados.

Outro fator importante a ser considerado no balanço do carbono adicionado pelas culturas ao solo é a contribuição dos rizodepósitos e exsudatos radiculares, pois quando se considera apenas os dados de biomassa radicular, substima-se o total de carbono adicionado ao solo através das raízes. Segundo Johnson et al. (2006), a rizodeposição representa 2,5 a 6 vezes o carbono da biomassa das raízes. Entretanto, a análise dos rizodepósitos é de difícil execução prática, por serem altamente lábeis, como componente do C orgânico do solo que age como substrato de microrganismos, e, portanto, muito dinâmico no solo.

Para o nitrogênio, também não foram encontradas diferenças entre tratamentos nas profundidades avaliadas e no total até um metro de profundidade, para a soja e o milho (Figura 5.2c) (Tabela 5.3). Os valores de nitrogênio para a soja foram de 38,22 e 36,89 kg ha⁻¹ e para o milho de 28,48 e 18,78 kg ha⁻¹ nos sistemas de plantio convencional e direto, respectivamente. Venzke Filho et al. (2004), ao trabalharem num Latossolo Vermelho Escuro com 22 anos de plantio direto, até 0,5 m de profundidade, obtiveram valores inferiores para soja (20,7 kg ha⁻¹) e superiores para milho (58 kg ha⁻¹). Macedo e Miranda (2001), ao avaliarem um sistema de integração lavoura-pecuária, considerando até 0,2 m de profundidade, obtiveram 27 kg ha⁻¹ de nitrogênio contido nas raízes de soja.

A relação C/N das raízes da soja ficou em 16,37 e do milho em 38,71 (Tabela 5.2). A relação C/N tem sido a característica mais usada em modelos para prever a disponibilidade de N no solo durante a decomposição de materiais orgânicos (NICOLARDOT et al., 2001). Para Allison (1966), materiais com valores de C/N entre 25 e 30 apresentam equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização. Usando esses valores como base, pode-se inferir que, para soja, a mineralização deverá superar a imobilização em comparação ao milho, resultando em aumento da disponibilidade de N no solo durante a decomposição das raízes.

Para distribuição da porcentagem da matéria seca das raízes (Figura 5.3), assim como, o C e N, os valores são os mesmos, devido ao C e N, serem porcentagens da matéria seca (Tabela 5.2). Para soja e milho, houve maior concentração das raízes no plantio direto que no sistema convencional na profundidade de 0-0,10 m. Normalmente encontra-se uma maior concentração das raízes nas primeiras camadas de solo no sistema convencional que no plantio direto, devido à fragmentação do solo por implementos de corte que aumentam a aeração (VIEIRA, 1981). Porém, outros autores, relataram que maior incidência de raízes de milho no plantio direto do que no plantio convencional nos primeiros centímetros de profundidade, ocorreram devido ao fato do plantio direto apresentar melhor perfil químico, principalmente em relação a pH e Ca⁺², por ocasião do manejo do calcário sem incorporação ao solo (LEITE et al., 2006).

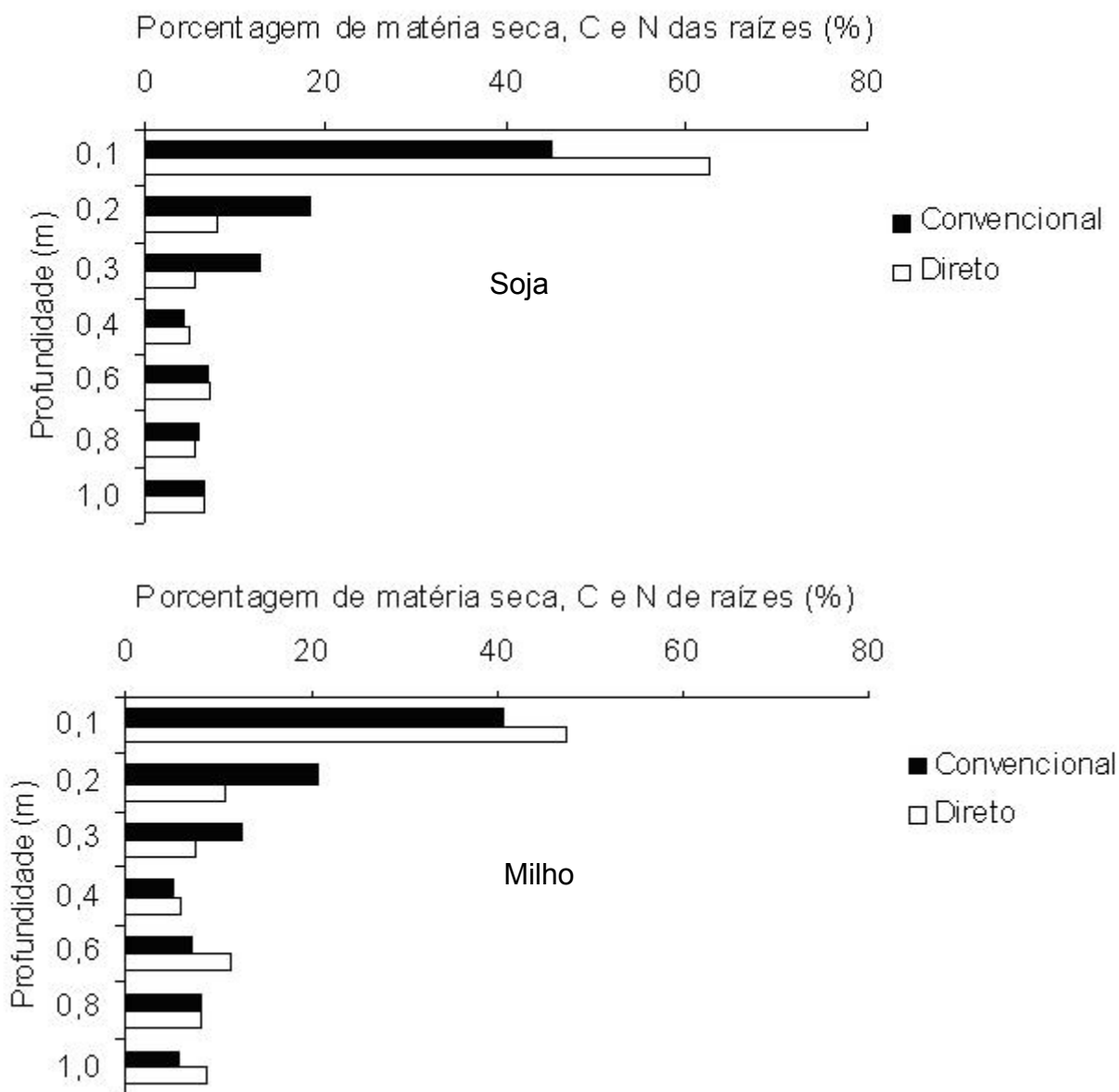


Figura 5.3 - Porcentagem da distribuição de matéria seca, carbono e nitrogênio para soja e milho no sistema convencional e direto.

Pode-se notar que a maioria das raízes está na profundidade de 0,0-0,1 m, com 45 e 62% para a soja no sistema convencional e direto, respectivamente; e 40 e 47% para o milho no sistema convencional e direto, respectivamente. A quantidade de

raízes nos dois sistemas e nas duas espécies diminui até as profundidade de 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m, estabilizando-se nas demais profundidades (Figura 5.3).

Para profundidade efetiva, onde se concentram 80% da matéria seca, C e N, não houve diferença entre os sistemas de manejo do solo para a soja e o milho (Tabela 5.3). Estes valores foram de 0,35 m para as raízes de soja nos dois tratamentos; e de 0,38 m no sistema convencional e 0,40 no plantio direto para o milho (Tabela 5.3). Apesar de ser relatada a importância das raízes em adicionar material orgânico em profundidade (CALEGARI, 2006), a maior parte do aporte de matéria seca, C e N das raízes, esteve nas primeiras profundidades. Ao considerarmos o aporte de C no solo, estes resultados correspondem ao trabalho de Chaves e Farias (2008), que ao considerar 1,0 m de profundidade, encontraram a maior concentração do C do solo, nas camadas superficiais, ocorrendo diminuição com a profundidade.

5.5 Conclusões

A distribuição, a quantidade e os aportes de matéria seca, carbono e nitrogênio de raízes de soja e milho não foram influenciados pelos sistemas de manejo do solo.

Independentemente do sistema de manejo do solo, 80% do aporte de matéria seca, carbono e nitrogênio de raízes de soja e milho esteve entre 0,35 a 0,40 m de profundidade.

5.6 Referências Bibliográficas

ALLISON, F. E. The fate of nitrogen applied to soils. **Advances in Agronomy**, New York, v.18, p.219-258, 1966.

BALESDENT, J.; BALABANE, M. Maize root-derived soil organic matter estimated by natural ^{13}C abundance. **Soil Biology and Biochemistry**, New York, v.24, n.2, p.97-101, 1992.

BALESDENT, J.; BALABANE, M. Major contribution of roots to soil carbon storage inferred from maize cultivated soils. **Soil Biology and Biochemistry**, New York, v.28, n.9, p.1261-1263, 1996.

BASSOI, L. H.; FANTE JÚNIOR, L.; JORGE, L. A. C.; CRESTANA, S.; REICHARDT, K. Distribuição do sistema radicular do milho em Terra Roxa Estruturada Latossólica: II. Comparação entre cultura irrigada e fertirrigada. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.51, n.3, p.541-548, 1994.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIM NETO, L.; FERNANDES, S. V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.53, n.1-2, p.101-109, 2000.

BAYER, C.; SPAGNOLLO, E.; WILDNER, L. P.; ERNANI, P. R.; ALBURQUEQUE, J. A. Incremento de carbono e nitrogênio num latossolo pelo uso de plantas estivas para cobertura do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.3, p.469-475, 2003.

BAZOT, S.; MIKOLA, J.; NGUYEN, C.; ROBIN, C. Defoliation-induced changes in carbon allocation and root soluble carbon concentration in field-grown *Lolium perenne* plants: do they affect carbon availability, microbes and animal trophic groups in soil? **Functional Ecology**, v.19, n.5, p.886-896, 2005.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlim: Springer – Verlag, 1979. 188p.

BRASIL, E. C.; ALVES, V. M. C.; MARRIEL, I. E.; PITTA, G. V. E.; CARVALHO, J. G. Matéria seca e acúmulo de nutrientes em genótipos de milho contrastantes quanto a aquisição de fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.3, p.704-712, 2007.

CALEGARI, A. **Seqüestro de carbono, atributos físicos e químicos em diferentes sistemas de manejo em um latossolo argiloso do Sul do Brasil**. 2006. 191f. Tese (Doutorado e Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

CARDOSO, E. G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J. L.; TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; GUIMARÃES, M. F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, p. 493-501, 2006.

CHAGAS, E.; ARAÚJO, A. P.; TEIXEIRA, M. G.; GUERRA, J. G. M. Decomposição e liberação de nitrogênio, fósforo e potássio de resíduos da cultura do feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.4, p.723-729, 2007.

CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Variabilidade espacial do estoque de carbono nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba: Solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.3, n.1, p.20-25, 2008.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; SOUZA DIAZ, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.703-709, 1999.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999. 412p.

HERZOG, R. L. S.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R. Produtividade de soja em semeadura direta influenciada por profundidade do sulcador de adubo e doses de resíduo em sistema irrigado e não irrigado. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.771-780, 2004.

HOKKA, V.; MIKOLA, J.; SETÄLÄ, H. Interactive effects of defoliation and an AM fungus on plants and soil organisms in experimental legume–grass communities. **Oikos**, v.106, n.1, p.73-84, 2004.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate change 2001: The scientific basis**. Cambridge, Cambridge University Press, 2001. 881p.

IVO, W. M. P. M.; MIELNICZUK, J. Influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.1, p.135-143, 1999.

JOHNSON, J. M. F.; ALLMARAS, R. R.; REICOSKY, D. C. Estimating source carbon from crop residues, roots and rhizodeposits using the national grain-yield database. **Agronomy Journal**, Madison, v.98, n.3, p.622-636, 2006.

JORGE, L. A. C.; RALISCH, R.; ABI SAAB, O. J. G.; MEDINA, C. C.; GUIMARÃES, M. F.; NEVES, C. S. V. J.; CRESTANA, S.; CINTRA, F. L. D.; BASSOI, L. H.; FERNANDES, S. B. V. Aquisição de imagens de raízes. In: JORGE, L. A. C. (Ed.). **Recomendações práticas para aquisição de imagens digitais analisadas através do SIARCS**. São Carlos: EMBRAPA/CNPDI, 1996. p.2-28. (Circular técnica, 1).

KLAR, A. E. **Irrigação: frequência e quantidade de aplicação**. São Paulo: Nobel, 1991. 156p.

KUNDU S., BHATTACHARYYA, R.; PRAKASH, V.; GHOSH, B.N.; GUPTA, H.S. , Carbon sequestration and relationship between carbon addition and storage under rainfed soybean–wheat rotation in a sandy loam soil of the Indian Himalayas. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.92, n.1, p.87-95, 2007.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.1, p.175-187, 2004.

MACEDO, M. C. M.; MIRANDA, C. H. B. **Fixação de nitrogênio pela soja em sistemas de cultivo contínuo e rotacionado com pecuária nos cerrados**. Campo Grande: EMBRAPA gado de corte, 2001. 29p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 14).

MACHADO, C. T. T.; FURLANI, A. M. C. Root phosphatase activity, plant growth and phosphorus accumulation of maize genotypes. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.61, n.2, p.216-223, 2004.

MAI, M. E. M.; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; SILVEIRA, M. J.; PAVINATO, A.; PAVINATO, P. S. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia-preta/milho no sistema plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.38, n.1, p.125-131, 2003.

MERTEN, G. H.; MIELNICZUK, J. Distribuição de sistema radicular e dos nutrientes em Latossolo Roxo sob dois sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.3, p.369-374, 1991.

NICOLARDOT, B.; RECOUS, S.; MARY, B. Simulation of C and N mineralisation during crop residue decomposition: A simple dynamic model based on the C/N ratio of the residues. **Plant and Soil**, Dordrech, v.228, n.1, p.83-103, 2001.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Depto. de Solos da UFRGS, 1995. 174p. (Boletim técnico de Solos, 5).

VENZKE FILHO, S. P.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; FANTE JÚNIOR, L.; SIQUEIRA NETO, M.; CERRI, C. C. Root systems and soil microbial biomass under no-tillage system. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.61, n.5, p.529-537, 2004.

VIEIRA, M. J. Propriedades físicas do solo. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Plantio Direto no estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1981. p.19-32. (Circular técnica, 23).

6 ARTIGO D: APORTE DE MATÉRIA SECA, CARBONO E NITROGÊNIO DA PARTE AÉREA E DE RAÍZES DE MILHO E PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO EM SUCESSÃO DE CULTURAS

6.1 Resumo

A utilização de sistemas conservacionistas como o plantio direto, incluindo plantas de cobertura do solo, pode contribuir para manutenção de carbono e nitrogênio do solo. O objetivo do trabalho foi avaliar a distribuição do sistema radicular e o aporte de matéria seca, carbono e nitrogênio pela parte aérea e por raízes de milho e de plantas de cobertura do solo em sistema de rotação. Foram abertas trincheiras e coletados anéis para amostragem das raízes em sete profundidades (0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40; 0,40-0,60; 0,60-0,80 e 0,80-1,00 m). Em amostras de raízes realizou-se a determinação de carbono e nitrogênio. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso e os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey a 5%. Os aportes de matéria seca, carbono e nitrogênio da parte aérea do milho e comprimento de raízes não foram influenciados pelas plantas de cobertura do solo. O sistema de sucessão de culturas com aveia + ervilhaca no inverno e feijão-de-porco no verão aumentam o aporte de matéria seca, carbono e nitrogênio das raízes do milho. O sistema radicular da mucuna cinza tem menor profundidade efetiva de comprimento de raízes, matéria seca, carbono e nitrogênio do que a do feijão-de-porco, milho e crotalária juncea. O aporte de matéria seca e carbono da parte aérea foi maior para o milho do que a da mucuna cinza e o aporte de nitrogênio da parte aérea foi maior para o feijão-de-porco do que o do milho e da mucuna cinza. Os sistemas radiculares de crotalária juncea e mucuna cinza contribuíram com maior aporte de carbono e nitrogênio ao solo, respectivamente, do que o sistema radicular do milho.

Palavras-chave: manejo do solo, raiz, *Zea mays*, adubo verde

6.1 Abstract

The use of soil conservation systems as the no-tillage and the use of cover crops contribute to the maintenance of soil carbon and nitrogen contents. The aim of this work was to evaluate the distribution of the roots system and the input of dry matter, carbon and nitrogen of corn and cover crops in a rotation system. Trenches were open and rings were collected for sampling of the roots in seven depths (0-0.10; 0.10-0.20; 0.20-0.30; 0.30-0.40; 0.40-0.60; 0.60-0.80 and 0.80-1.00 m). In samples of roots it was made the determination of carbon and nitrogen content. The statistical design was randomized blocks and results were submitted to ANOVA and Tukey test at 5%. The length of roots and input of dry matter, carbon and nitrogen of the above ground part of the maize had not been influenced by the cover crops in the previous season. The crop successions system with oat + vetch in the winter and jack bean in the summer fall increase input of dry matter, carbon and nitrogen the root corn. The root system of gray mucuna has minor depth effective of length of roots, dry matter, carbon and nitrogen to the jack bean, millet and crotalaria juncea. The input of dry matter and carbon from the above ground part for the millet was higher than that of gray mucuna and the input of nitrogen from the above ground part was higher for the jack bean than the millet and gray mucuna. The roots of crotalaria juncea and gray mucuna had greater input of carbon and nitrogen into the soil, respectively, than millet roots.

Key words: soil management, root, *Zea mays*, green manure

6.2 Introdução

Os teores de carbono e nitrogênio no solo influenciam diretamente na sua fertilidade. Nos últimos anos, o C orgânico do solo vem sendo sistematicamente quantificado, pela alta capacidade que o solo tem, por meio do seu manejo, de evitar que este seja transferido para a atmosfera ou que permaneça retido no material do solo, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas (WATSON et al., 2000).

O uso de sistemas conservacionistas, que englobam plantas de cobertura do solo, rotação de culturas e plantio direto, é capaz de elevar ou ao menos

manter os teores de matéria orgânica nas camadas superficiais do solo, reduzir as perdas de nutrientes via imobilização por microrganismos e liberar gradualmente nutrientes (AMADO et al., 1999). Isso depende do tipo e qualidade do material adicionado ao solo, da seqüência de culturas adotada, do tipo de manejo do solo e do tempo de adoção dessas práticas (MENGEL, 1996). Os resíduos liberam C, N e outros componentes simples durante o processo de decomposição, dos quais parte retorna à atmosfera na forma de gás (CO_2 , NH_3), parte é imobilizada pelos microrganismos decompositores, pequena parte permanece na forma prontamente disponível para as plantas e o restante é perdido por lixiviação ou direcionado à produção de substâncias húmicas (STEVENSON, 1985).

Normalmente, quando é realizada a quantificação do aporte de material vegetal produzido pelas culturas, são considerados apenas os restos culturais provenientes da parte aérea, sem levar em consideração a contribuição do sistema radicular (KIEHL, 1985). A relevância da contribuição das raízes em adicionar matéria orgânica, carbono e nitrogênio ao solo tem sido mencionada por vários autores (MIELNICZUK, 1999; CALEGARI, 2006b); porém, pouco tem sido estudado sobre o potencial das raízes em adicionar estes compostos ao solo e sua proporção em relação à parte aérea das plantas. Devido às dificuldades operacionais encontradas na avaliação das raízes, alguns autores consideram que o carbono e o nitrogênio contido nas raízes equivalem a 30% do encontrado na parte aérea (LOVATO et al., 2004).

Derpsch et al. (1985), ao avaliarem as raízes de nove espécies de cobertura do solo, encontraram média de $0,721 \text{ Mg ha}^{-1}$ de carbono e $30,78 \text{ kg ha}^{-1}$ de nitrogênio, ao trabalharem com colunas de solo de 0,10 m de largura e 0,10 m de comprimento, até 0,9 m de profundidade. Venzke Filho et al. (2004), ao trabalharem até 0,5 m de profundidade, obtiveram $1,324 \text{ Mg ha}^{-1}$ de carbono e 58 kg ha^{-1} de nitrogênio nas raízes do milho.

O objetivo do trabalho foi avaliar a distribuição do sistema radicular e os aportes de matéria seca, carbono e nitrogênio da parte aérea e raízes do milho e de plantas de cobertura do solo de verão, em sistema de rotação de culturas.

6.3 Material e Métodos

O trabalho foi realizado na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (RS), cujas coordenadas geográficas são: latitude 29°41' Sul e longitude 53°48' Oeste, com 95 m de altitude. O solo é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico (EMBRAPA, 1999), com textura superficial franco-arenosa (109 g kg⁻¹ de argila, 244 g kg⁻¹ de silte e 648 g kg⁻¹ de areia) e subsuperficial franco-argilosa (295 g kg⁻¹ de argila, 284 g kg⁻¹ de silte e 421 g kg⁻¹ de areia) (ALBUQUERQUE; REINERT, 2001). O clima da região é subtropical úmido (Cfa2), com precipitação e temperatura médias anuais de 1561 mm e 19,3 °C, respectivamente.

O ensaio foi conduzido em sistema de plantio direto desde 1998 com três semeaduras anuais, que constavam de plantas de cobertura de solo (fevereiro a maio): 1) pousio, com vegetação espontânea com predominância de picão preto (*Bidens subalternans* DC.), grama-seda (*Cynodon dactylon* L.), falsa-serralha (*Emilia sonchifolia* (L) DC) e poaia (*Richardia brasiliensis*); 2) feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.); 3) mucuna cinza (*Stizolobium niveum* Kuntze); 4) crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.); e 5) milho (*Pennisetum americanum*). No inverno (maio a setembro), o experimento é dividido com a semeadura de duas plantas de cobertura do solo: a) consórcio de aveia (*Avena stringosa*) + ervilhaca (*Vicia sativa*); e nabo forrageiro (*Raphanus sativus*). No verão (setembro a março) é cultivado o milho (*Zea mays*) como cultura comercial (Tabela 6.1).

Tabela 6.1 - Tratamentos utilizados no experimento. Santa Maria-RS, 2006.

Tratamentos	Períodos			Setembro a março
	Fevereiro a maio	Maio a setembro		
		Experimento (a)	Experimento (b)	
1	Pousio	Nabo forrageiro	Aveia + ervilhaca	Milho
2	Feijão-de-porco	Nabo forrageiro	Aveia + ervilhaca	Milho
3	Mucuna cinza	Nabo forrageiro	Aveia + ervilhaca	Milho
4	Crotalária juncea	Nabo forrageiro	Aveia + ervilhaca	Milho
5	Milheto	Nabo forrageiro	Aveia + ervilhaca	Milho

As plantas de cobertura de solo foram semeadas manualmente entre as linhas do milho, que estava na fase de enchimento de grãos. O espaçamento utilizado foi de 0,45 m, com 5, 5, 26 e 100 sementes por metro linear, respectivamente para feijão-de-porco, mucuna cinza, crotalária juncea e milheto. As plantas de cobertura de solo foram cultivadas sem adubação química e manejadas com rolo-faca no estágio de pleno florescimento, antes da semeadura das culturas de inverno.

No inverno, a semeadura do consórcio de aveia + ervilhaca foi realizada a lanço com 24 kg ha⁻¹ para aveia + 56 kg ha⁻¹ para ervilhaca; e para o nabo forrageiro, também semeado a lanço com 16 kg ha⁻¹, ambos, sem adição de adubação química. As plantas de cobertura de solo de inverno foram manejadas com rolo-faca no estágio de pleno florescimento, antes da semeadura do milho, híbrido Pioneer 32R21, cultivado no espaçamento de 0,9 m entrelinhas com 5 plantas por metro linear, que recebeu 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 70 kg ha⁻¹ de K₂O, sem adição de N.

Foram realizadas duas avaliações, com as espécies no estágio de pleno florescimento: 1) milho, em janeiro de 2006, que sucedeu no inverno a: a) consórcio de aveia + ervilhaca; e b) nabo forrageiro e quatro plantas de cobertura de solo de verão: pousio, feijão-de-porco, mucuna cinza, e crotalária juncea; 2) as plantas de cobertura de solo: milheto; feijão-de-porco, mucuna cinza e crotalária juncea, em maio de 2006, que sucederam a aveia + ervilhaca no inverno.

Na amostragem das raízes, foi utilizado o método do trado modificado, com coleta por meio de anéis volumétricos (BÖHM, 1979). Para isso, foram abertas 6

trincheiras por cultura avaliada, perpendicularmente à linha de plantio, com largura de 0,9 m, comprimento e profundidade de 1 m. Na parede das trincheiras foram cravados anéis de ferro de 0,105 m de diâmetro por 0,10 m de altura, com volume de $8,65 \times 10^{-4} \text{ m}^3$, com o auxílio de um esticador hidráulico, em sete profundidades (0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40; 0,40-0,60; 0,60-0,80 e 0,80-1,00 m) e em dois locais em relação à planta (linha e entrelinha de plantio).

A separação das raízes do solo de cada anel, foi realizada com auxílio de jatos de água sobre peneira com malha de 1 mm. As raízes foram submetidas à leitura ótica com scanner e analisadas pelo programa SIARCS 3.0[®] (JORGE et al., 1996), para obtenção do comprimento. Os dados de comprimento das raízes foram expressos em relação a cada profundidade coletada, em comprimento de raízes total até 1,0 m de profundidade e em profundidade efetiva, até onde se concentram 80% das raízes (KLAR, 1991).

As raízes foram posteriormente levadas à estufa a 65 °C por 48 horas, para determinação da matéria seca. Para isso, foram feitas amostras compostas das raízes, sendo retiradas quatro subamostras por espécie, para determinação de carbono e nitrogênio (TEDESCO et al., 1995). A partir dos dados obtidos, foi feita relação entre o volume do anel ($8,65 \times 10^{-4} \text{ m}^3$) e a área do terreno (ha), determinando-se o comprimento de raízes (km ha^{-1}) e os conteúdos de matéria seca, carbono (Mg ha^{-1}) e nitrogênio (kg ha^{-1}).

Para avaliação dos resíduos vegetais da parte aérea, foram coletadas quatro plantas de milho no estágio de maturação fisiológica. Para as plantas de cobertura do solo, foram usados quatro quadros de 0,7 X 0,7 m, após serem roçadas. A matéria seca foi determinada em estufa a 65 °C por 48 horas; para o carbono, foi utilizado o teor médio de 40% deste elemento na matéria seca (LOVATO, 2001); e o nitrogênio foi determinado segundo Tedesco et al. (1995). A partir dos resultados de matéria seca, C e N obtidos para parte aérea e raízes, calculou-se as relações entre essas variáveis. Foram obtidos dados diários de temperatura máxima, média e mínima, na estação meteorológica da UFSM-RS.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

6.4 Resultados e Discussão

6.4.1 Sistema radicular e parte aérea de milho

O comprimento de raízes do milho, tanto em sucessão a aveia + ervilhaca quanto a nabo forrageiro, não se diferenciou entre os tratamentos pousio, feijão-de-porco, mucuna cinza e crotalária juncea, em todas as profundidades avaliadas (Figura 6.1ab). Esses resultados diferem dos de Silva e Rosolem (2002), que concluíram que os cultivos anteriores com aveia-preta, guandu e milheto favoreceram o crescimento radicular das culturas posteriores. Segundo Dexter (1991), o cultivo de espécies com sistema radicular vigoroso e profundo, pode criar melhores condições ao desenvolvimento de raízes das culturas subseqüentes, devido a criação de canais (bioporos) deixados após a decomposição das raízes, o que não foi constatado no presente trabalho.

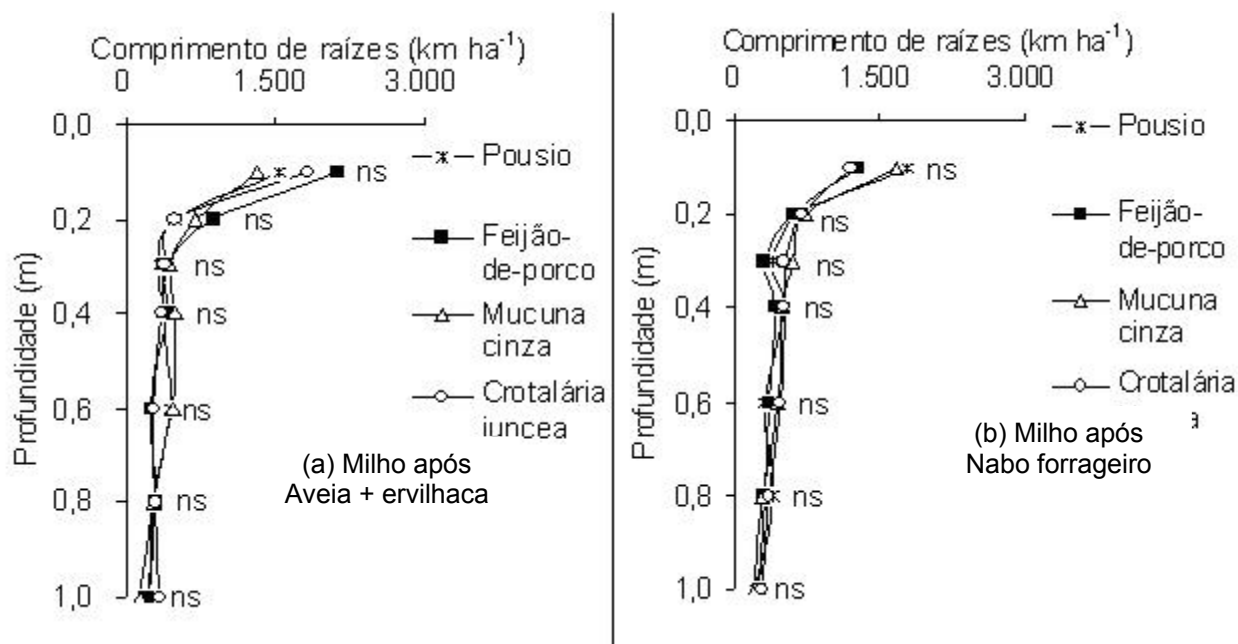


Figura 6.1 – Comprimento das raízes do milho, em sucessão a plantas de cobertura do solo e aveia + ervilhaca (a) e a nabo forrageiro (b) no inverno. Santa Maria-RS, 2006. Ns: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Para o comprimento total de raízes e profundidade efetiva do milho, tanto em sucessão a aveia + ervilhaca quanto após nabo forrageiro, também não foram encontradas diferenças entre os tratamentos (Tabela 6.2). As profundidades efetivas variaram de 0,44 a 0,55 m na sucessão a nabo forrageiro e de 0,45 a 0,54 m na sucessão a aveia + ervilhaca. Estes valores de profundidade efetiva correspondem aos encontrados por Bassoi et al. (1994), que, ao avaliarem o perfil do solo até uma profundidade de 1 m, encontraram cerca de 70% do comprimento de raízes de milho, a 0,4 m de profundidade numa Terra Roxa Estruturada.

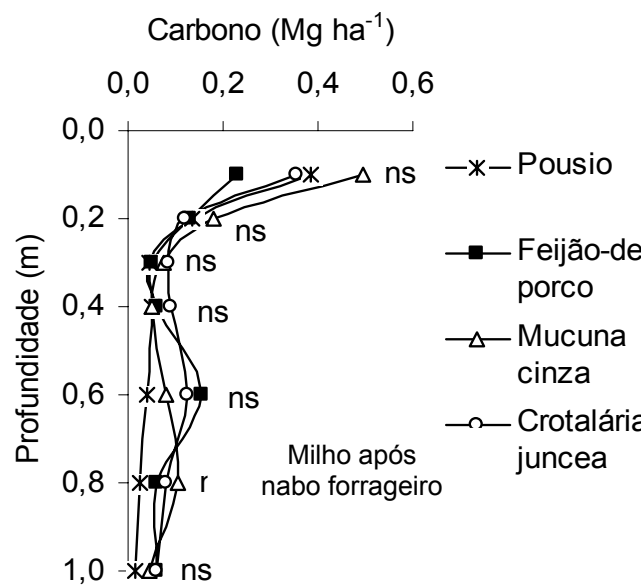
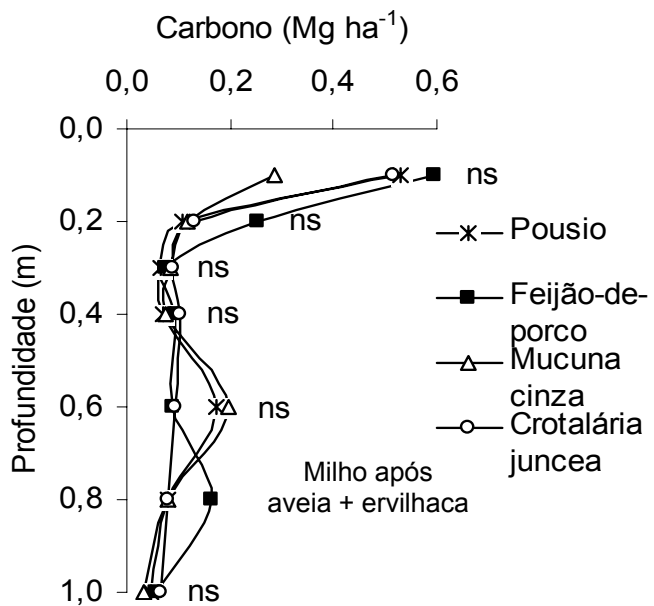
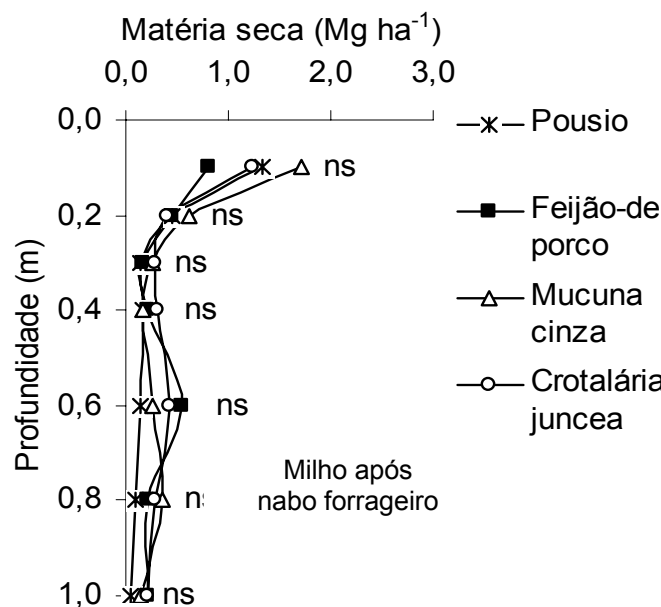
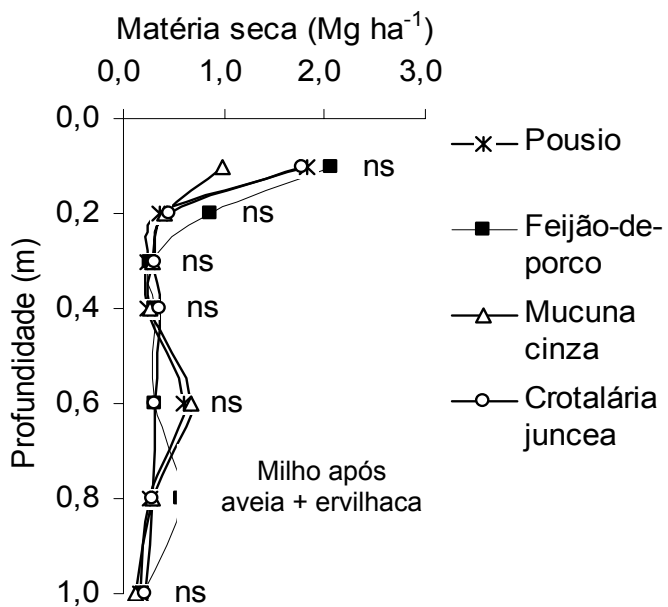
Tabela 6.2 – Comprimento total e profundidade efetiva do comprimento de raízes, e matéria seca, carbono e nitrogênio das raízes de milho em sucessão a plantas de cobertura do solo e o consórcio de aveia + ervilhaca e nabo forrageiro no inverno, considerando o total das profundidades. Santa Maria-RS, 2006.

Variáveis	Pousio	Feijão-de-porco	Mucuna cinza	Crotalária juncea	CV (%)
		Milho após aveia + ervilhaca			
Comprimento total (km ha ⁻¹)	3.687 a*	4.580 a	3.788 a	3.965 a	47,06
Profundidade efetiva do comprimento de raízes (m)	0,49 a	0,50 a	0,54 a	0,45 a	28,11
Profundidade efetiva da matéria seca, C e N (m)	0,40 a	0,40 a	0,55 a	0,45 a	36,80
		Milho após nabo forrageiro			
Comprimento total (km ha ⁻¹)	4.327 a	3.589 a	4.502 a	4.050 a	25,53
Profundidade efetiva do comprimento de raízes (m)	0,44 a	0,55 a	0,47 a	0,53 a	30,12
Profundidade efetiva da matéria seca, C e N (m)	0,43 b	0,56 a	0,45 a	0,53 a	31,15

*Médias seguidas da mesma letra na linha, não diferem entre si, pelo teste de tukey a 5% de probabilidade de erro.

Para profundidade efetiva da matéria seca de raízes do milho, assim como C e N, os valores são os mesmos, devido ao C e N, serem porcentagens da matéria seca (Tabela 6.6), podendo assim, serem expressos como um único valor (Tabela 6.2). Não houve diferença para profundidade efetiva da matéria seca, C e N das raízes de milho, após a sucessão de aveia + ervilhaca e nabo forrageiro no inverno, para as plantas de cobertura de solo avaliadas. As profundidades efetivas de matéria seca, C e N, variaram entre 0,43 e 0,56 m, correspondentes às profundidades efetivas do comprimento radicular (Tabela 6.2).

Ao avaliar a matéria seca, carbono e nitrogênio das raízes do milho, em cada profundidade, também não houve diferença entre os tratamentos para a sucessão de aveia + ervilhaca e nabo forrageiro, (Figura 6.2).



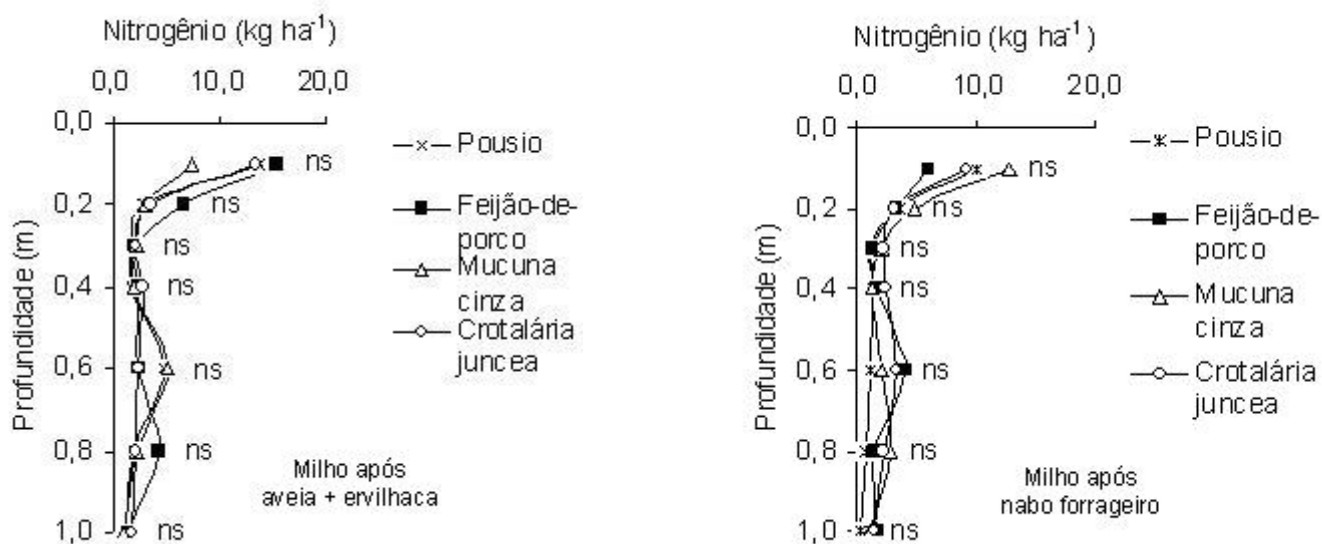


Figura 6.2 – Aporte de matéria seca, carbono e nitrogênio das raízes do milho, em sucessão a plantas de cobertura do solo e consórcio de aveia + ervilhaca e a nabo forrageiro no inverno. Santa Maria-RS, 2006. Ns: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Para matéria seca, carbono e nitrogênio da parte aérea do milho, não houve diferença entre as plantas de cobertura de solo de inverno, quanto às plantas de cobertura de solo de verão (Tabela 6.3). Os valores de matéria seca da parte aérea do milho variaram de 5,48 a 6,23 Mg ha⁻¹ após aveia + ervilhaca e de 4,17 a 5,22 Mg ha⁻¹ após nabo forrageiro. Estes valores ficaram próximos da variação de 5,2 a 7,9 Mg ha⁻¹ de matéria seca encontrada por Mai et al. (2003).

Os valores do aporte de carbono da parte aérea do milho variaram de 2,19 a 2,49 Mg ha⁻¹ após aveia + ervilhaca, e de 1,67 a 2,08 Mg ha⁻¹ após nabo forrageiro (Tabela 6.3). Estes resultados corroboram com os encontrados por Lovato et al. (2004), que, ao avaliarem vários sistemas de rotações de culturas envolvendo o milho e plantas de cobertura do solo de inverno, determinaram que a parte aérea do milho, incluindo a produção de grãos, contribui no aporte de carbono ao solo com 1,75 a 3,41 Mg ha⁻¹.

Com relação ao nitrogênio, os valores ficaram de 20,50 a 24,75 kg ha⁻¹ após aveia + ervilhaca, e de 12,50 a 18,00 Mg ha⁻¹ após nabo forrageiro (Tabela 6.3). Estes valores ficaram abaixo dos encontrados por Giacomini et al. (2004), que, ao avaliarem plantas de milho no estágio de pleno florescimento, sem a adição de N e após o cultivo de plantas de cobertura de inverno, encontraram valores médios de 40 a 80 kg ha⁻¹ de N no ano agrícola de 98/99 e de 30 a 60 kg ha⁻¹ de N em 99/00.

Para as raízes, ao se considerar um metro de profundidade, a matéria seca, o carbono e o nitrogênio do milho, na sucessão de aveia + ervilhaca, foi superior a sucessão de nabo forrageiro, somente no tratamento feijão-de-porco (Tabela 6.3). Este resultado corrobora com o encontrado por Giacomini et al. (2003), que concluíram que o fato do consórcio entre espécies de plantas de cobertura de solo (poaceas e fabaceas), além de proporcionar produção de MS, tem sua relação C/N intermediária àquela das espécies em culturas isoladas. Assim, obtém-se taxa de decomposição de resíduos culturais menor, para o consórcio de aveia + ervilhaca que para o nabo forrageiro, proporcionando cobertura de solo por mais tempo e sincronia entre fornecimento e demanda de N pelas culturas comerciais.

Ao considerar as plantas de cobertura de solo de verão, a matéria seca, o carbono e o nitrogênio, das raízes de milho, no tratamento feijão-de-porco foram

superiores ao tratamento mucuna cinza, sem diferença de pousio e de crotalária juncea. O crescimento das raízes de milho na sucessão com feijão-de-porco pode ser atribuída à capacidade desta espécie em fornecer N (Tabela 6.5).

A matéria seca das raízes de milho apresenta valores que variaram de 3,02 a 4,59 Mg ha⁻¹ após aveia + ervilhaca e de 2,40 a 3,56 Mg ha⁻¹ após nabo forrageiro. As raízes de milho apresentavam aporte de carbono de 0,87 a 1,32 Mg ha⁻¹ na sucessão a aveia + ervilhaca, e de 0,69 a 1,03 Mg ha⁻¹ na sucessão a nabo forrageiro (Tabela 6.3). Venzke Filho et al. (2004), ao trabalharem num Latossolo Vermelho Escuro com 22 anos de plantio direto, a 0,5 m de profundidade, obtiveram 1,32 Mg ha⁻¹ de carbono nas raízes do milho.

Estes dados de carbono obtidos foram calculados com base na matéria seca de raízes, mas um fator importante a ser considerado no aporte do carbono adicionado pelas culturas ao solo é a contribuição dos rizodepósitos e exsudatos radiculares, pois, quando se considera apenas os dados de biomassa radicular, subestima-se o total de carbono do solo proveniente das raízes. Segundo Johnson et al. (2006), a rizodeposição representa 2,5 a 6 vezes o carbono da biomassa das raízes. Entretanto, a análise dos rizodepósitos é de difícil execução prática em razão de sua característica altamente lábil, como componente do C orgânico do solo que age como substrato de microrganismos, e, portanto, muito dinâmico no solo.

Tabela 6.3 – Matéria seca (MS), carbono (C) e nitrogênio (N) na parte aérea, sistema radicular e relação PA/SR do milho em sucessão a plantas de cobertura de solo e consórcio de aveia + ervilhaca e a nabo forrageiro no inverno. Santa Maria-RS, 2006.

Plantas de verão	Plantas de inverno					
	Aveia + ervilhaca	Nabo forrageiro	Aveia + ervilhaca	Nabo forrageiro	Aveia + ervilhaca	Nabo forrageiro
	MS Mg ha ⁻¹	MS Mg ha ⁻¹	C Mg ha ⁻¹	C Mg ha ⁻¹	N kg ha ⁻¹	N kg ha ⁻¹
Parte aérea do milho						
Pousio	5,48 Aa	4,17 Aa	5,48 Aa	4,17 Aa	20,50 Aa	12,50 Aa
Feijão-de-porco	5,79 Aa	4,98 Aa	5,79 Aa	4,98 Aa	24,75 Aa	16,75 Aa
Mucuna cinza	5,97 Aa	4,47 Aa	5,97 Aa	4,47 Aa	23,75 Aa	14,00 Aa
Crotalária juncea	6,23 Aa	5,22 Aa	6,23 Aa	5,22 Aa	21,50 Aa	18,00 Aa
CV	22,15		28,18		22,13	
Sistema radicular do milho						
Pousio	3,71 Aab	2,40 Aa	1,07 Aab	0,69 Aa	27,84 Aab	18,00 Aa
Feijão-de-porco	4,59 Aa	2,59 Ba	1,32 Aa	0,75 Ba	34,43 Aa	19,48 Ba
Mucuna cinza	3,02 Ab	3,56 Aa	0,87 Ab	1,03 Aa	22,67 Ab	26,71 Aa
Crotalária juncea	3,74 Aab	3,17 Aa	1,08 Aab	0,92 Aa	28,07 Aab	23,76 Aa
CV	34,29		34,22		34,31	
Relação PA/SR						
Pousio	1,48	1,74	2,05	2,42	0,74	0,69
Feijão-de-porco	1,26	1,92	1,75	2,65	0,72	0,86
Mucuna cinza	1,98	1,26	2,74	1,73	1,05	0,52
Crotalária juncea	1,67	1,65	2,31	2,27	0,77	0,76

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Para o aporte de nitrogênio pelas raízes de milho, os valores ficaram entre 22,67 e 34,43 kg ha⁻¹ na sucessão de aveia + ervilhaca, e entre 18 e 26,71 kg ha⁻¹ na sucessão com nabo forrageiro (Tabela 6.3). Estes valores de nitrogênio foram

inferiores aos encontrados por Venzke Filho et al. (2004), que, ao trabalharem num Latossolo Vermelho Escuro com 22 anos de plantio direto, a 0,5 m de profundidade, obtiveram 58 kg ha^{-1} de nitrogênio para raízes do milho.

Ao se relacionar à matéria seca da parte aérea com a do sistema radicular (PA/SR), foi encontrada uma variação desta relação de 1,26 a 1,98 para o milho em sucessão à aveia + ervilhaca, e de 1,26 a 1,92 na sucessão com nabo forrageiro (Tabela 6.3). Estes resultados correspondem aos encontrados por Brasil et al. (2007), que, ao avaliarem a matéria seca de oito genótipos de milho em sistema de hidroponia, obtiveram relação PA/SR de 1,78. Machado e Furlani (2004), em trabalho semelhante, obtiveram relação PA/SR de 2,78 ao avaliarem seis variedades de milho.

A relação PA/SR para o carbono do milho variou de 1,75 a 2,74 Mg ha^{-1} para sucessão aveia + ervilhaca, e de 1,73 a 2,65 Mg ha^{-1} para sucessão de nabo forrageiro (Tabela 6.3). Os valores de nitrogênio na relação PA/SR variaram de 0,74 a 1,05 para sucessão de aveia + ervilhaca, e de 0,52 a 0,86 na sucessão com nabo forrageiro (Tabela 6.3). Ou seja, ao contrário da matéria seca e do carbono, a maior contribuição no aporte de nitrogênio ao solo pelo milho foi pelas raízes e não pela parte aérea.

6.4.2 Sistema radicular e parte aérea de plantas de cobertura do solo

Para as plantas de cobertura do solo, não foram constatadas diferenças entre as espécies para o comprimento de raízes em todas as profundidades avaliadas (Figura 6.3a) e para o total de raízes, considerando 1 m de profundidade (Tabela 6.4). Porém, para profundidade efetiva dos sistemas radiculares, nota-se que a crotalária juncea (0,4 m) foi superior à mucuna cinza (0,26 m), não se diferenciando de milheto (0,39 m) e feijão-de-porco (0,30 m) (Tabela 6.4). Contudo, Alvarenga et al. (1995) ao caracterizarem as raízes de algumas espécies de plantas de cobertura a campo, observaram distribuição semelhante entre raízes de crotalária juncea e mucuna preta, que apresentaram comprimento da raiz pivotante até 0,50 m.

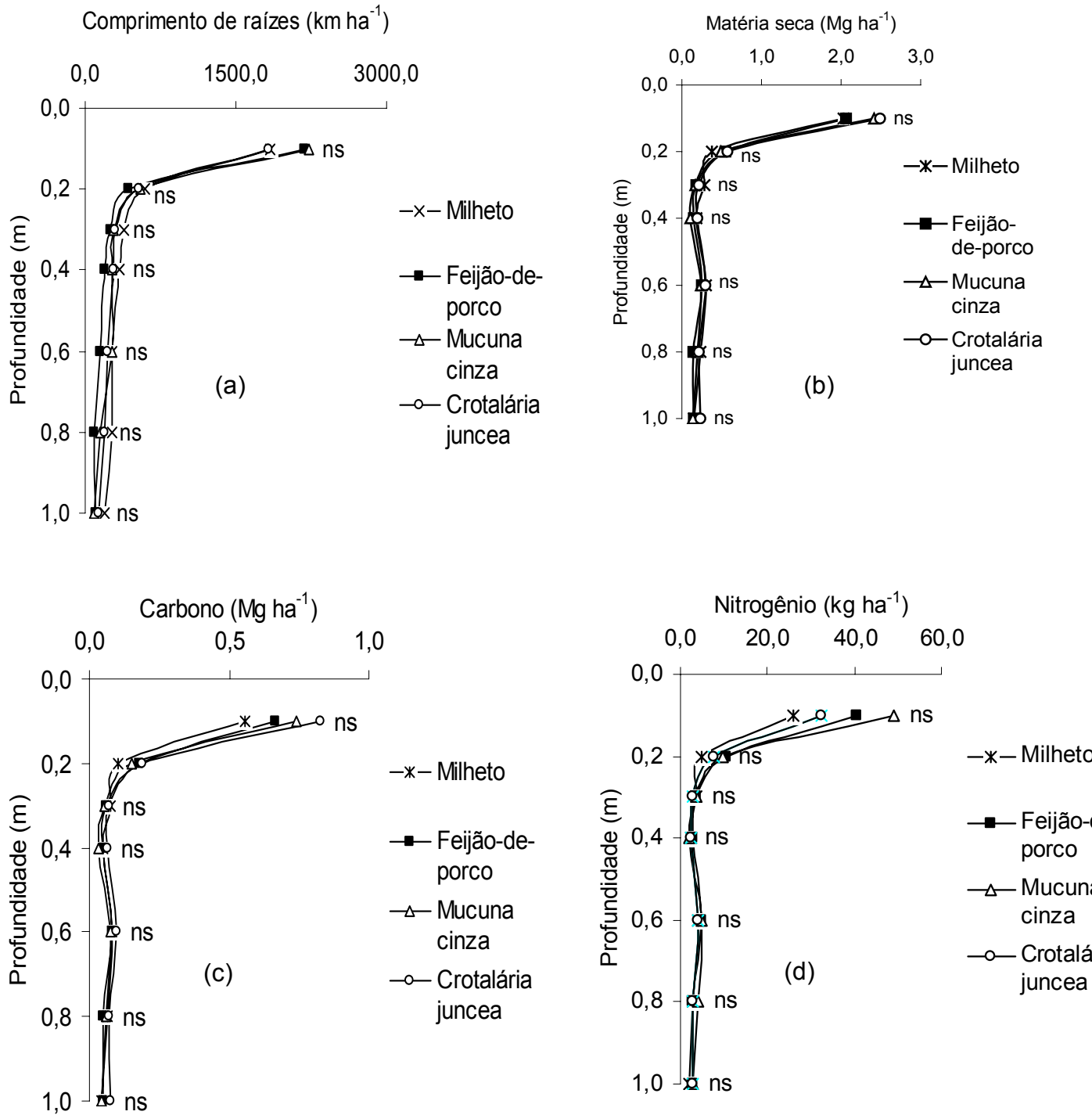


Figura 6.3 - Comprimento (a), matéria seca (b), carbono (c) e nitrogênio (d) das raízes de plantas de cobertura de solo. Santa Maria-RS, 2006. Ns: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 6.4 - Comprimento total e profundidade efetiva do comprimento de raízes e matéria seca, carbono e nitrogênio das raízes das plantas de cobertura de solo. Santa Maria-RS, 2006.

Variáveis	Milheto	Feijão-de-porco	Mucuna cinza	Crotalária juncea	CV (%)
Comprimento total (km ha ⁻¹)	3.873 a*	3.380 a	3.819 a	3.507 a	20,78
Profundidade efetiva do comprimento de raízes (m)	0,39 ab	0,30 ab	0,26 b	0,40 a	18,13
Profundidade efetiva da matéria seca, C e N (m)	0,38 a	0,30 ab	0,25 b	0,35 a	16,15

*Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Para matéria seca da parte aérea das plantas de cobertura do solo, o milho foi significativamente superior ao feijão-de-porco, que superou a mucuna cinza; enquanto a crotalária juncea foi maior apenas que a mucuna cinza; não se diferenciando de milho e feijão-de-porco (Tabela 6.5). O baixo desempenho na produção de matéria seca da mucuna cinza comparada com a crotalária juncea e o feijão-de-porco também foi encontrado por Vendruscolo et al. (2000), ao avaliarem plantas de cobertura do solo em semeadura intercalar com milho no período de fevereiro a abril, em experimento também realizado em Santa Maria-RS.

A matéria seca da parte aérea variou entre 3,58 e 0,89 Mg ha⁻¹, valores inferiores aos referidos na literatura, de 8 a 15 Mg ha⁻¹ no Paraná e Minas Gerais (CALEGARI, 2006a; PEREIRA FILHO et al., 2003). Entretanto, Vendruscolo et al. (2000) obtiveram uma média de 3,753 Mg ha⁻¹ para crotalária juncea, feijão-de-porco e mucuna cinza, ao avaliarem estas plantas de cobertura do solo em condições semelhantes às do presente experimento. Este baixo rendimento de produção de matéria seca se deve ao fato da ocorrência de baixas temperaturas no início do outono, entre abril e maio (Figura 6.4), o que ocasionou injúrias, principalmente, na mucuna cinza e no feijão-de-porco. Isso fez com que essas duas espécies não atingissem o florescimento, enquanto que o milho e a crotalária juncea conseguiram completar o ciclo. Esta observação corresponde ao relato de Monegat et al. (1991), segundo os quais a mucuna e o feijão-de-porco são mais susceptíveis às baixas temperaturas quando comparados à crotalária juncea. Esse fato é importante a ser considerado na escolha das espécies a serem usadas como planta de cobertura para determinada região.

A matéria seca das raízes das plantas de cobertura do solo não apresentou diferenças entre as espécies em nenhuma das profundidades avaliadas (Figura 6.3b). Para matéria seca total das raízes, também não foram encontradas diferenças entre as espécies (Tabela 6.5). Os valores de matéria seca total das raízes variaram de 3,49 a 4,21 Mg ha⁻¹. A relação PA/SR foi de 1,01 para o milho, sendo a única espécie a contribuir mais pela parte aérea do que pelo sistema radicular no aporte de matéria seca ao solo. O feijão-de-porco e a crotalária juncea tiveram relações PA/SR de 0,64 e 0,63, respectivamente, ficando a mucuna cinza como a cultura que teve maior contribuição do sistema radicular em relação à parte aérea, com relação PA/SR de 0,24 (Tabela 6.5). Isso se deve às injúrias causadas pelo frio, já relatadas, que ocorreram à parte aérea.

Para profundidade efetiva da matéria seca, C e N de raízes, o milho e a crotalária juncea foram superiores a mucuna cinza, não se diferenciando do feijão-de-porco (Tabela 6.4). Essa concentração mais superficial da matéria seca, C e N da mucuna cinza corresponde à distribuição do comprimento de raízes (Tabela 6.4).

Apesar de ser relatada a importância das raízes de plantas de cobertura de solo em adicionar material orgânico em profundidade (CALEGARI, 2006b); 80% do aporte de matéria seca, C e N das raízes, esteve entre 0,25 e 0,38 m. Ao considerarmos o aporte de C no solo, estes resultados correspondem ao trabalho de Chaves e Farias (2008), que ao avaliarem um solo até 1,0 m de profundidade, encontraram a maior concentração do C até 0,30 m, ocorrendo a diminuição com a profundidade.

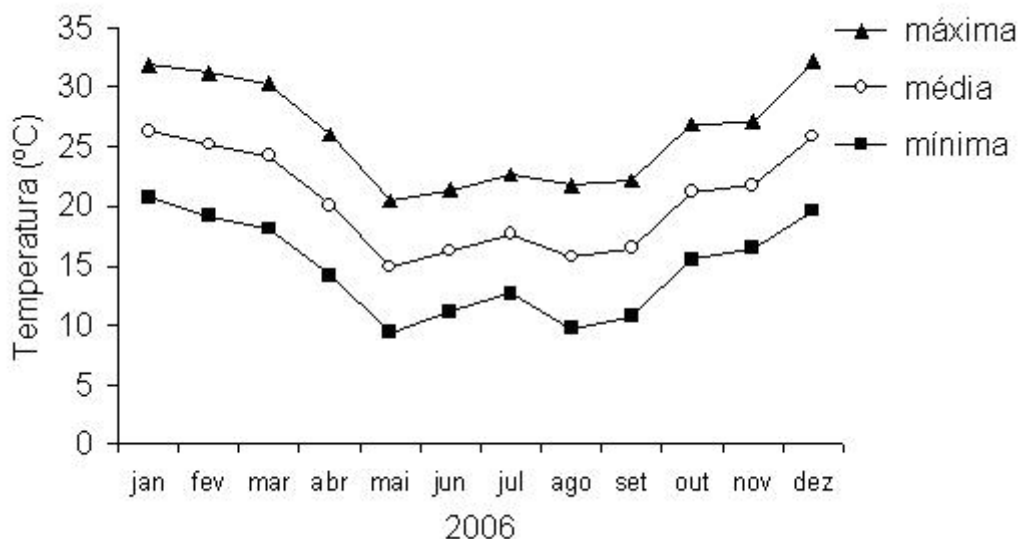


Figura 6.4 - Média das temperaturas máxima, média e mínima. Santa Maria-RS, 2006.

Para o carbono da parte aérea das plantas de cobertura do solo, assim como ocorrido para a matéria seca, o milho foi superior ao feijão-de-porco, que superou a mucuna cinza, enquanto a crotalária juncea foi maior apenas que a mucuna cinza, não se diferenciando de milho e feijão-de-porco (Tabela 6.5).

O aporte de carbono da parte aérea variou de 0,35 a 1,43 Mg ha⁻¹ (Tabela 6.5). Vendruscolo et al. (2000) obtiveram resultados semelhantes, com média de 1,554 Mg ha⁻¹, ao avaliarem a crotalária juncea, feijão-de-porco e mucuna cinza, também em Santa Maria-RS.

Para o carbono das raízes, não foram constatadas diferenças entre as espécies em nenhuma das profundidades avaliadas (Figura 6.3c). No carbono total das raízes, a crotalária juncea foi superior ao milho, não se diferenciando de feijão-de-porco e mucuna cinza (Tabela 6.4). As diferenças encontradas são atribuídas à maior porcentagem de carbono existente nas raízes da crotalária juncea (33,27%) em relação ao milho (27,00%) (Tabela 6.6). Esta variação do teor de carbono das raízes em diferentes espécies também foi encontrada por outros autores. Bazot et al. (2005) obtiveram média de 30% de C nas raízes de azevém (*Lolium perene*) e Hokka et al. (2004) obtiveram médias de 39% de C nas raízes de trevo branco (*Trifolium repens*) e de 28% nas raízes da pastagem grama-timóteo (*Phleum pratense*).

Tabela 6.5 - Matéria seca (MS), carbono (C) e nitrogênio (N) na parte aérea, sistema radicular e relação PA/SR das plantas de cobertura de solo. Santa Maria-RS, 2006.

Variáveis	Parte aérea			Sistema radicular			Relação PA/SR		
	MS Mg ha ⁻¹	C	N kg ha ⁻¹	MS Mg ha ⁻¹	C	N kg ha ⁻¹	MS	C	N
Milheto	3,58 a	1,43 a	28,75 b	3,56 a	0,98 b	45,55 b	1,01	1,46	0,63
Feijão-de-porco	2,22 b	0,88 b	65,00 a	3,49 a	1,12 ab	68,37 ab	0,64	0,79	0,95
Mucuna cinza	0,89 c	0,35 c	25,50 b	3,77 a	1,15 ab	72,38 a	0,24	0,31	0,35
Crotalária juncea	2,64 ab	1,06 ab	49,00 ab	4,21 a	1,40 a	55,2 ab	0,63	0,75	0,88
CV	24,45	24,44	32,47	28,06	27,75	26,08	-	-	-

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

O aporte de carbono proveniente das raízes variou de 0,98 a 1,40 Mg ha⁻¹ (Tabela 6.5), superior à média de 0,721 Mg ha⁻¹, encontrada por Derpsch et al. (1985), ao avaliarem nove plantas de cobertura do solo, em colunas de solo de 0,10 m de largura e 0,10 m de comprimento, até 0,9 m de profundidade.

A relação PA/SR, para o carbono foi muito semelhante à da matéria seca, ficando o milho com 1,46 como a única espécie a contribuir mais pela parte aérea do que pelo sistema radicular no aporte de carbono ao solo. O feijão-de-porco e a crotalária juncea tiveram relações PA/SR de 0,79 e 0,75, respectivamente; a mucuna cinza foi a cultura que teve maior contribuição do sistema radicular em relação à parte aérea, com relação PA/SR de 0,31 (Tabela 6.5), em razão das temperaturas baixas ocorridas.

Tabela 6.6 - Porcentagens do conteúdo de carbono, nitrogênio e relação C/N da parte aérea e de raízes do milho, milho, feijão-de-porco, mucuna cinza e crotalária juncea. Santa Maria, 2006.

Espécies avaliadas	Carbono	Nitrogênio	Relação C/N
	%		
	Parte aérea		
Milho	40,00	0,33	121,21
Milheto	40,00	0,80	50,00
Feijão-de-porco	40,00	2,92	13,70
Mucuna cinza	40,00	2,86	13,98
Crotalária juncea	40,00	1,85	21,62
	Sistema radicular		
Milho	28,87	0,75	38,71
Milheto	27,46	1,28	21,52
Feijão-de-porco	32,24	1,96	16,43
Mucuna cinza	30,68	2,03	15,10
Crotalária juncea	33,27	1,31	25,50

Para o N contido na parte aérea, o feijão-de-porco foi significativamente superior a milho e mucuna cinza, não se diferenciando da crotalária juncea (Tabela 6.5) em razão da baixa quantidade de N contida no milho, única espécie não fabacea avaliada, e a baixa produção de matéria seca da mucuna cinza. Resultados semelhantes foram encontrados na literatura, como o baixo aporte de N do milho em comparação ao feijão-de-porco e crotalária juncea (MARQUES et al. 2002) e a

superioridade do feijão-de-porco do aporte de N, em comparação a mucuna cinza (VENDRUSCOLO et al. (2000).

O aporte de N da parte aérea das plantas de cobertura do solo ficou entre 25,5 a 65 kg ha⁻¹, próximo à variação de 20 a 81 kg ha⁻¹ de N encontrada por Marques et (2002) e inferior à variação de 72 a 126 kg ha⁻¹ de N encontrada por Vendruscolo et al. (2000).

Para o aporte de nitrogênio proveniente das raízes, também não foram constatadas diferenças entre as espécies de plantas de cobertura em nenhuma das profundidades avaliadas (Figura 6.3d). Para o nitrogênio total, a mucuna cinza foi superior ao milho, sem se diferenciar da crotalária juncea e do feijão-de-porco (Tabela 6.5). O teor de nitrogênio, que foi de 2,03% para mucuna cinza a 1,28% para o milho (Tabela 6.6), foi a causa das diferenças encontradas no experimento, assim como no caso do carbono das raízes. Estas variações das porcentagens de nitrogênio encontrados nas raízes de diferentes espécies correspondem às encontradas por Derpsch et al. (1985), que obtiveram entre 2,20% de N para tremoço branco e 1,09% de N para girassol, com média de 1,72% para nove espécies avaliadas. Hokka et al. (2004) obtiveram valores de 1,8 a 2,2% de N nas raízes de trevo branco (*Trifolium repens*) e de 0,4 a 0,6% nas raízes de grama-timóteo (*Phleum pratense*).

O aporte de nitrogênio proveniente das raízes variou de 45,55 a 72,38 kg ha⁻¹ (Tabela 6.5), superior à média de 30,78 kg ha⁻¹ de N, encontrada por Derpsch et al. (1985), ao avaliarem nove plantas de cobertura do solo, em colunas de solo, até 0,9 m de profundidade.

Para a relação PA/SR do nitrogênio, todas as espécies avaliadas adicionaram mais N pelo sistema radicular do que pela parte aérea (Tabela 6.4). A relação C/N da parte aérea das espécies avaliadas foi de 121,21 para o milho, 50,00 para o milho, 21,62 para crotalária juncea, 13,70 para do feijão-de-porco e 13,98 para mucuna cinza. A elevada relação C/N do milho ocorreu pela baixa quantidade de N dos tecidos, devido ao fato da cultura ter sido conduzida sem adição de N mineral e de sua colheita ter sido realizada com o milho maduro. Wolschick et al. (2003) também encontraram baixos teores de N no milho colhido aos 127 dias após a emergência, com 0,22% no sabugo, 0,33% na palha e 0,40% nas folhas e caule.

A relação C/N das raízes das plantas foi de 38,71 para o milho, 21,52 para o milheto, 25,50 para a crotalária juncea e de 16,43 e 15,10 para feijão-de-porco e mucuna cinza respectivamente (Tabela 6.6). Considerando-se que materiais com valores de C/N entre 25 e 30 apresentam equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização (ALLISON, 1966), pode-se inferir que feijão-de-porco e mucuna cinza deverão liberar mais N em comparação ao milho, milheto e crotalária juncea.

6.5 Conclusões

Os aportes de matéria seca, carbono e nitrogênio da parte aérea do milho e comprimento de raízes não foram influenciados pelas plantas de cobertura do solo.

O sistema de sucessão de culturas com aveia + ervilhaca no inverno e feijão-de-porco no outono aumentam o aporte de matéria seca, carbono e nitrogênio das raízes do milho.

O sistema radicular da mucuna cinza tem menor profundidade efetiva de comprimento de raízes, matéria seca, carbono e nitrogênio do que a do feijão-de-porco, milheto e da mucuna cinza e crotalária juncea.

O aporte de matéria seca e carbono da parte aérea foi maior para o milheto do que a da mucuna cinza e o aporte de nitrogênio da parte aérea foi maior para o feijão-de-porco do que o do milheto e da mucuna cinza.

Os sistemas radiculares de crotalária juncea e mucuna cinza contribuíram com maior aporte de carbono e nitrogênio ao solo, respectivamente, do que o sistema radicular do milheto.

6.6 Referências Bibliográficas

ALLISON, F. E. The fate of nitrogen applied to soils. **Advances in Agronomy**, New York, v.18, p.219-258, 1966.

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J. Densidade radicular do milho considerados os atributos de um solo com horizonte B textural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.539-549, 2001.

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZI, A. J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.2, p.175-185, 1995.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.679-686, 1999.

BASSOI, L. H.; FANTE JÚNIOR, L.; JORGE, L. A. C.; CRESTANA, S.; REICHARDT, K. Distribuição do sistema radicular do milho em Terra Roxa Estruturada Latossólica: II. Comparação entre cultura irrigada e fertirrigada. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.51, n.3, p.541-548, 1994.

BAZOT, S.; MIKOLA, J.; NGUYEN, C.; ROBIN, C. Defoliation-induced changes in carbon allocation and root soluble carbon concentration in field-grown *Lolium perenne* plants: do they affect carbon availability, microbes and animal trophic groups in soil? **Functional Ecology**, v.19, n.5, p.886-896, 2005.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlim: Springer – Verlag, 1979. 188p.

BRASIL, E. C.; ALVES, V. M. C.; MARRIEL, I. E.; PITTA, G. V. E.; CARVALHO, J. G. Matéria seca e acúmulo de nutrientes em genótipos de milho contrastantes quanto a aquisição de fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.3, p.704-712, 2007.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura. In: CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.; PASSINI, J. J. **Sistema plantio direto com qualidade**, Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006a. p.559-73.

CALEGARI, A. **Seqüestro de carbono, atributos físicos e químicos em diferentes sistemas de manejo em um Latossolo argiloso do Sul do Brasil**. 2006b. 191f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Variabilidade espacial do estoque de carbono nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba: Solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.3, n.1, p.20-25, 2008.

DEXTER, A. R. Amelioration of soil by natural processes. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.20, n.2-4, p.87-100. 1991.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F. X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.20, n.7, p.761-773, 1985.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999. 412p.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; CHIAPINOTTO, I. C.; HÜBNER, A. P.; MARQUES, M. G.; CADORE, F. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. II - nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, p.751-762, 2004.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, (R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação c/n e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.2, p. 325-334, 2003.

HOKKA, V.; MIKOLA, J.; SETÄLÄ, H. Interactive effects of defoliation and an AM fungus on plants and soil organisms in experimental legume–grass communities. **Oikos**, v.106, n.1, p.73-84, 2004.

JOHNSON, J. M. F.; ALLMARAS, R. R.; REICOSKY, D. C. Estimating source carbon from crop residues, roots and rhizodeposits using the national grain-yield database. **Agronomy Journal**, Madison, v.98, n.3, p.622-636, 2006.

JORGE, L. A. C.; RALISCH, R.; ABI SAAB, O. J. G.; MEDINA, C. C.; GUIMARÃES, M. F.; NEVES, C. S. V. J.; CRESTANA, S.; CINTRA, F. L. D.; BASSOI, L. H.; FERNANDES, S. B. V. Aquisição de imagens de raízes. In: JORGE, L. A. C. (Ed.). **Recomendações práticas para aquisição de imagens digitais analisadas através do SIARCS**. São Carlos: EMBRAPA/CNPDIA, 1996. p.2-28. (Circular técnica, 1).

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos**. Piracicaba: CERES, 1985. 429p.

KLAR, A.E. **Irrigação: frequência e quantidade de aplicação**. São Paulo: Nobel, 1991. 156p.

LOVATO, T. **Dinâmica do carbono e do nitrogênio do solo afetada por preparos do solo, sistemas de cultura e adubo nitrogenado**. 2001. 13f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.1, p.175-187, 2004.

MACHADO, C. T. T.; FURLANI, A. M. C. Root phosphatase activity, plant growth and phosphorus accumulation of maize genotypes. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.61, n.2, p.216-223, 2004.

MAI, M. E. M.; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; SILVEIRA, M. J.; PAVINATO, A.; PAVINATO, P. S. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia-preta/milho no sistema plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.38, n.1, p.125-131, 2003.

MARQUES, M. G.; AITA, C.; HUBNER, A. P.; GIACOMINI, S. J.; GUIDINI, E.; LUNKES, A.; CADORE, F. Produção de fitomassa e acúmulo de nitrogênio pela seqüência de plantas de cobertura no verão e nabo no outono/inverno e sua influência no milho em sucessão. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25., 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. CD-ROM.

MENGEL, K. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.181, n.1, p.83-93, 1996.

MIELNICZUK, J. Importância do estudo de raízes no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis. In FERNANDES, M. F.; TAVARES, E. D.; SILVA LEAL, M. L. **Workshop sobre sistemas radicular: metodologias e estudos de casos**. Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 1999. p.13-17.

MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo: Características e manejo em pequenas propriedades**. Chapecó: Ed. do Autor, 1991. 337p.

PEREIRA FILHO, I. A.; FERREIRA, A. S.; COELHO, A. M.; CASELA, C. R.; KARAM, D.; RODRIGUES, J. A. S.; CRUZ, J. C.; WAQUIL, J. M. **Manejo da cultura do milheto**. Sete Lagoas: EMBRAPA, 2003. 17p. (Circular técnica, 29).

SILVA, H. R.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.6, p.973-976, 2002.

STEVENSON, F. J. **Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. New York: John Wiley & Sons, 1985. 380p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Depto. de Solos da UFRGS, 1995. 174p. (Boletim técnico de Solos, 5).

VENDRUSCOLO, E. R.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; HUBNER, A. P.; CHIAPINOTTO, I. C.; NICOLOSO, R. S.; ANDRADA, M. C.; FRIES, M. R. Cultivo de plantas de cobertura de verão intercalares ao milho e sua influência sobre a consorciação de aveia preta + ervilhaca. In: REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., 2000, Pelotas. **Anais...** Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado e Núcleo Regional Sul da Sociedade brasileira de Ciência do Solo, 2000. CD-ROM.

VENZKE FILHO, S. P.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; FANTE JÚNIOR, L.; SIQUEIRA NETO, M.; CERRI, C. C. Root systems and soil microbial biomass under no-tillage system. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.61, n.5, p.529-537, 2004.

WATSON, R. T.; NOBLE, I. R.; BOLIN B.; RAVINDRANATH, N. H.; VERARDO, D. J.; DOKKEN, D. J. **Land use, land use change and forestry: a special report of the IPCC**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 377p.

WOLSCHICK, D.; CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; JADOSKI, S. O. Adubação nitrogenada na cultura do milho no sistema plantio direto em ano com precipitação pluvial normal e com “el niño”. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.3, p.461-468, 2003.

7 CONCLUSÕES GERAIS

A unidade morfológica homogênea $C\Delta$, compacta, e a densidade do solo, não limitaram a distribuição das raízes de tremoço branco e aveia preta.

A unidade $F\Delta\mu$, fissurada, é mais presente no sistema convencional do que no plantio direto.

A distribuição do sistema radicular do milho não é influenciada pelas plantas de coberturas de solo.

A distribuição, a quantidade e os aportes de matéria seca, carbono e nitrogênio de raízes de soja e milho não foram influenciados pelos sistemas de manejo do solo.

O sistema de sucessão de culturas com aveia + ervilhaca no inverno e feijão-de-porco no outono aumentam o aporte de matéria seca, carbono e nitrogênio das raízes do milho.

O aporte de matéria seca e carbono da parte aérea foi maior para o milheto do que a da mucuna cinza e o aporte de nitrogênio da parte aérea foi maior para o feijão-de-porco do que o do milheto e da mucuna cinza.

Os sistemas radiculares de crotalária juncea e mucuna cinza contribuíram com maior aporte de carbono e nitrogênio ao solo, respectivamente, do que o sistema radicular do milheto.