UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

SISTEMAS DE CULTIVO DA CULTURA DO FUMO COM ÊNFASE ÀS PRÁTICAS DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

André Pellegrini

Santa Maria, RS, Brasil

2006

SISTEMAS DE CULTIVO DA CULTURA DO FUMO COM ÊNFASE ÀS PRÁTICAS DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO

por

André Pellegrini

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Físicos e Morfogenéticos do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de

Mestre em Ciência do Solo

Orientador: Prof. Dr. José Miguel Reichert

Santa Maria, RS, Brasil.

2006

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a dissertação de Mestrado

SISTEMAS DE CULTIVO DA CULTURA DO FUMO COM ÊNFASE ÀS PRÁTICAS DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO

elaborada por
André Pellegrini

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

_____
Prof. Dr. José Miguel Reichert
(Presidente/Orientador) - CCR - UFSM

_____
Prof. Dr. Danilo Rheinheimer dos Santos
CCR - UFSM

_____
Prof. Dr. Gustavo Henrique Merten
IPH - UFRGS

Santa Maria, 23 de fevereiro de 2006

AGRADECIMENTOS

A todos que contribuíram para a execução do trabalho. As pessoas esperam receber palavras de agradecimento, mas nem sempre elas fazem justiça, pois algumas pessoas ajudaram muito e satisfazem com muito pouco, outras ajudaram pouco e esperariam mais. A magnitude do agradecimento esteve e estará no convívio diário.

Aos órgãos financiadores do projeto e bolsa, Fapergs e CNPq

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

SISTEMAS DE CULTIVO DA CULTURA DO FUMO COM ÊNFASE ÀS PRÁTICAS DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO

Autor: André Pellegrini
Orientador: José Miguel Reichert
Local e data da defesa: Santa Maria, 23 de fevereiro de 2006.

Sistemas de manejos do solo com o mínimo de revolvimento e com palha em superfície predominam na maioria dos cultivos agrícolas, no Sul do Brasil. A utilização do plantio direto na cultura do fumo está sendo iniciada, mas restrita a locais isolados e a alguns agricultores, que, via testes empíricos e adaptação de equipamentos, buscam preservar o solo e aumentar a produtividade. O objetivo deste trabalho foi estudar os principais sistemas de manejo do solo para a cultura do fumo e as possibilidades de mudança no sistema tradicional de cultivo de fumo, com ênfase às práticas de manejo e conservação do solo, mantendo os níveis de produtividade e diminuindo os impactos ambientais. O delineamento experimental foi blocos ao acaso com três repetições e seis tratamentos, sendo eles: PC - preparo convencional; CMP - cultivo mínimo pousio; CMA - cultivo mínimo aveia; PDcC - plantio direto com camalhão; PDcCC - plantio direto com camalhão consolidado; PDsC - plantio direto sem camalhão. O experimento foi implantado em uma microbacia hidrográfica, localizada no município de Agudo-RS, no ano agrícola de 2004, sobre em um Neossolo litólico eutrófico típico. Os principais avaliadores físicos foram umidade volumétrica do solo, medida com reflectômetro de domínio de tempo (TDR), nas profundidades de 0-0,06, 0,06-0,12 e 0,12-0,18 m, e temperatura do solo na profundidade de 0,05 m medida com datalogger e termopares, ambas durante 87 dias no período de crescimento; porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo e curva de retenção de água (CRA), realizadas nas profundidades de 0-0,06, 0,06-0,12, 0,12-0,18 e 0,18-0,24 m aos 30 dias após transplante (DAT) e aos 135 DAT, exceto CRA, nas profundidades de 0-0,06 e 0,06-0,12 m; perda de água e solo pelo escoamento superficial, determinados em oito chuvas, em dois blocos, com uma área de coleta de 1,2 m^2; fósforo e potássio solúvel e total, em sete chuvas; no sistema radicular foram determinados a distribuição no perfil cultural, disponibilidade de nutrientes na região de exploração, massa seca por volume de solo e profundidade máxima das raízes; a resistência mecânica do solo determinada com um penetrômetro manual para diagnosticar a profundidade de impedimento radicular; medidas avaliadoras das plantas foram área foliar, comprimento de caule, número de folhas e produtividade por hectare. Os preparos conservacionistas reduziram as perdas de solo e água e proporcionaram uma menor amplitude na temperatura diária, maior umidade do solo, mas a produtividade no PDsC ficou aquém dos preparos convencionais. Esse resultado no PDsC foi diretamente influenciado pelo menor aprofundamento das raízes, sendo esse conseqüência de vários fatores como presença de camada de impedimento, não possuir camalhão, posicionamento mais superficial da adubação de

base e condições iniciais favoráveis de temperatura e umidade do solo. Contudo, houve grande interação de fatores, tornando complexa a explicação do resultado obtido, pois fatores como a adubação superficial favoreceu as perdas de P e K solúvel, diminuindo a disponibilidade; a camada de impedimento diminuiu o volume de solo explorado pelas raízes e a capacidade de armazenamento de água, sendo que os manejos PDcCC e PDsC ficaram em torno de 15 dias fora da faixa de disponibilidade de água, na camada de 0 a 0,06 m.

Palavras chaves**:** erosão hídrica, perdas de nutrientes, impedimento radicular, densidade do solo, umidade do solo, temperatura do solo, cultura do fumo.

ABSTRACT

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

TILLAGE SYSTEMS OF THE TOBACCO CROP WITH EMPHASIS TO THE MANAGEMENT OF THE PRACTICES AND SOIL CONSERVATION

Author: André Pellegrini
Adviser: José Miguel Reichert
Place and date of the defense: Santa Maria, February 23, 2006.

Soil management systems with minimum tillage and mulch are predominant in agriculture of Southern of Brazil. No-tillage for tobacco crop is not common and restricted to isolated places and only for some farmers that, through empiric tests and adaptation of equipments, search for soil preservation and increased yield. The objective of this work was study the main soil management systems for tobacco crop and possibilities of changing the traditional system of tobacco cropping, with emphasis on practices of soil management and conservation to maintain the levels of yield and decrease the environmental impacts. Six treatments, in a completely randomized blocks design with three replicates, were installed: PC – conventional till; CMP - minimum tillage rest; CMA - minimum tillage oat; PDcC – no-tillage with camalhão; PDcCC – no-tillage with consolidated camalhão; PDsC – no-tillage without camalhão. The experiment was installed in a watershed, located in Agudo-RS city, in the agricultural year of 2004, in a Leptosol. The maim physical parameters were soil moisture, measured with a time domain reflectometer (TDR), in the depths of 0-0,06, 0,06-0,12 and 0,12-0,18 m, and soil temperature in the depth of 0,05 m, measured with datalogger and termopars, both during 87 days in the growth cycle; total porosity, macroporosity, microporosity, bulk density and soil water retention curve (CRA), determined in the depths of 0-0,06, 0,06-0,12, 0,12-0,18 and 0,18-0,24 m, 30 days after transplantion (DAT) and on 135 DAT, except for CRA, in the depths of 0-0,06 and 0,06-0,12 m; water and soil loss by runoff, determined for eight rain events, in two blocks, with on area of 1.2 m^2 of collection; potassium and phosphorus, soluble and total were determined for seven rain events; the root system, the distribution in the cultural profile, nutrients availability in the exploration area, dry mass for soil volume and maximum depth of roots were determined; mechanical resistance of soil was determined with a manual penetrometer to verify the depth of the root impediment; measures of the plants included the leaf area, determination of plant height, number of leaves and yield for hectare. The conservation managements reduced soil and water losses, providing smaller amplitude in the daily temperature variation, larges soil moisture, but the yield was smaller than PDsC. This result for the PDsC was directly influenced by the shallower roots depth, which was a consequence of several factors, such as: presence of impediment layer; absence of ridge; nutrients in the surface and favorable initial conditions of soil temperature and moisture. However, there was great interaction among factors, turning complex the explanation of the results obtained; therefore, factors such as nutrients in the surface favored the losses of P and K soluble, decreasing their availability to plants; the

impediment layer reduced the volume of soil explored by the roots and the ability for water storage, whereas the management systems PDcCC and PDsC were outside the upper or lower limit of water availability, in the layer of 0 to 0,06 m, for about 15 days.

Key words: water erosion, nutrients losses, root penetration, bulk density, soil moisture, soil temperature, tobacco crop.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição granulométrica do horizonte Ap de um Neossolo litólico.. 31
Tabela 2- Propriedades químicas do solo na região de exploração radicular. Valores médios das unidades experimentais. 32
Tabela 3- Massa seca das plantas de cobertura e caules de fumo nos diferentes sistemas de manejo do solo. 45
Tabela 4- Variação, médias e soma térmica da temperatura do solo, durante 87 dias de avaliação, nos diferentes sistemas de cultivo de fumo. 47
Tabela 5- Densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo em duas datas e em quatro profundidades. 68
Tabela 6- Massa seca de caules, número de folhas e comprimento de caules na cultura do fumo nos diferentes manejos do solo. 75
Tabela 7- Produtividade obtida pelo número real de plantas na área amostrada (48 m^2) e corrigida para a população ideal de plantas na área (80 Plantas) e a classificação qualitativa percentual na cultura do fumo nos diferentes manejos do solo. 77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Manejos do solo para a cultura do fumo aos 30 dias após transplante, preparo convencional (PC), cultivo mínimo pousio (CMP), cultivo mínimo aveia (CMA), plantio direto com camalhão (PDcC), plantio direto com camalhão consolidado (PDcCC) e plantio direto sem camalhão (PDsC)..... 33
Figura 2- Arado tipo aiveca (a) e grade triangular de pinos (b) de tração animal..... 35
Figura 3- Distribuidor manual de adubo (a) e arado tipo sulcador (b). 35
Figura 4- Máquina para transplante das mudas de fumo 36
Figura 5- Máquina para aplicação de nitrogênio (a) e aterramento com arado tipo aiveca (b)..... 36
Figura 6- Sistema eletrônico para determinação da temperatura do solo. 37
Figura 7- Sistema eletrônico para determinação da umidade volumétrica do solo, com o TDR-100 (Time Domain Reflectometer). 38
Figura 8- Sistema para coleta de enxurrada, com dimensões de 1,2 m de largura e 1 m de comprimento..... 39
Figura 9- Coleta de raízes por volume de solo, com anel metálico de 0,45 m de diâmetro, em camadas de 0,05 m de solo. 41
Figura 10- Solo explorado pelo sistema radicular coletado para disponibilidade de nutrientes (a); e distribuição do sistema radicular pelo método do perfil cultural coletado com “tábua com pregos” (b)..... 42
Figura 11- Percentual de solo exposto e cobertura por palha, pedra e planta aos 40 dias após transplante, nos diferentes tratamentos. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão. Componente avaliado seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo DMS a 5 % de erro..... 46
Figura 12- Variação temporal da temperatura do solo nos diferentes tratamentos durante 87 dias do desenvolvimento da cultura do fumo. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; (__) linha horizontal de referência para comparação visual. 48

Figura 13- Variação temporal da temperatura e umidade do solo do solo nos diferentes tratamentos durante 12 dias no final do ciclo da cultura do fumo. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; 49

Figura 14- Temperatura do solo aos 40 DAT, nos diferentes manejos do solo. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais comparam médias pela diferença mínima significativa a 5 % de erro..... 50

Figura 15- Variação temporal da umidade volumétrica do solo nos diferentes tratamentos durante 87 dias do desenvolvimento da cultura do fumo e valores de capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP). PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia. 52

Figura 16- Variação temporal da umidade volumétrica do solo nos diferentes tratamentos durante 87 dias do desenvolvimento da cultura do fumo e valores de capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP). PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão..... 53

Figura 17- Curva de retenção de água no solo nos diferentes tratamentos e quatro profundidades, aos 30 dias após transplante. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais comparam médias pela diferença mínima significativa a 5 % de erro. 55

Figura 18- Perda de solo em diferentes sistemas de manejo e precipitações. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais diferenciam médias nas diferentes precipitações pela diferença mínima significativa a 5 % de erro. 58

Figura 19- Perda de solo em diferentes tratamentos de acordo com grau de cobertura vegetal morta em diferentes precipitações. PC- preparo convencional; CMP-

cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão. 58
Figura 20- Perda de água nos diferentes tratamentos e precipitações. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais diferenciam médias nas diferentes precipitações pela diferença mínima significativa a 5 % de erro. 59
Figura 21- Coeficiente de escoamento em diferentes manejos do solo e precipitações. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão. 59
Figura 22- Concentração de sedimento em diferentes manejos do solo e precipitações. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais diferenciam médias nas diferentes precipitações pela diferença mínima significativa a 5 % de erro. 60
Figura 23- Perdas de fósforo solúvel nos diferentes tratamentos e precipitações. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais diferenciam médias nas diferentes precipitações pela diferença mínima significativa a 5 % de erro. 61
Figura 24- Perdas de potássio solúvel nos diferentes tratamentos e precipitações. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais diferenciam médias nas diferentes precipitações pela diferença mínima significativa a 5 % de erro. 62
Figura 25- Concentração de fósforo total no sedimento, nos diferentes tratamentos e precipitações. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto

com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais diferenciam médias nas diferentes precipitações pela diferença mínima significativa a 5 % de erro. 63
Figura 26- Concentração de potássio total no sedimento, nos diferentes tratamentos e precipitações. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais diferenciam médias nas diferentes precipitações pela diferença mínima significativa a 5 % de erro. 64
Figura 27- Perdas de fósforo total por área nos diferentes tratamentos e precipitações. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais diferenciam médias nas diferentes precipitações pela diferença mínima significativa a 5 % de erro. 64
Figura 28- Perdas de potássio total por área nos diferentes tratamentos e precipitações. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais diferenciam médias nas diferentes precipitações pela diferença mínima significativa a 5 % de erro. 65
Figura 29- Massa seca de raízes por volume de solo (Ms), densidade do solo (Ds), resistência à penetração (Rp) e profundidade máxima de crescimento de raízes (Prof. Max.) por tratamento. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão. .. 66
Figura 30- Variação do espaço aéreo do solo durante 87 dias do ciclo da cultura do fumo nos diferentes sistemas de preparo do solo.. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão. 69
Figura 31- Descrição do sistema radicular da cultura do fumo, no preparo convencional (PC), cultivo mínimo pousio (CMP) e cultivo mínimo aveia (CMA), em planta

pequena (PP), planta representativa (PR) e planta grande (PG). Dimensões do quadro: 0,5 x 0,3 m, com quadriculas de 0,05 x 0,05 m. 71
Figura 32- Descrição do sistema radicular da cultura do fumo, no plantio direto com camalhão (PDcC), plantio direto com camalhão consolidado (PDcCC) e plantio direto sem camalhão (PDsC), em planta pequena (PP), planta representativa (PR) e planta grande (PG). Dimensões do quadro: 0,5 x 0,3 m, com quadriculas de 0,05 x 0,05 m..... 72
Figura 33- Teor de fósforo determinado por resina trocadora de anions (RTA) no solo da área de exploração radicular em planta grande (PG), planta representativa (PR) e planta pequena (PP), nos diferentes tratamentos. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais diferenciam médias pela diferença mínima significativa a 5 % de erro. 73
Figura 34- Teor de potássio determinado por resina trocadora de cátions (RTC) no solo da área de exploração radicular em planta grande (PG), planta representativa (PR) e planta pequena (PP), nos diferentes tratamentos. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais diferenciam médias pela diferença mínima significativa a 5 % de erro e em tratamentos com somente uma média foi expressado o desvio padrão. 74
Figura 35- Índice de área folhar (IAF), em três datas após transplante. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais diferenciam médias pela diferença mínima significativa a 5 % de erro. 75

LISTA DE ANEXOS

Anexo A- Distribuição do sistema radicular da cultura do fumo pelo método do perfil cultural (Perfil) e pela tábua com pregos (Tábua) no preparo convencional (PC), em planta pequena (PP), planta representativa (PR) e planta grande (PG). Dimensões do quadro: 0,5 x 0,3 m, com quadriculas de 0,05 x 0,05 m..... 85

Anexo B- Distribuição do sistema radicular da cultura do fumo pelo método do perfil cultural (Perfil) e pela tábua com pregos (Tábua) no cultivo mínimo pousio (CMP), em planta pequena (PP), planta representativa (PR) e planta grande (PG). Dimensões do quadro: 0,5 x 0,3 m, com quadriculas de 0,05 x 0,05 m. 86

Anexo C- Distribuição do sistema radicular da cultura do fumo pelo método do perfil cultural (Perfil) e pela tábua com pregos (Tábua) no cultivo mínimo aveia (CMA), em planta representativa (PR). Dimensões do quadro: 0,5 x 0,3 m, com quadriculas de 0,05 x 0,05 m. 87

Anexo D- Distribuição do sistema radicular da cultura do fumo pelo método do perfil cultural (Perfil) e pela tábua com pregos (Tábua) no plantio direto com camalhão (PDcC), em planta pequena (PP) e planta grande (PG). Dimensões do quadro: 0,5 x 0,3 m, com quadriculas de 0,05 x 0,05 m. 88

Anexo E- Distribuição do sistema radicular da cultura do fumo pelo método do perfil cultural (Perfil) e pela tábua com pregos (Tábua) no plantio direto com camalhão consolidado (PDcCC), em planta representativa (PR). Dimensões do quadro: 0,5 x 0,3 m, com quadriculas de 0,05 x 0,05 m. 89

Anexo F- Distribuição do sistema radicular da cultura do fumo pelo método do perfil cultural (Perfil) e pela tábua com pregos (Tábua) no plantio direto sem camalhão (PDsC), em planta pequena (PP) e planta grande (PG). Dimensões do quadro: 0,5 x 0,3 m, com quadriculas de 0,05 x 0,05 m. 90

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16
2 HIPÓTESE 18
3 OBJETIVOS 19
3.1 Objetivos específicos 19
4 REVISÃO DE LITERATURA 20
4.1 Preparos do solo e alterações nas propriedades mecânicas do solo 20
4.2 Propriedades térmicas e hídricas do solo 21
4.3 Erosão hídrica do solo 25
4.4 Impedimentos ao crescimento radicular 27
5 MATERIAL E MÉTODOS 31
5.1 Localização e caracterização do experimento 31
5.2 Delineamento experimental e tratamentos 32
5.3 Implantação da cultura do fumo 34
5.4 Determinações 36
5.4.1 Cobertura do solo 36
5.4.2 Propriedades térmicas e hídricas do solo 37
5.4.3 Erosão hídrica do solo 38
5.4.4 Impedimentos ao crescimento do sistema radicular 40
5.4.5 Crescimento e produtividade da cultura do fumo 43
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO 45
6.1 Massa seca das plantas e grau de cobertura do solo 45
6.2 Propriedades térmicas e hídricas do solo na cultura do fumo 46
6.3 Erosão hídrica do solo na cultura do fumo 55
6.3.1 Perdas de solo e água 55
6.3.2 Perdas de Fósforo (P) e Potássio (K) 60
6.4 Impedimentos ao crescimento radicular da cultura do fumo 65
6.5 Crescimento e produtividade da cultura do fumo 74
7 CONCLUSÕES 78
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 79
ANEXOS 84

1 INTRODUÇÃO

A produção de fumo mundial está atrelada às grandes agroindústrias internacionais, que no Brasil, através da integração com pequenos agricultores, mantém o país na liderança mundial das exportações de fumo e em terceiro lugar na produção, com mais de 650.000 toneladas por ano. A fumicultura é a garantia de sustento e permanência na atividade agrícola para mais de 190 mil famílias nos três estados do Sul, sendo 50% no Rio Grande do Sul, 35% em Santa Catarina e 15% no Paraná (Afubra, 2003).

Os produtores de fumo são, em geral, pequenos proprietários e arrendatários, estando assentados em regiões declivosas com forte pressão populacional sobre essas áreas. A forma de ocupação e utilização do solo em áreas naturalmente inaptas para o uso de culturas anuais favoreceu a perda de fertilidade pela erosão hídrica, além de contribuir para o assoreamento dos rios, contaminaram os mananciais d'água e empobreceram os agricultores pela perda da capacidade produtiva do solo.

Entre os municípios produtores de fumo, encontra-se Agudo. Especificamente, na microbacia hidrográfica (MBH) do Arroio Lino – Agudo (RS), em levantamento no ano de 2004, a cultura do fumo utilizou 72,9 % da área de lavoura, onde 87,8 % dos sistemas de manejo do solo foram feitos nas formas convencional e mínimo sobre pousio (Copetti, et al., 2005). Esses sistemas, por estarem em relevo montanhoso, com declividade acima de 45%, apresentam severa suscetibilidade à erosão (Dalmolin, 2003).

Os solos na MBH são considerados pedogeneticamente como jovens, pouco profundos e altamente suscetíveis à erosão (Dalmolin, 2003). Juntamente com, a forma de manejo do solo, as altas declividades e o tipo de implementos utilizados desde a ocupação dessas áreas têm diminuído constantemente a camada explorável de solo e, assim, reduzindo a capacidade de armazenamento de água, além de aproximar os horizontes C ou R, que possuem alto impedimento à penetração radicular. Para agravar o problema, o melhoramento genético da cultura do fumo priorizou a parte aérea e juntamente com a semeadura indireta proporcionaram um ineficiente sistema radicular, com baixa capacidade de absorção, exploração e penetração no solo.

Os manejos existentes na MBH são altamente produtivos, mas dependentes de altas doses de fertilizantes para compensar as perdas pela erosão hídrica e a baixa eficiência na absorção dos nutrientes. Nesse paradigma o sistema solo-homem-planta não se sustentará.

Plantas de cobertura e recuperadoras do solo foram pouco utilizadas e dificilmente fazem parte do manejo e da rotação, exceto por alguns agricultores que observam o solo como capital para produção no longo prazo. O uso de plantas de cobertura para incrementar a quantidade de palha em superfície foi a principal alternativa na busca de um ambiente mais propício em relação à umidade, temperatura e no controle da erosão hídrica do solo.

A construção do camalhão, prática feita todos os anos pelos agricultores, torna-se o principal agente de exposição do solo à ação da chuva. Assim, uma alternativa é testar uma forma sem o camalhão, na busca do solo ficar durante todo o ano coberto. Outra forma é de construir o camalhão na pré-semadura da aveia, visto que as chuvas nessa época são de menor intensidade e a palha acamada entre as linhas após o transplante das mudas de fumo cobre o sulco que fica entre os camalhões, que mesmo cultivando em nível, pode servir como um canal escoador, no momento de grandes precipitações pluviais. O uso contínuo do camalhão sem a construção anual diminui a altura e a quantidade de solo explorado, pois o solo vai sendo deslocado para os lados pela prática de cultivo e pela consolidação natural do solo. Uma forma paliativa de manejo é a utilização da cultura da aveia com cultivo mínimo, a qual se diferencia dos preparos convencionais pelo incremento de palhada, mas para que seja mais duradoura sua cobertura, não se deve fazer a prática no aterramento, pois isso levará a uma diminuição da cobertura e aumento da erosão.

Como os problemas detectados na Microbacia do Arroio Lino foram muitos e os agricultores não dispõem de alternativas para a cultura do fumo no curto prazo, os estudos *in loco* permitem que os agricultores visualizem as alternativas de manejo conservacionistas. Assim, podem estabelecer comparativos com as formas que predominam na microbacia, buscando diminuir as perdas de solo a níveis toleráveis.

2 HIPÓTESE

As condições físicas essenciais ao desenvolvimento das plantas como temperatura, umidade, aeração do solo e impedimentos físicos às raízes em sistemas de manejo com menor mobilização são melhoradas sem que haja diminuição na produtividade do fumo ou até mesmo aumentada.

3 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho foi estudar os principais sistemas de manejo do solo para a cultura do fumo e as possibilidades de mudança no sistema tradicional, com ênfase às práticas de manejo e conservação do solo, mantendo os níveis de produtividade e diminuindo os impactos ambientais.

3.1 Objetivos específicos

Medir propriedades físicas, hídricas do solo e as perdas de água, de solo e de nutrientes na enxurrada influenciadas pela intensidade de preparo e utilização de cultura de cobertura.

Avaliar a utilização do camalhão no sistema de plantio direto na cultura do fumo.

Identificar quais os sistemas conservacionistas de manejo do solo que mantém os níveis de produtividade e melhor se adaptam a situação.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Preparos do solo e alterações nas propriedades mecânicas do solo

Os manejos convencionais aplicados ao solo, ao longo dos anos, promoveram sua degradação física e química, levando os agricultores a ocuparem novas áreas e abandonarem outras, até que ocorresse a renovação de capoeiras para incremento da matéria orgânica, aumento da ciclagem de nutrientes e reduções de doenças. Com o advento da revolução verde surgiram os adubos químicos e intensificaram-se os cultivos; com isso, a degradação física aumentou até a mudança de paradigma para o plantio direto. Contudo, as áreas de cultivo de fumo ainda sofrem com a forma convencional de preparo e a falta de equipamentos que facilitem o cultivo de sistemas conservacionistas.

Classicamente, os principais objetivos do preparo do solo são alterar a estrutura da camada superficial do solo para facilitar a entrada, transmissão e armazenamento de ar e água no mesmo e, assim, criar condições físicas adequadas às sementes e raízes das plantas. Em segundo lugar, erradicar ervas daninhas, para evitar a competição com as plantas em termos de água, nutrientes e, algumas vezes, luz (Raney & Zingg, 1957; Larson & Gill, 1973 *apud* Bertol et al., 1987). Adicionalmente a esses, os produtores de fumo utilizam o revolvimento para fazer a adubação em pré-plantio e, nas fases iniciais da cultura, para aproximar solo às raízes e cobrir o nitrogênio aplicado. No entanto, na maioria das vezes, esse preparo provoca alterações na estrutura da camada arável e incorpora os resíduos ao solo, deixando-o desprotegido e facilitando a ação da erosão hídrica.

O tipo de implemento utilizado e a intensidade do preparo modificam a quantidade de resíduos culturais remanescentes na superfície e a cobertura do solo (Schick et al., 2000). No caso do preparo convencional e do cultivo mínimo, os restos culturais são incorporados total e parcialmente, respectivamente, ou mantidos praticamente todo o resíduo cultural na superfície, no caso do plantio direto (Bertol et al., 1997). Contudo, os preparos conservacionistas de solo reduzem a erosão hídrica em relação aos preparos convencionais, visto que são menos intensos e mantém o solo coberto por maior período de tempo.

A forma de preparo também influi nas propriedades físicas da superfície e subsuperfície, dentre as quais se destacam a estrutura, a densidade e a porosidade do solo, que alteram a capacidade de infiltração de água e a susceptibilidade do solo à erosão (Cogo, 1981; Bertol, 1995).

Várias propriedades físicas são alteradas pela compactação do solo, que normalmente se atribuiu ao tráfego de máquinas agrícolas. Contudo, em regiões de alta declividade os manejos são feitos com tração animal, diminuindo esse problema, mas pelo solo ser pouco profundo pode apresentar camadas naturais de impedimento, como rochas em diferentes estágios de decomposição.

Os sistemas de preparo do solo proporcionam diferentes relações de porosidade e estrutura do solo. Variáveis como a densidade do solo e microporosidade são aumentadas com a compactação, ao contrário da macroporosidade e porosidade total. No sistema de plantio direto a ausência do revolvimento, o incremento de matéria orgânica e a não utilização de maquinários agrícolas levam a uma lenta reconsolidação do solo, aproximando-se a níveis naturais, com uma distribuição mais uniforme dos poros em profundidade (Fernandes et al., 1983). Já o revolvimento do solo promove maior arranjamento das partículas, criando maior porosidade total e macroporosidade do solo, contribuindo, na rápida drenagem e aeração do solo.

4.2 Propriedades térmicas e hídricas do solo

As propriedades que diretamente influenciam no crescimento das plantas são denominadas fatores de crescimento. Assim, os fatores físicos são a umidade, a temperatura, a aeração e a resistência à penetração do solo, enquanto o fator químico é a disponibilidade de nutrientes (Letey, 1985). Para tanto, a forma de manejar o solo altera essas variáveis em diferentes sentidos, influindo na produtividade das plantas. Contudo, as plantas ainda podem responder diferentemente, dependendo da espécie e estádio de desenvolvimento.

A temperatura do solo é governada por uma sucessão periódica regular de dias e noites e de inverno e verão, continuamente em resposta aos eventos meteorológicos na interface solo-atmosfera. Há influências externas que também

interferem como a localização geográfica, a declividade, a cobertura vegetal, as chuvas, os períodos secos e a ação humana (Hillel, 1998).

A região Sul do Brasil é responsável por quase totalidade do fumo produzido no país. Pela sua localização geográfica, apresenta freqüentemente, durante o verão, elevadas temperaturas do solo, atingindo níveis limitantes para certos processos bioquímicos dos vegetais e dos microrganismos do solo (Salton et al., 1995). Contudo, o estabelecimento da cultura do fumo nas lavouras dá-se normalmente na segunda quinzena do mês de agosto e durante o mês de setembro, nesse período as temperaturas do ar e do solo são amenas, podendo retardar o crescimento e estabelecimento da cultura. Segundo Chen (1968), temperaturas diurnas de 27°C e de 21°C durante a noite são necessárias para o ótimo crescimento de plantas. Pois, baixas temperaturas resultam em inferior qualidade da folha e prolonga o período de maturação (Parups et al,. 1960).

A temperatura do solo ótima para o crescimento das raízes da cultura do fumo é de aproximadamente 22°C (Osmond et al., 1981). Baixas temperaturas no solo no primeiro mês após transplante causam mais danos às raízes. Isso é devido à dessecação das raízes no transplante e início da formação de novas raízes. Pois, temperaturas do solo e do ar podem impedir a habilidade das plantas para produzir hormônios necessários para diferenciação de células do parênquima nas raízes (Nilsen & Orcutt, 1996; Shul'gin. et al. 1965). Tornando esse período o ponto mais crítico no estabelecimento e crescimento de plantas.

Para outras culturas, como milho e soja a temperatura ideal para germinação e crescimento de plântulas situa-se entre 25 e 35°C (Lal, 1974). Temperaturas superiores às ideais, na fase de estabelecimento, podem causar prejuízos quanto à redução do crescimento ou de redução na germinação. Derpsch et al. (1985) determinaram, em experimento na região de Londrina (PR), em solo descoberto, períodos de temperatura superior a 40°C em novembro e dezembro a 0,03 m de profundidade e reduções de 15°C na temperatura máxima diária pela cobertura do solo por resíduos de aveia. Da mesma forma, Lal (1974), na Nigéria, observou temperaturas de 38 a 42°C a 0,05 m de profundidade e com redução de 4 a 9°C no solo coberto com 4 Mg ha^{-1} de casca de arroz nas temperaturas máximas diárias.

A cobertura da superfície do solo por resíduos de culturas atua significativamente no regime térmico do solo, principalmente pela reflexão e absorção da energia incidente, que se relaciona à cor, ao tipo, à quantidade e à distribuição da palha das culturas anteriores (Baver et al., 1973). A cobertura do solo obtida por plantas em pleno desenvolvimento, é tão efetiva quanto a cobertura morta (Ghuman & Lal, 1983), agindo por sombreamento. Somado a essa, a presença de cobertura morta retarda o aquecimento e reduz a evaporação, mantendo o solo mais úmido e dessa forma, elevando-lhe a capacidade calorífera.

As práticas de manejo das culturas podem alterar significativamente o regime de temperatura do solo, pela configuração da superfície e pela percentagem de resíduos em superfície (Potter et al., 1985). Um dos efeitos dos resíduos vegetais deixados em superfície em sistemas conservacionistas é a ampla diminuição da temperatura do solo aos 0,05 m, na qual se situa a zona de plantio (Gupta et al., 1983; Johnson et al., 1985). Segundo Potter et al. (1985), em estudos do efeito do manejo nas propriedades do solo, observaram que a temperatura máxima decrescia na seguinte ordem: cultivo convencional, escarificado e plantio direto, de acordo com o respectivo aumento do grau de cobertura do solo de 2, 27 e 60%.

O volume precipitado nos estados do Sul do Brasil situa-se entre 1.500 e 1.900 mm e essa, em geral, é bem distribuída durante o ano (Brasil, 1992). No entanto, são comuns frustrações de safras agrícolas devido à ocorrência de veranicos em períodos críticos às culturas (Bragagnolo et al., 1990). As épocas secas geralmente coincidem com o desenvolvimento da cultura do fumo. Um agravante nessa cultura é o espaçamento utilizado para os tratos culturais, que não permite a cobertura total do solo nem no máximo desenvolvimento. Aliado a isso, se o manejo do solo for convencional, com o solo descoberto, haverá grandes perdas de água por evaporação, adicionado às perdas por transpiração, a cultura vai necessitar de alta quantidade de água durante o ciclo. Para isso, o plantio direto e o preparo reduzido são eficientes em reduzir as perdas de água do solo por evaporação em virtude do efeito isolante térmico da cobertura morta depositada sobre o solo (Salton & Mielniczuk, 1995).

Altas temperaturas do solo e do ar propiciam alta evapotranspiração e o solo, estando coberto, diminuirá pelo menos as perdas por evaporação da água do solo. Por exemplo, Bond & Willis (1969) citados por Bragagnolo (1990) verificaram que a taxa constante de evaporação de 8 mm dia^{-1} em solo descoberto foi reduzida para menos de 2 mm dia^{-1} com 6.720 kg ha^{-1} de palha de centeio distribuída uniformemente sobre a superfície.

Os sistemas de preparo do solo afetam os processos de infiltração, retenção, armazenamento e evaporação de água. Alteram a infiltração de água pelas modificações introduzidas na rugosidade superficial, na porosidade e na cobertura do solo (Hillel, 1980). A distribuição e arranjos de poros afetam a retenção de água e a condutividade hidráulica do solo (Gupta, et al., 1983). Sistemas de preparo com intensa mobilização promovem a remoção da cobertura e a degradação do solo, tornando-o mais suscetível à formação da crosta superficial, que reduz drasticamente a taxa e o volume de infiltração de água (Duley, 1939). Diferentes sistemas de preparo resultam em variadas percentagens de cobertura, alteram as propriedades físicas e, com isso, proporcionam alterações nas taxas e quantidades de água perdida por evaporação (Gardner, 1983 *apud* Salton et al., 1995).

Durante anos com baixa distribuição de chuva, o crescimento de plantas no solo, que contém camadas adensadas, pode experimentar posterior à chuva estresse hídrico após períodos de 7 a 10 dias, quando o horizonte Ap tem baixa capacidade de reter água (Campbell, 1974). Além das condições climáticas e tipo de solo, o manejo dado ao solo é muito importante no aumento ou redução da disponibilidade hídrica para as plantas, pois, na agricultura, a água é essencial ao desenvolvimento das plantas e regula os demais fatores físicos do solo que influenciam diretamente o crescimento e a produtividade das culturas (Letey, 1985). Para tanto, a subsolagem pode ser usada para romper as camadas compactadas de solo para permitir o desenvolvimento de raízes em profundidade e incrementar a produção em anos secos. Como observado por Vepraskas et al. (1990) que, culturas como milho, algodão, soja e fumo tiveram incrementos significativos de produtividade.

4.3 Erosão hídrica do solo

A erosão hídrica do solo determinou grande parte da topografia existente atualmente, dentro do processo de erosão geológica. Com o início da agricultura as perdas de solo foram aceleradas pela retiradas total ou parcial da vegetação original, queima da serrapilheira e aração do solo, expondo assim à matéria orgânica a decomposição dos organismos e deixando o solo à ação direta da gota da chuva.

O cultivo do solo oferece maior risco de erosão nas regiões tropicais montanhosas, em virtude da alta intensidade das chuvas e da dificuldade de controlar a enxurrada nos terrenos declivosos (Bertoni, 1985). O problema é maior para os anos chuvosos, pois a época de preparo do solo coincide com a ocorrência de chuvas de alta intensidade, resultando em alta energia erosiva. Nesse sentido, Canali (1989) concluiu que as maiores perdas de sedimento ocorrem, nessas épocas, em função do solo estar desprotegido e revolvido, exposto à ação erosiva das chuvas. O resultado é a perda gradativa da capacidade produtiva, afetada, principalmente, pela degradação física do solo.

As perdas de solo e água por erosão hídrica manifestam-se de forma variável dependentes da interação do clima, solo, topografia, cobertura e manejo do solo e práticas conservacionistas (Wischmeier & Smith, 1978).

A erodibilidade do solo depende de várias propriedades do solo: textura, estrutura, matéria orgânica e permeabilidade (Wischmeier & Smith, 1978), tamanho e estabilidade de agregados (El-Swaify & Dangler, 1977; Foster, 1987; Veiga et al., 1993), umidade do solo (Lambe & Whitman, 1969), densidade do solo e resistência ao cisalhamento (Lambe & Whitman, 1969; Foster, 1987), limite de plasticidade, tipo de argila (El-Swaify & Dangler, 1977; Reichert & Norton, 1994a,b), capacidade de troca de cátions (Foster, 1977; Reichert & Norton, 1994a,b, 1996), área superficial específica (Reichert & Norton, 1994a,b), óxidos de ferro e de alumínio (Reichert & Norton, 1994a, 1996), entre outras.

A erosividade das chuvas é outro fator de suma importância dentro do processo erosivo do solo, sendo a intensidade o fator mais importante na erosão.

O volume e a velocidade da enxurrada dependem da intensidade, duração e freqüência da chuva (Bertoni, 1985).

Nas áreas agrícolas o período mais crítico da erosão hídrica é o que vai do preparo do solo até que a cultura ofereça suficiente proteção à área (Lombardi Neto et al., 1988). Na cultura do fumo, o espaçamento entre linhas é muito distante, não possibilitando cobertura total do solo no pleno desenvolvimento, isso, para permitir a passagem na aplicação de nitrogênio, desponte e colheita. Por isso, faz-se necessário a manutenção da palha entre linhas, para revestir o sulco deixado pelo preparo do camalhão, que além de diminuir as perdas de solo proporcionará um ambiente favorável para a maior exploração radicular.

A cobertura do solo é um dos fatores que mais interferem no processo erosivo. A presença de palha em superfície atua diretamente na absorção do impacto das gotas de chuva ao solo, age como barreira diminuindo a velocidade de transporte da enxurrada, além de aumentar a infiltração, conseqüentemente, diminui o volume das perdas de água e solo (Foster, 1982). Estudando a eficácia da cobertura do solo na redução da erosão hídrica, vários autores obtiveram perdas de solo cerca de 80 % menores em cultivos com resíduos culturais mantidos na superfície, em relação às do preparo convencional (Hernani et al., 1997). Bertol et al. (1989) concluíram que uma cobertura por resíduos culturais de 60 % da superfície resulta em acentuada redução da velocidade do escoamento superficial da água e em eficaz controle das perdas de solo, quando comparada à ausência de cobertura.

Os sistemas de manejos conservacionistas reduzem as perdas de solo, quando comparado com sistemas convencionais. Entre os sistemas com o mínimo de revolvimento o plantio direto tem sido efetivo em diminuir as perdas de solo, principalmente, pela dissipação da energia cinética da chuva através dos resíduos em superfície, evitando o selamento superficial, bem como pela redução da desagregação e capacidade de transporte pelo fluxo superficial. Com isso, há maior infiltração e menores perdas de solo (Foster, 1982).

A perda de nutrientes pela erosão hídrica é um dos principais fatores do empobrecimento dos solos, redução da capacidade produtiva, aumentos em custo de produção e maior contaminação ambiental (Schick et al., 2000; de Castro et al., 1996). As formas de expressarem as perdas são tanto em concentração do

elemento na forma particulada e, solúvel e no sedimento, como na quantidade perdida por área.

A concentração de determinado elemento na enxurrada varia principalmente com sua concentração no solo, que é influenciada pelas fertilizações, manejos e tipo de solo (Schick et al., 2000), mas a quantidade total transportada depende tanto da concentração do elemento no material erodido quanto do volume de material perdido (Seganfredo et al., 1997). Schick et al. (2000) quantificaram perdas de fósforo (P) e potássio (K) no sedimento e em suspensão, sendo elas maiores nos sistemas conservacionistas do que nos sistemas mais revolvidos, na média de três ciclos culturais, isso pela concentração dos nutrientes na camada de 0,0025 m. Os teores de P e K no sedimento foram, respectivamente, 4,5 e 1,6 vezes maiores na semeadura direta que na aração + gradagem, e na suspensão o P foi muito baixo e o K em média foi 3 vezes maior, podendo ser explicado por seus maiores teores na camada de 0 a 0,025 m de solo e no sedimento. No mesmo estudo, Schick et al. (2000) observaram, na semeadura direta, que o teor de P e K no sedimento da erosão foi de 152 e 32 vezes maior do que na suspensão, respectivamente. Com isso, os autores destacaram o sério problema que o fósforo pode causar no ambiente aquático pela eutrofização das águas, além de contribuir na elevação dos custos de produção. Contudo, as perdas de nutrientes são em função da quantidade de material erodido, aumentado ainda pelo caráter seletivo da erosão, que arasta a partículas mais fina carregando a fração mais fértil do solo (Seganfredo et al., 1997; Schick et al., 2000).

4.4 Impedimentos ao crescimento radicular

A extensão das raízes no subsolo pode ser inibida por condições físicas e químicas não favoráveis (Vepraskas, 1986b). As propriedades físicas do solo afetam o crescimento radicular (Russell, 1977), incluindo-se a temperatura, aeração, impedimento mecânico e tamanho e continuidade de poros. Com relação às propriedades químicas, o alumínio (Al) tóxico ou a deficiência de cálcio (Ca) causam a morte ou deformações nas raízes de várias plantas (Adams & Moore, 1983; Kamprath, 1984).

As limitações químicas ao crescimento radicular proveniente da toxidez do Al ou deficiência de Ca podem ser advindas das características evolutivas do solo, mas também podem ser aumentadas pelas perdas de solo, que diminuem a camada explorável de solo e o teor de matéria orgânica, que é a principal responsável pela ligação com o Al tornando-o menos tóxico as raízes.

As condições físicas que limitam a proliferação das raízes no subsolo são freqüentemente relatadas em camadas compactadas (tillage pans) que desenvolvem abaixo da camada arável (Campbell et al., 1974). Com esses manejos têm-se alta densidade, baixa macroporosidade e impedimento mecânico grande o suficiente para reduzir o crescimento (Vepraskas, 1986b). Quando essa camada está presente, muitas vezes o desenvolvimento radicular no subsolo ocorre nas fraturas.

Solos podem ser naturalmente compactados por conseqüência da composição textural, regime de umidade, ou a maneira com que ele foi formado. Naturalmente camadas compactadas subsuperficialmente podem consistir em blocos densos de sedimentos granulados, como serem parcialmente cimentados. Camadas endurecidas, chamadas no inglês de *hardpans*, podem ter textura variada, as quais, em casos extremos, exibem linhas de pedras (*Fragipans*) e são quase totalmente impermeáveis às raízes, água e ar. Várias observações têm mostrado que raízes eventualmente penetram em zonas compactadas e que raízes de várias espécies têm marcante habilidade de entrar e alargar fendas de rochas, estradas e fundações. Em casos que o solo possui camadas altamente compactadas e rígidas, as raízes das plantas podem confinar-se quase totalmente por entre fendas e planos clivados (Taylor et al., 1966 *apud* Hillel, 1998). Na busca de saída por fraturas, as raízes das plantas não são meramente agentes passivos, pois causam contração junto à zona de extração de água.

A resistência mecânica à penetração e o decréscimo da aeração em solos compactados podem limitar a elongação e as funções das raízes. Esses limites de condições de solo são sinérgicos e difíceis de serem separados (Asady et al., 1989). Vepraskas e Miner (1986a) avaliaram relações *in situ* entre impedância mecânica e concentração de raízes de fumo para tratamentos subsolados e não subsolados em três Paleudults com camadas compactadas (*tillage pans*), com teores médios de argila nos horizontes Ap e E-B de 3 e 6 %, respectivamente. A

concentração foi avaliada aos 52 a 75 dias após transplante (DAT) e o impedimento mecânico medido com índice de cone (IC) determinados em intervalos de 6 a 14 dias. Médias aritméticas de valores de IC foram computadas entre profundidade, por cada local, para ambos os momentos de observação radicular e comparado para a concentração de raízes. A proporção de raízes abaixo do horizonte Ap foi significantemente maior no tratamento com solo subsolado, em três locais aos 52 DAT e em dois, de três, aos 75 DAT. Os valores de IC foram significativamente correlacionados com a concentração de raízes com *r* de -0,79 e -0,88 nas respectivas datas. A subsolagem reduziu o IC nas camadas compactadas após os 42 DAT, e esse resultado foi maior para o desenvolvimento das raízes abaixo dessas camadas.

Segundo Vepraskas e Miner (1986a), a relação de elongação, a percentagem de penetração e a concentração de raízes decresceram progressivamente quando o impedimento mecânico aumentou de 0,0 para 3,2 MPa. Nesse mesmo estudo, os autores sugeriram o valor de ≥ 2,8 MPa como média de IC nos *tillage pans*, pois o número de raízes abaixo do horizonte Ap foi incrementado por aberturas na camada compactada pelo subsolador.

Segundo Veprasks et al. (1987), a densidade máxima para a cultura do fumo foi de 1,63 Mg m^{-3}. Na média de quatro anos, o incremento de produção de fumo foi 9,7 % maior em solo subsolado em comparação com solo não subsolado com presença de camadas compactadas.

Os sistemas radiculares são comumente restringidos em extensão por decréscimo da aeração nas regiões profundas do perfil do solo. A baixa aeração pode inibir a absorção de água e induz o início do murchamento (Stolzy et al., 1963 *apud* Hillel, 1998). De acordo com Kramer e Boyer (1995), a aeração restritiva causa um decréscimo na penetrabilidade de água para as raízes.

Estudos envolvendo subsolagem foram feitos com poucos solos e usualmente com solos que tem bem definido *tillage pans* ou similares camadas densas de solo. Essas camadas, muitas vezes, restringem o desenvolvimento radicular e reduzem o rendimento, particularmente em anos secos (Kamprath et al., 1979). A profundidade e espessura dessas camadas variam, mas a restrição radicular ocorre entre 0,2 a 0,4 m de profundidade (Vepraskas et al., 1990). Conforme o relato dos autores, a subsolagem melhorou claramente o

desenvolvimento em vários solos, mas não se conhecem os valores específicos para propriedades físicas do solo que podem identificar se a subsolagem pode incrementar o desenvolvimento abaixo do horizonte Ap. A medida de IC *in situ* pode propriamente caracterizar essas camadas; contudo, em solos que possuem continuidade de poros ou fendas, essa medida não irá relacionar-se com o real crescimento radicular.

A subsolagem reduz o impedimento mecânico (Cassel, 1982), permitindo que as raízes cresçam ainda no início da fase de crescimento, mas essa prática torna-se impossível de ser aplicada em áreas altamente declivosas e com o subsolo apresentando rochas em estado inicial de decomposição como encontrada em Neossolo litólico. Os agricultores convivem com esse problema e algumas técnicas como o preparo do camalhão ajuda a aumentar a exploração das raízes em profundidade, pela amontoa feita, mas no sentido perpendicular a linha, o sistema praticamente fica confinado em torno de 0,30 m em cada lado da planta.

Nos últimos anos, grande quantidade das pesquisas foi relacionada com a compactação do solo por tráfego de máquinas, no plantio direto, para culturas como o milho, a soja e o feijão, em solos bem desenvolvidos. Entretanto, estudos em solos pouco desenvolvidos, que apresentam um impedimento natural, são dificilmente encontrados.

O monopólio da cultura de fumo pelas grandes multinacionais fez que a pesquisa no Brasil, com essa cultura, dificilmente foi realizada por instituições públicas de pesquisa. Entretanto, muitos agricultores sobrevivem do cultivo de fumo e, apesar do pacote tecnológico aplicado pelas empresas, existem muitos problemas relacionados com os manejos aplicados ao solo.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização e caracterização do experimento

O experimento foi conduzido em área particular do agricultor Adair Stefenon, em uma microbacia hidrográfica situada na latitude 28 ° 16 ' sul, longitude 67 ° 35 ' oeste localizada no município de Agudo, região da depressão central do Rio Grande do Sul. A condução do experimento foi de abril de 2004 a fevereiro de 2005, iniciando com a implantação da cultura de cobertura e posterior desenvolvimento da cultura do fumo.

O relevo da microbacia do Arroio Lino é fortemente ondulado a escarpado, com altitudes que vão de 120 a 480 metros (Dalmolin, 2003). A declividade média das unidades experimentais situou-se próximo aos 0,23 m m^{-1} e 0,02 m m^{-1} nas linhas de cultivo (camalhão).

O clima da região é do tipo Cfa, segundo a classificação de Köppen, ou seja, clima subtropical úmido sem estiagem, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e a temperatura do mês mais frio entre -3°C e 18°C. As chuvas são normalmente bem distribuídas variando de 1300 a 1800 mm ano^{-1}, com maiores valores em maio e junho (Moreno, 1961).

O solo é um Neossolo litólico eutrófico típico (EMBRAPA, 1999). Nas tabela 1 e 2 encontram-se a média dos valores de granulometria e parâmetros químicos do solo nas unidades experimentais, respectivamente.

Tabela 1- Composição granulométrica do horizonte Ap de um Neossolo litólico.

Variável	Calhaus	Cascalho	Composição textural			
			Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
	----------	----------	---------- g kg^{-1} ----------	----------	----------	----------
Média	80	257	475	7	359	119
DM*	50	60	32	1	30	11
CV (%)**	66	31	9	11	11	13

* DM Desvio da média; **CV. Coeficiente de variação; Calhaus (>20 mm); Cascalho (2-20 mm); Areia grossa (2-0,2 mm); Areia fina (0,2-0,05 mm); Silte (0,05-0,002mm); Argila (< 0,002mm).

Tabela 2- Propriedades químicas do solo na região de exploração radicular. Valores médios das unidades experimentais.

Variável	pH água	MOS*	P-Mehlich	K	Ca	Mg	Al	SB**
	1:1	% m/v	Mg dm^{-3}	mg dm^{-3}	--------$cmol_c$ dm^{-3}------			%
Média	5,25	1,15	76	408,92	27,22	6,05	0,55	90,88
DM***	0,28	0,20	0,00	65,37	2,59	0,31	0,33	1,90
CV (%)****	7,76	19,33	0	13,76	11,85	6,05	81,02	2,27

*Matéria orgânica do solo; **Saturação de bases; ***DM Desvio da Média; ****CV. Coeficiente de variação.

A área, antes da instalação do experimento, foi cultivada por oito anos com fumo na safra e milho na safrinha e, raramente, a utilização de culturas de cobertura no inverno. O manejo empregado era o cultivo mínimo (preparo do camalhão) com aterramento nas fases iniciais da cultura do fumo.

5.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi blocos ao acaso com três repetições e seis tratamentos. A unidade experimental para o cultivo do fumo possuiu a dimensão de 10 x 15 m (150 m^2).

Os tratamentos variaram pela utilização do pousio ou pelo incremento de cobertura do solo com cultura da aveia preta (*Avena estrigosa Schieb*), também foi testada a época de preparo do camalhão, sua utilização ou não e o aterramento aos 40 dias após transplante (DAT). Essas variáveis foram selecionadas buscando a forma de manejo que a maioria dos agricultores utiliza na MBH, mas também testando alternativas de manejos conservacionistas.

Os tratamentos estudados foram (Figura 1) preparo convencional (PC), implantado com uma aração sobre pousio + gradagem em pré-tranplante e posterior preparo do camalhão para aplicação da adubação e aterramento aos 40 DAT com aplicação de nitrogênio; cultivo mínimo sobre pousio (CMP), implantado somente com o preparo do camalhão + adubação sobre o pousio em pré-tranplante e aterramento aos 40 DAT; cultivo mínimo sobre aveia (CMA), implantado com uma aração + gradagem para a semeadura da aveia e somente

com o preparo do camalhão + adubação em pré-transplante; plantio direto com camalhão (PDcC) implantado com uma aração + gradagem e preparo do camalhão antes da semeadura da cultura de aveia e em pré-transplante foi feito um pequeno sulco (0,1 m) para a adubação; plantio direto com camalhão consolidado (PDcCC), proveniente do cultivo anterior, onde a semeadura da aveia foi feita em período chuvoso sem a necessidade de revolvimento do solo e aplicação da adubação similar à do PDcC; plantio direto sem camalhão (PDsC), implantado com uma aração + gradagem para semeadura da aveia e aplicação da adubação similar à do PDcC.

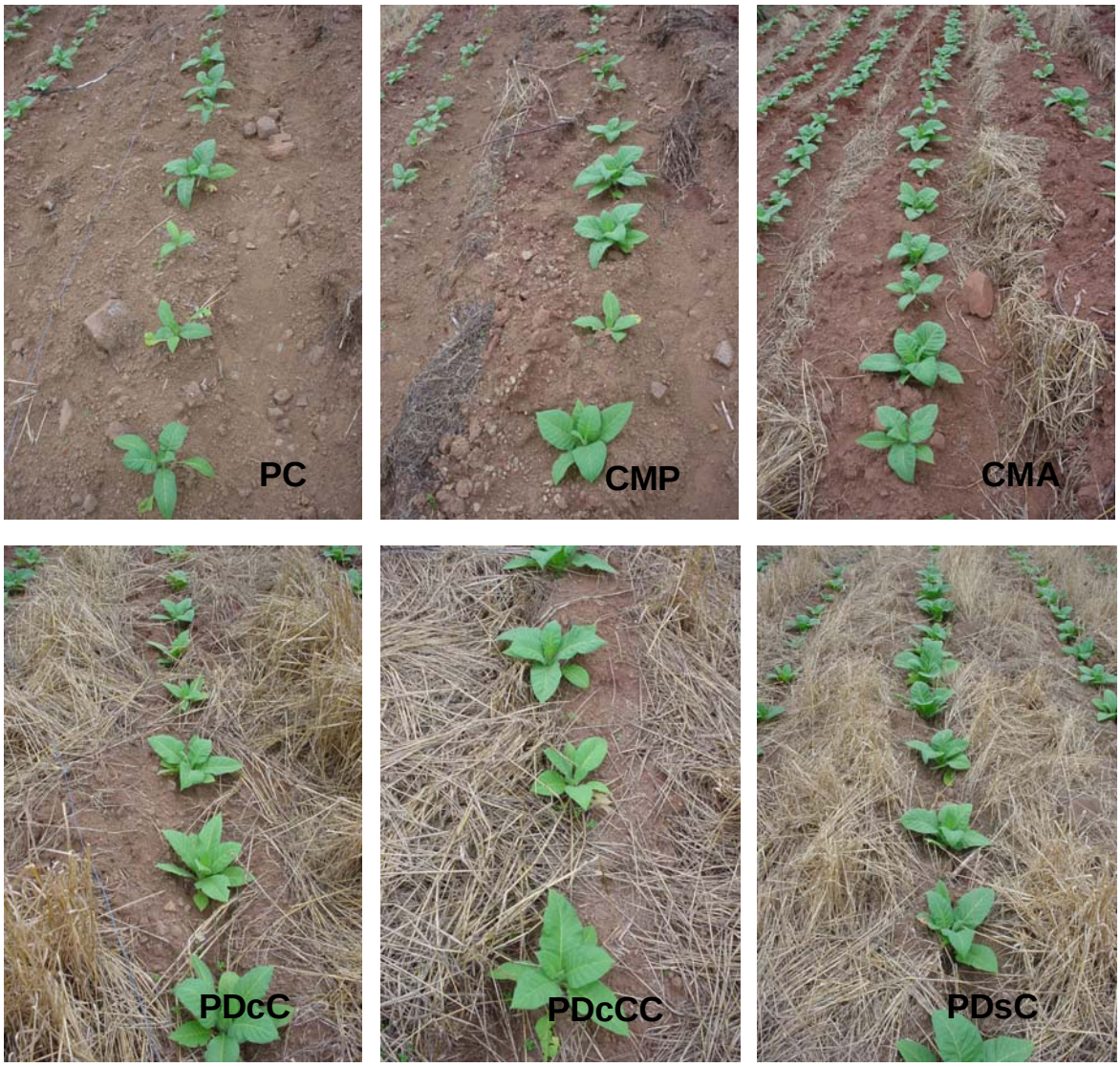


Figura 1- Manejos do solo para a cultura do fumo aos 30 dias após transplante, preparo convencional (PC), cultivo mínimo pousio (CMP), cultivo mínimo aveia (CMA), plantio direto com camalhão (PDcC), plantio direto com camalhão consolidado (PDcCC) e plantio direto sem camalhão (PDsC).

5.3 Implantação da cultura do fumo

A semeadura do fumo foi feita no mês de junho e as mudas desenvolveram no sistema floating abrigadas do clima frio por cobertura plástica na forma de uma mini estufa de cultivo.

As mudas ao atingirem 4 a 6 folhas sofreram desponte de folhas para engrossamento do caule e melhorar o índice de pegamento no campo. O transplante das mudas de fumo foi feito no dia 12/09/2004, com espaçamento entre linhas de 1,2 m e distância entre plantas de 0,45 a 0,50 m. Com isso, a uma população pode variar de 16 a 18 mil plantas por hectare.

O preparo do solo, a adubação e o transplante foram feitos com a utilização dos equipamentos disponíveis pelo agricultor e de uso geral na região. A aração, o camalhão e o aterramento foram feitos com arado aiveca reversível (Figura 2a e 5b, respectivamente) e a gradagem foi feita com uma grade modelo triangular com pinos (Figura 2b), esses equipamentos foram puxado por tração animal.

A adubação do solo para a cultura do fumo foi baseada na quantidade recomendada pelas agroindústrias fumageiras com 850 kg ha^{-1} da fórmula 10-18-20 de NPK no transplante e duas coberturas com salitre do Chile[1], aos 40 e 68 DAT, aplicando aproximadamente 900 kg ha^{-1} da fórmula 23-00-12 de NPK.

A aplicação do adubo foi realizada no dia anterior do transplante com um distribuidor manual, tipo regador de jardim, com regulagem de vazão para adaptar a velocidade do operador (Figura 3a). Nos manejos com preparo do camalhão em pré-tranplante (PC, CMP, CMA), a forma de aplicação foi feita abrindo um sulco com o arado aiveca e posterior aplicação do adubo, cobrindo esse com o solo deslocado por outro sulco. Nos manejos de plantio direto, a forma de incorporação do adubo foi feita com um arado sulcador (Figura 3b) com uma passada para abertura e após feita a aplicação do adubo era passado novamente para fazer a incorporação, mas dessa forma o adubo ficou mais em superfície que na outra forma de aplicação.

[1] Salitre do Chile possui uma composição de NPK de 15-00-25 com nitrogênio na formula química de $NaNO_3$ e o potássio é KNO_3.

O plantio foi executado com uma máquina manual que necessitava de uma pessoa para colocar a muda e outra para operá-la (Figura 4).

A forma de aplicação de nitrogênio foi com uma máquina manual com regulagem da quantidade aplicada que possibilita a aplicação próxima à raiz da planta à aproximadamente 0,05 m de profundidade (Figura 5a). Nos sistema PC e CMP, nos quais foi feito o aterramento, o nitrogênio foi aplicado na mesma dosagem que nos demais.

Figura 2- Arado tipo aiveca (a) e grade triangular de pinos (b) de tração animal.

Figura 3- Distribuidor manual de adubo (a) e arado tipo sulcador (b).

Figura 4- Máquina para transplante das mudas de fumo

Figura 5- Máquina para aplicação de nitrogênio (a) e aterramento com arado tipo aiveca (b).

5.4 Determinações

5.4.1 Cobertura do solo

O grau de cobertura do solo foi determinado aos 40 DAT do fumo, discriminando a cobertura do solo por pedra, palha e planta (fumo), perpendicularmente aos camalhões, com duas repetições por parcela e 12 leituras espaçadas em 0,1 m.

5.4.2 Propriedades térmicas e hídricas do solo

As propriedades térmicas e hídricas avaliadas foram temperatura do solo, umidade volumétrica do solo, curva de retenção de água do solo, capacidade de campo e ponto de murcha permanente.

A temperatura do solo foi determinada com um sistema eletrônico com datalogger (CR 10x wiring panel), multiplexador (AM 25T) e termopares nas extremidades dos fios, instalados na profundidade de 0,05 m (Figura 6), localizados a aproximadamente 0,1 m da linha de plantio e entre as plantas.

A umidade volumétrica do solo foi medida com sistema eletrônico contendo reflectômetro de domínio de tempo (TDR-100), datalogger, multiplexadores e hastes de 0,23 m de comprimento, sendo instaladas nas profundidades de 0-0,06, 0,06-0,12 e 0,12-0,18 m (Figura 7), no sentido horizontal, localizados a aproximadamente 0,1 m da linha de plantio e entre plantas.

Esses sistemas possibilitaram a programação de leituras com intervalo de 30 minutos e armazenamento em memória portátil durante 87 dias (17 a 103 DAT).

1. Bateria
2. Placa solar
3. Multiplexador
4. Datalogger
5. Memória
6. Cabo
7. Termopar

Figura 6- Sistema eletrônico para determinação da temperatura do solo.

1. Bateria
2. Placa solar
3. Multiplexadores
4. Datalogger
5. TDR- 100
6. Memória
7. Hastes

Figura 7- Sistema eletrônico para determinação da umidade volumétrica do solo, com o TDR-100 (Time Domain Reflectometer).

A curva de retenção de água (CRA) no solo foi feita com amostras de estrutura preservada em cilindros de 0,06 m de diâmetro e 0,03 m de altura, sendo elas coletadas aos 30 DAT nas profundidades de 0-0,06, 0,06-0,12, 0,12-0,18 e 0,18-0,24 m. As amostras seguiram seqüência de tensões e equipamentos de, 1 e 6 kPa na mesa de tensão, 33 e 100 kPa na câmara de pressão de Richards e com as amostras deformadas no equipamento “WP4 Dewpoint potentia Meter”, foram determinadas as tensões 300; 500; 900; 1200 e 1500 kPa. O modelo van Genuchten (1980) para ajuste da CRA não foi possível ajustar. Para tanto foi aplicada uma curva que passou por todos os pontos observados.

Os limites de capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) foram obtidos através da curva de retenção de água, nas tensões 10 kPa para a CC e 1500 kPa para o PMP.

5.4.3 Erosão hídrica do solo

A erosão hídrica do solo foi avaliada através das perdas de solo, água e nutrientes como fósforo e potássio solúvel e total.

A água e sedimento perdidos pelo escoamento superficial foi coletada em dois blocos, com declividade do camalhão de 0,02 m m^{-1}, por meio de uma área

1,2 m^2 demarcada com chapas galvanizadas (Figura 8), conduzindo a enxurrada a um recipiente de 20 litros. O volume de enxurrada foi quantificado no campo com proveta. Uma amostra em torno de 900 ml foi conduzida ao laboratório para quantificação da concentração de sedimentos. Nessa determinação, utilizou-se aproximadamente 300 ml do escoado condicionando-o em latas metálicas, o qual permanecia na estufa a 105°C até evaporação completa da água. Outra sub-amostra era conduzida ao laboratório de química do solo para determinação de P e K total e solúvel.

O P total e solúvel foi quantificado segundo adaptação feita por Pellegrini (2005). A amostra para determinar o teor de P e K solúvel foi agitada para homogeneizar os sedimentos e retirada uma alíquota de 40 ml que foi filtrada em uma membrana de celulose com poros de diâmetro inferiores a 0,45 µm. Na solução filtrada foi determinado o P solúvel (Ps) pelo método de Murphy & Riley (1962) e K em leitura direta no espectrofotômetro de chama (Tedesco, 1995).

O P e K total foram determinados por digestão ácida (H_2SO_4 + H_2O_2) na presença de $MgCl_2$ saturado (Brookes & Polwson, 1982). Para essas determinações foram utilizados 0,05 g de sedimento, secos em estufa a 60°C.

Figura 8- Sistema para coleta de enxurrada, com dimensões de 1,2 m de largura e 1 m de comprimento.

5.4.4 Impedimentos ao crescimento do sistema radicular

Avaliações no sistema radicular e determinações físicas e químicas do solo foram feitas para diagnosticar impedimentos para o crescimento do sistema radicular da cultura do fumo. Avaliações como, profundidade máxima, distribuição e massa seca de raízes foram feitas relacionando-as com a resistência à penetração, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo e a disponibilidade de fósforo e potássio.

A resistência mecânica do solo à penetração (RP) foi determinada ao término da última colheita, aos 140 DAT, com um penetrômetro digital manual marca (Remik CP 20 Ultrasonic Cone Penetrometer) de armazenamento eletrônico dos dados e leituras realizadas a cada 0,015 m de profundidade, possuindo ponta cônica com ângulo de penetração de 30º e base de 0,01283 m de diâmetro. As leituras eram armazenadas quando se atingisse a profundidade de 0,4 m ou quando a resistência máxima ultrapassava 4 MPa ou, ainda, quando a força do operador podia danificar o equipamento, nesses casos assumia-se a leitura máxima atingida e a repetia até os 0,4 m. Essa determinação foi feita sobre a linha de plantio ao lado da planta que era arrancada e medida a profundidade máxima de penetração das raízes secundárias e terciárias. Em cada unidade experimental foram feitas 12 pontos espaçados a cada 3 metros em 3 linhas, intercaladas. Essa determinação teve por objetivo diagnosticar a profundidade máxima de impedimento à penetração das raízes, pois o solo era raso com a presença de um horizonte subsuperficial com rochas em estado inicial de decomposição.

A determinação de massa seca de raízes por volume de solo foi coletada através de um cilindro de 0,45 m de diâmetro, posicionando a planta ao centro, retirando o solo ao redor e aprofundando-o ao solo para posterior coleta do solo e raízes em camadas de 0,05 m (Figura 10). Utilizou-se uma peneira de 0,005 m para retirada mais grosseira do solo e no laboratório as raízes eram lavadas e secas a 105°C para quantificação de sua massa.

Figura 9- Coleta de raízes por volume de solo, com anel metálico de 0,45 m de diâmetro, em camadas de 0,05 m de solo.

As determinações de porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo foram realizadas aos 30 DAT nas profundidades de 0-0,06, 0,06-0,12, 0,12-0,18 e 0,18-0,24 m e aos 145 DAT nas profundidades de 0-0,06 e 0,06-0,12 m. As amostras foram coletadas com estrutura preservada em cilindros de 0,06 m de diâmetro e 0,03 m de altura.

A porosidade total (Pt) do solo pode ser calculada pela formula (1), onde Dp= densidade de partículas e Ds= densidade do solo.

$$(1) \qquad Pt = (1 - Ds/Dp)$$

A microporosidade foi obtida na mesa de tensão com sucção equivalente a 0,6 m de altura. A macroporosidade foi calculada pela subtração da microporosidade do valor da porosidade total.

A densidade do solo foi determinada nas mesmas amostras, as quais foram colocadas na estufa a 105°C para obtenção da massa seca de solo.

A distribuição do sistema radicular foi realizada no inicio da floração aos 76 DAT, segundo a metodologia de Böhm (1979), e “tábuas com pregos”, método descrito por Köpke (1981). Algumas unidades experimentais apresentavam variabilidade entre plantas; assim, escolheram-se duas plantas de tamanhos diferentes posicionadas lado a lado, denominando-as de PP = planta pequena e PG = planta grande, e em parcelas com tamanho homogêneo foi determinada somente uma planta por método, denominando-a como PR = planta representativa.

Para a descrição segundo Böhm foi cavada uma trincheira de 0,55 m de largura, 0,5 m de comprimento e 0,35 m de profundidade, posicionada a 0,05 m

da planta, no sentido perpendicular à linha de cultivo, expondo as raízes com um objeto pontiagudo sem danificar as raízes. Posterior as raízes foram lavadas para melhorar a visualização e posicionou um quadro de 0,5 m de comprimento e 0,3 m de profundidade, com quadrículas de 0,05 por 0,05 m para desenhar a distribuição do sistema radicular em uma escala menor para permitir que seja escaneado.

No método de “tábuas com pregos” foi cavada uma trincheira de 0,55 m de largura, 0,35 m de comprimento e 0,35 m de profundidade, posicionada a 0,04 m da planta, no sentido perpendicular à linha de cultivo. As tábuas de madeira possuíam pregos com 0,08 m de comprimento, espaçados em 0,05 m no sentido vertical e 0,02 m no sentido horizontal. Após a abertura da trincheira a tábua era cravada ao solo, na região da ponta dos pregos as raízes e o solo eram cortados, permanecendo assim somente as raízes dessa secção. Esse método também permitiu coletar o solo que se encontrava na zona de exploração radicular para análise de disponibilidade de nutrientes (Figura 9a). Após a coleta do solo as raízes eram lavadas e fotografadas (Figura 9b e anexo A a F).

Figura 10- Solo explorado pelo sistema radicular coletado para disponibilidade de nutrientes (a); e distribuição do sistema radicular pelo método do perfil cultural coletado com “tábua com pregos” (b).

A disponibilidade de P e K na região de exploração radicular foi determinada com o uso de resinas trocadoras. Para tanto, foi pesado 0,05 g de solo condicionado em tubos com tampa de pressão. Adicionou-se uma lâmina de RTA e uma de resina trocadora de cátions (RTC), presas uma a outra pelas suas extremidades de forma a evitar o contato entre as suas superfícies de troca, sendo saturadas com $NaHCO_3$ 0,5 mol l^{-1}. Os tubos foram agitados por 16 horas, em agitador sem fim (do tipo end-oven-end), a 33 rpm e temperatura de ± 25°C. Posteriormente, as lâminas de resina foram retiradas dos tubos, lavadas

levemente com jato d'água para retirada dos resíduos de sedimento e colocadas em tubos com 10 ml de HCl 0,5 mol l^{-1}. Os tubos permaneceram destampados por 90 min e após foram fechados e agitados por 30 min (agitador horizontal). Em seguida foi retirada do extrato uma alíquota de 3 ml para determinação do teor de P de acordo com Murphy & Riley (1962) e K por leitura direta no espectrofotômetro de chama (Tedesco, 1995) .

5.4.5 Crescimento e produtividade da cultura do fumo

As avaliações do crescimento das plantas foram feitas através do índice de área folhar (IAF), comprimento e massa de caules e número de folhas. A produtividade foi determinada em área pré-estabelecida com posterior classificação qualitativa das folhas.

A área folhar foi determinada aos 30, 40 e 63 DAT em três plantas por unidade experimental. As medidas eram feitas da base de inserção do limbo à ponta da folha e perpendicular a essa na parte mais larga da folha. Foram medidas folhas com mais de 0,05 m de comprimento. A área foi determinada através da equação linear y= 0,5473 x + 28,277, a qual foi obtida com base em 40 folhas coletadas abrangendo a amplitude de medidas de campo, sendo a variável x o produto das duas medidas e y foi obtido em mesa digitalizadora.

O comprimento e a massa de caule e o número de folhas foram determinados após a última colheita aos 140 DAT, através da coleta de 10 plantas. Os caules eram cortados na superfície do solo e levados ao laboratório, com posterior medida de comprimento e número de inserção de folhas; após, foram condicionados em estufa e 65°C até que o peso não variasse.

A avaliação da produtividade e a contagem do número de plantas por área colhida para ajuste da produtividade foram feitas em uma área de 48 m^2, locada em quatro linhas centrais com 10 m de comprimento. As colheitas foram em seis datas feitas conforme a maturação das folhas que se davam de baixo para cima. As folhas eram secas na estufa usada para a secagem da produção do agricultor. O peso final e a classificação qualitativa das folhas foram realizados ao término do último processo.

A classificação foi feita segundo critérios aplicados pelo agricultor em sua produção, com cinco classes referenciadas por letras e números, sendo, X= folhas posicionadas na parte basal da planta; CO1= folhas da parte medianas da planta; BO1= folhas situadas na parte apical; G= folhas com manchas verdes causadas por injurias nas colheitas, transporte ou queimadas pelo sol; R= folhas escuras causadas por problemas de secagem.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Massa seca das plantas e grau de cobertura do solo

O cultivo de aveia apresentou uma grande produção de massa seca em relação às plantas hibernais espontâneas (Tabela 3), o que é essencial para solos degradados com baixo teor de matéria orgânica (Tabela 2). Na tabela 3, pode-se observar a pequena quantidade de matéria seca deixada pelos caules de fumo que ficam na lavoura, apesar da exportação média em folhas de fumo de aproximadamente 3 Mg ha^{-1} de matéria seca; assim torna-se essencial o cultivo de plantas que incrementem massa para que o balanço da matéria orgânica não se torne deficitário.

Tabela 3- Massa seca das plantas de cobertura e caules de fumo nos diferentes sistemas de manejo do solo.

Tratamentos e plantas de cobertura	Caules de fumo	Plantas hibernais
	----------Mg ha^{-1}----------	
PC, hibernais espontâneas	1,391 abc*	2,177 c
CMP, hibernais espontâneas	1,437 abc	2,233 c
CMA, aveia preta	1,497 ab	5,316 ab
PDcC, aveia preta	1,566 a	5,467 ab
PDcCC, aveia preta	1,307 bc	6,599 a
PDsC, aveia preta	1,251 c	4,900 b

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pela DMS a 5 % de erro;. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão.

O grau de cobertura do solo foi relacionado diretamente com a massa seca produzida pelas plantas cultivadas ou nativas hibernais e em maior intensidade com o preparo do solo, concordando com Cogo (1981) e Bertol (1995) (Tabela 3 e Figura 11). O revolvimento do solo aumentou a sua exposição (menor cobertura) mesmo que a quantidade de palha produzida no inverno fosse similar (Tabela 3), como foi no caso do CMA, que ultrapassou 40 % de exposição diferindo significativamente dos plantios diretos. Outro caso ainda mais evidente foi para o PC em relação ao CMP, mesmo eles não diferindo estatisticamente, em

que o aumento no preparo extinguiu a palha da superfície. A cobertura por plantas de fumo, apesar de ter sido determinada somente aos 40 dias após o transplante, não diferiu significativamente entre tratamentos, com tendência ao aumento no desenvolvimento da cultura, mas não atingindo a cobertura total em virtude do espaçamento utilizado. Por esse motivo, manejos que cobrem a entrelinha de cultivo podem favorecer inúmeras propriedades físicas, assim como diminuir a erosão. A cobertura por pedra mostra a diferença na forma de preparo, com maior exposição onde o solo estava menos coberto. Isso foi evidenciado após algumas chuvas onde o solo foi mobilizado e reacomodado e as pedras foram expostas pelas chuvas.

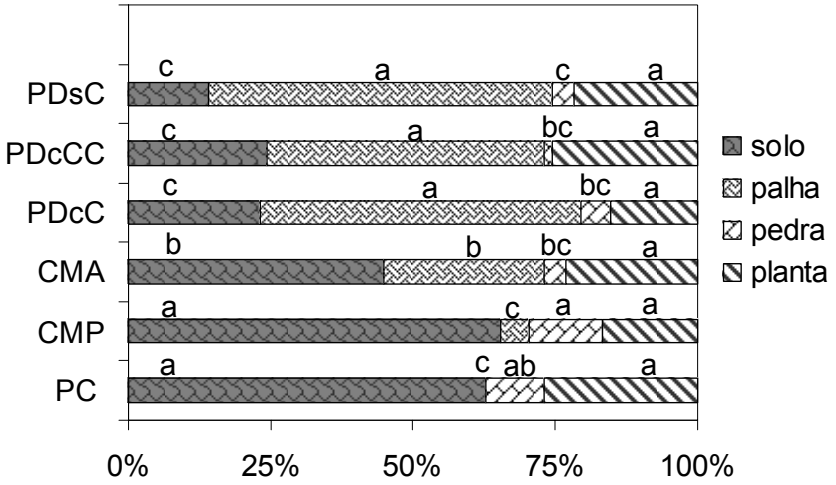


Figura 11- Percentual de solo exposto e cobertura por palha, pedra e planta aos 40 dias após transplante, nos diferentes tratamentos. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão. Componente avaliado seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo DMS a 5 % de erro.

6.2 Propriedades térmicas e hídricas do solo na cultura do fumo

A variação da temperatura do solo (figura 12) durante o ciclo da cultura do fumo apresentou uma grande amplitude, com maiores variações nos primeiros 55 DAT. Nesse período, em que as plantas de fumo apresentavam menor área foliar, visualizou-se maior influência da cobertura do solo por palha na diminuição da amplitude térmica. Isso ficou claro nos tratamentos PC, CMP e CMA, onde ultrapassaram várias vezes e em maior valor, a linhas de referência de 15 e 30°C.

Dos 55 aos 75 DAT houve uma redução da amplitude e média diária, em quase todos os tratamentos. Isso parece estar ligado ao aumento da umidade do solo (figura 15 e 16) e diminuição da insolação direta no solo, pelo aumento da área folhar (figura 34), concordando com Ghuman & Lal (1983). Esses autores observaram que o sombreamento feito por plantas em pleno desenvolvimento foi tão efetivo quanto a cobertura morta em reduzir a amplitude térmica.

A partir 75 DAT foi observado aumento na média da temperatura e redução do volume de água no solo, até aos 89 DAT, quando ocorreu uma precipitação pluvial de 31 mm (figura 13). A partir desse evento, nos cinco dias seguintes houve uma tendência de redução de temperatura e posterior ascensão na média diária. A temperatura foi inversamente relacionada com a umidade do solo (figura 13), demonstrando a relação dessas duas propriedades físicas, como também relatam Ghuman & Lal (1983). Conforme esses autores, a umidade do solo diminui a temperatura pelo aumento da capacidade de condução de calor no solo.

Os sistemas de manejo do solo afetaram a amplitude da temperatura do solo durante o ciclo. De maneira geral, os sistemas com maior cobertura do solo proporcionaram menor amplitude média durante o ciclo, como conseqüência houve menor número de horas fora dos valores estabelecidos de 15 e 30 °C (tabela 4)

Tabela 4- Variação, médias e soma térmica da temperatura do solo, durante 87 dias de avaliação, nos diferentes sistemas de cultivo de fumo.

Trat.	Temperatura (°C)				Temperatura média (°C)			Soma térmica (horas)	
	Máx	Mín	Amp	Méd	Máx	Mín	Amp	>30°C	<15°C
PC	34,6	11,8	22,8	22,1	27,0	17,6	9,4	96	125
CMP	35,6	11,0	24,6	22,0	27,4	17,5	9,7	102	159
CMA	37,2	10,3	26,9	21,6	27,0	17,3	9,7	75	156
PDcC	35,6	11,4	24,2	21,8	27,2	17,3	9,9	92	138
PDcCC	35,3	11,7	23,6	22,0	26,5	17,8	8,7	74	123
PDsC	33,4	12,4	21,0	21,4	25,8	17,8	8,0	50	106

Máx – máxima; Mín- mínima; Amp- amplitude; Méd- média; PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão.

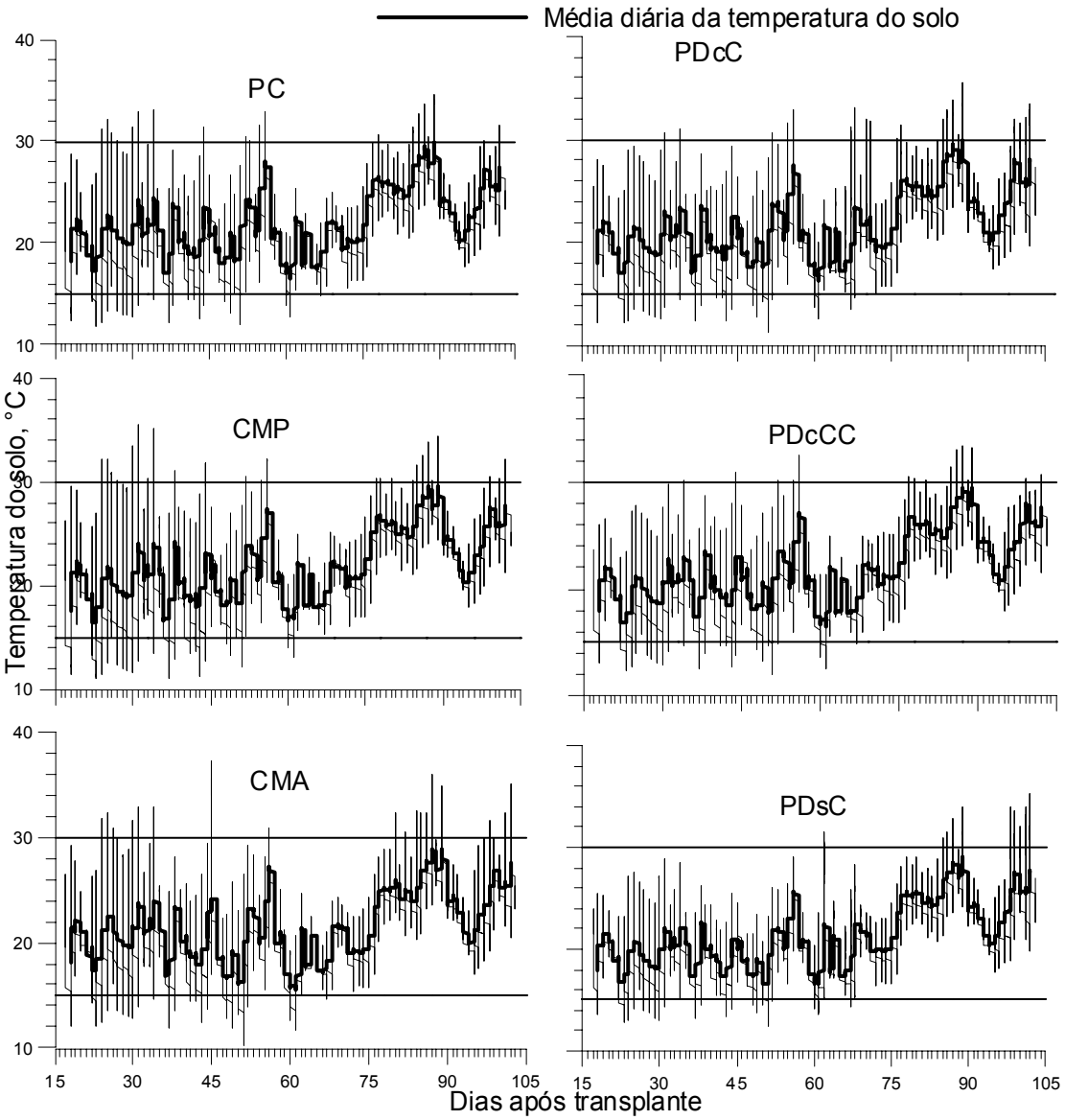


Figura 12- Variação temporal da temperatura do solo nos diferentes tratamentos durante 87 dias do desenvolvimento da cultura do fumo. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; (__) linha horizontal de referência para comparação visual.

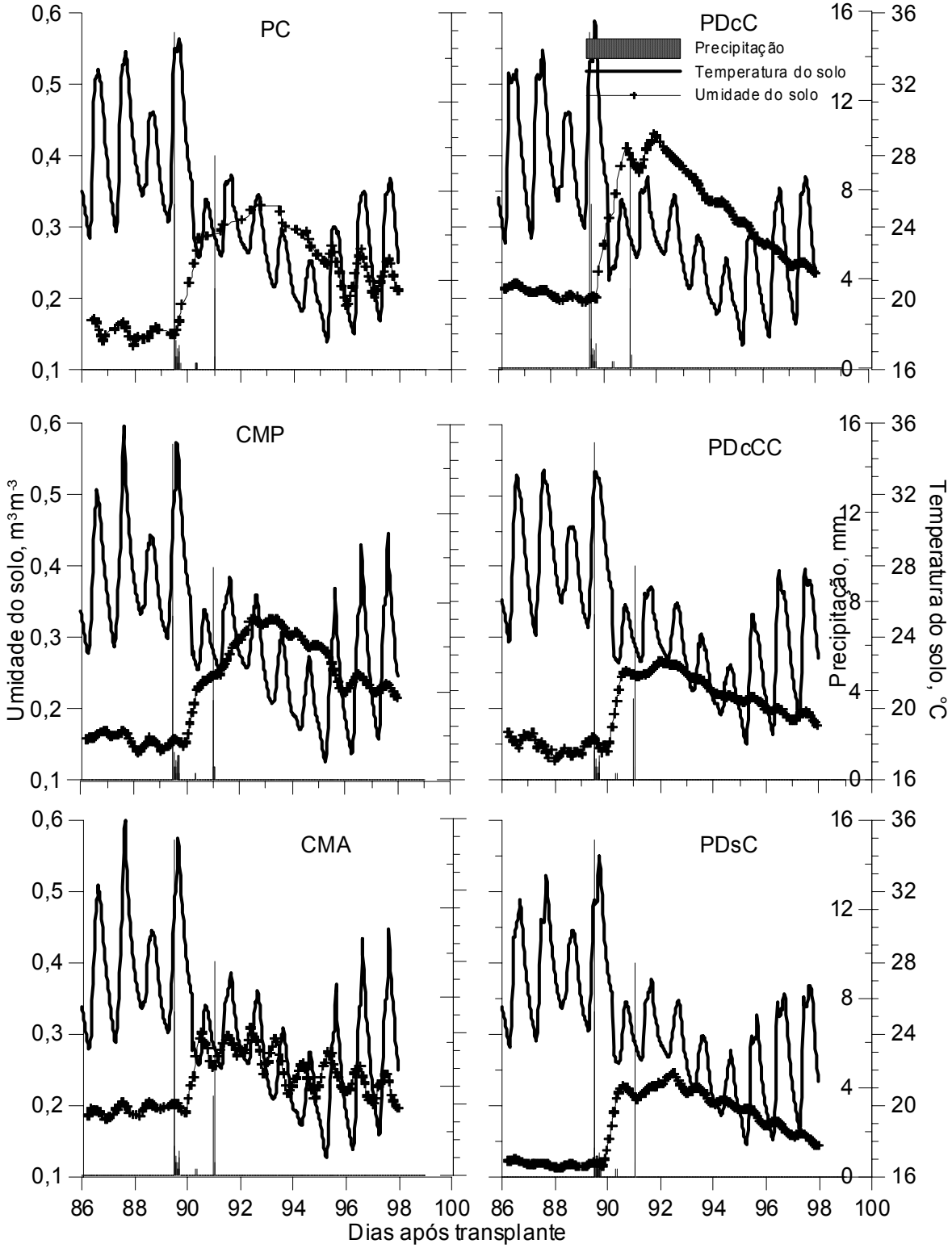


Figura 13- Variação temporal da temperatura e umidade do solo do solo nos diferentes tratamentos durante 12 dias no final do ciclo da cultura do fumo. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão;

Na análise da temperatura do solo feita aos 40 DAT, os tratamentos diferiram significativamente, essas diferenças foram evidenciadas em pontos de menores temperaturas que ocorriam em torno das 7 horas da manhã e em pontos de máximas que eram alcançados em torno das 15 horas (Figura 14), conforme observado por Unger (1978) e Bragagnolo et al. (1990). No período de máximas temperaturas do solo, o sistema PC chegou a diferir 6°C a mais que o PDsC, devido à não presença de palha na superfície do solo. Comportamento semelhante foi encontrado no tratamento CMP, evidenciando as rápidas variações de temperatura, com rápido resfriamento do solo durante a noite e um rápido aquecimento diurno. O sistema PDsC apresentou menor amplitude térmica proporcionado pelo alto grau de cobertura da cultura da aveia .

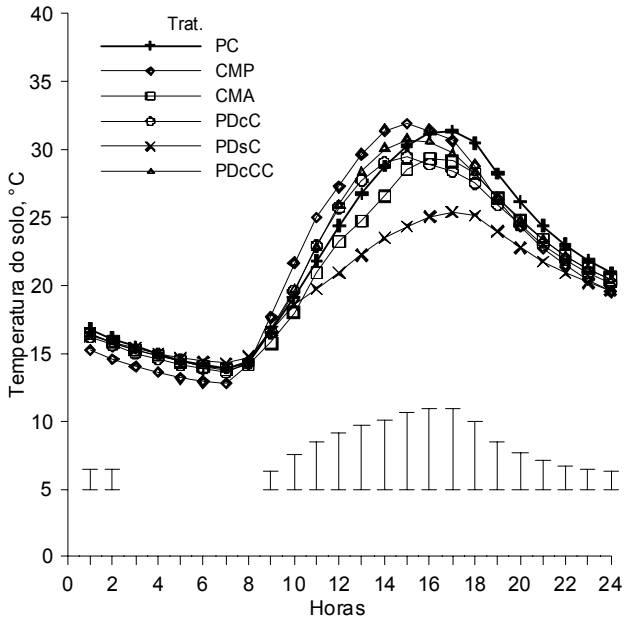


Figura 14- Temperatura do solo aos 40 DAT, nos diferentes manejos do solo. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais comparam médias pela diferença mínima significativa a 5 % de erro.

As medidas de variação temporal da umidade do solo foram feitas com o equipamento TDR-100 (time domain reflectometer), que possibilitou inúmeras determinações, mas também ocorreram algumas desvantagens, como um período sem leitura, por problemas no equipamento.

Os limites estabelecidos como ponto de murcha permanente (PMP= -1.500 kPa) e capacidade de campo (CC= -10 kPa) definem um intervalo de

umidade que se assume como água disponível. Esses limites expostos nas figuras 15 e 16 foram obtidos através das curvas de retenção de água do solo pelas médias nas profundidades de 0-0,06, 0,06-0,12 e 0,12-0,18 m, em cada tratamento. A faixa de água disponível foi de 0,19, 0,17, 0,19, 0,19, 0,20, e 0,19 m^3 m^{-3} para os tratamentos PC, CMP, CMA, PDcC, PDcCC e PDsC, respectivamente.

As precipitações pluviais foram, no início do desenvolvimento da cultura do fumo, bem distribuídas, como pode ser observado nas figuras 18 a 27 do item de erosão, enquanto no final do ciclo foram menos freqüentes, levando alguns tratamentos a atingir e até ultrapassar o PMP na camada superficial do solo. Contudo, sintomas graves de déficit hídrico nas plantas não foram visualizados, o que pode ter sido minimizada pela umidade contida nas camadas mais profundas do solo.

No CMA e PDcC a umidade do solo não atingiu o valor de PMP, ao contrário do PC que ficou em torno de 10 dias no limite crítico nas duas camadas superficiais avaliadas (0-0,06 e 0,06-0,12 m); situação similar ocorreu com o CMP que ficou 8 dias, abaixo da PMP, mas somente na camada de 0 a 0,06 m. Por outro lado, sistemas como o PDsC e o PDcCC que deveriam ser mais eficientes na manutenção da umidade do solo, ficaram o maior período de tempo fora da faixa de água disponível na camada de 0 a 0,06 m. Essa situação necessitaria de estudo mais aprofundado, mas podemos levantar algumas hipóteses, como a variabilidade espacial da área experimental, que através do sorteio o PDsC ficou com duas das três parcelas no ponto mais alto, e de solo mais raso do experimento, afetando assim a profundidade do solo para exploração das raízes e menor volume de água armazenada disponível às plantas.

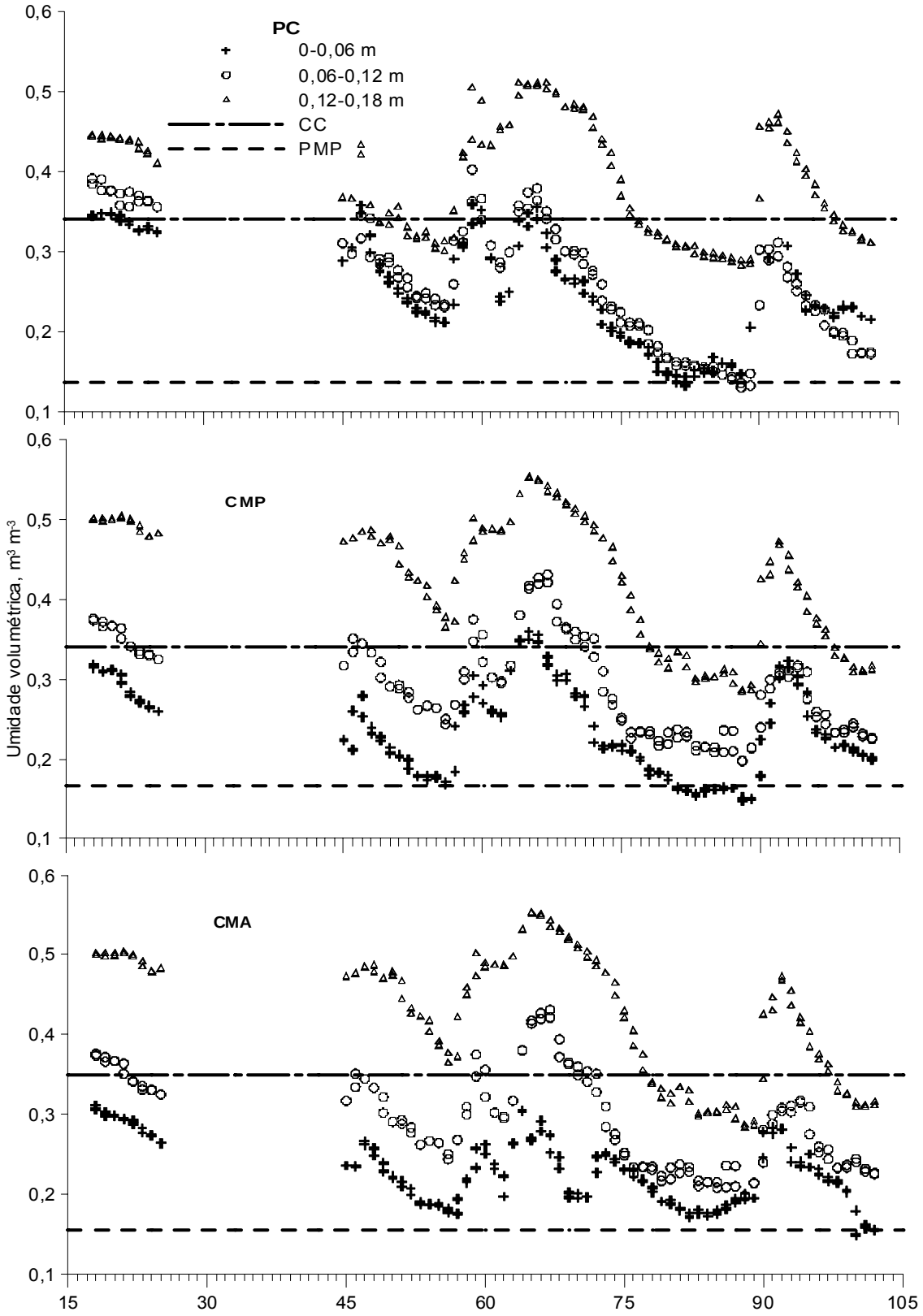


Figura 15- Variação temporal da umidade volumétrica do solo nos diferentes tratamentos durante 87 dias do desenvolvimento da cultura do fumo e valores de capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP). PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia.

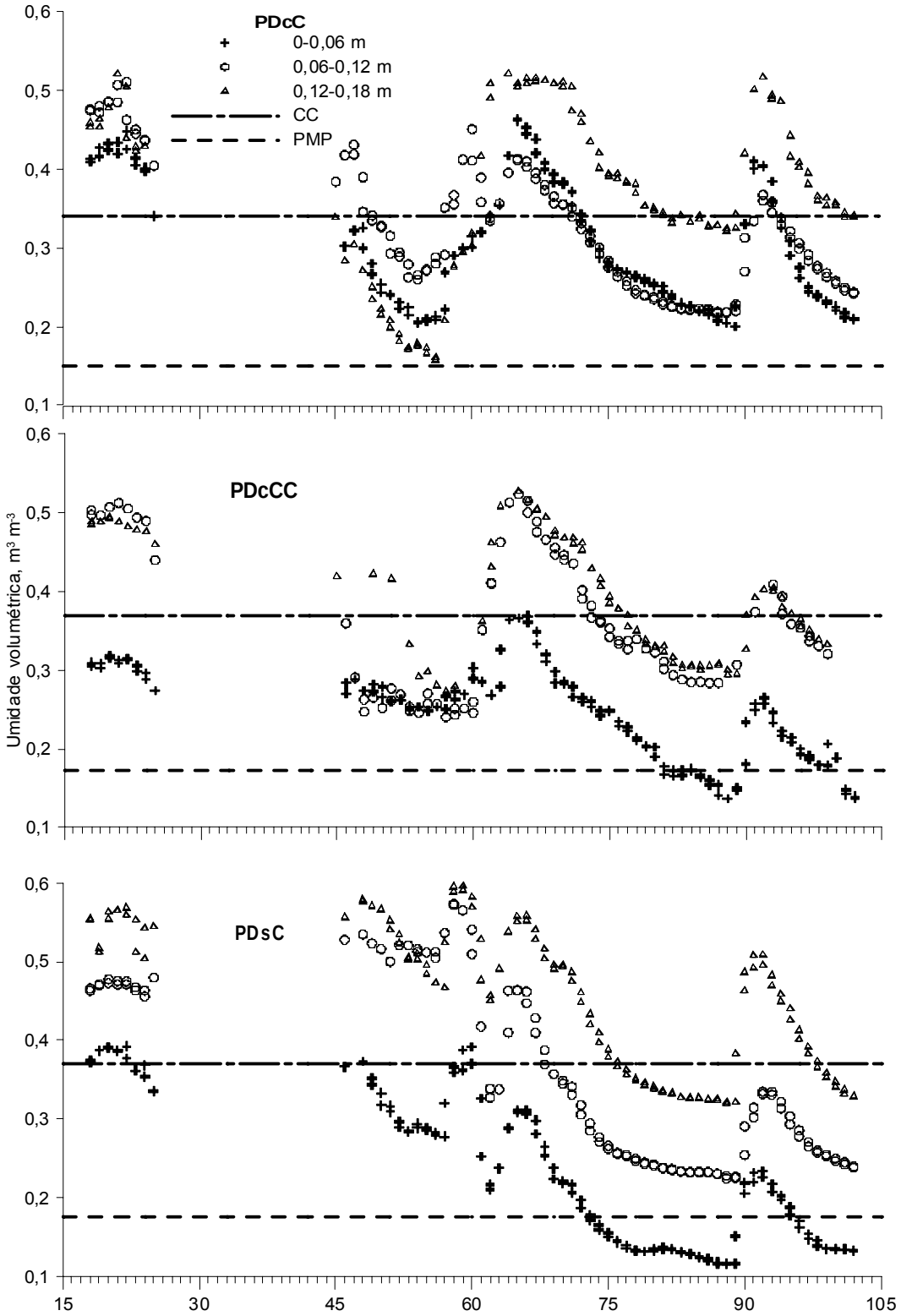


Figura 16- Variação temporal da umidade volumétrica do solo nos diferentes tratamentos durante 87 dias do desenvolvimento da cultura do fumo e valores de capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP). PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão.

As curvas de retenção de água no solo (CRA) para os diferentes tratamentos e profundidades não apresentaram bom ajuste pelo modelo van Genuchten. No entanto, foram aplicadas curvas que passam pelos pontos observados (figura 17). Nesses, grande parte não apresentaram diferença significativa, mas no geral, o solo sob as formas de plantios diretos estudados apresentou menor armazenamento de água no ponto de saturação, devido a sua estrutura mais consolidada, pois esses tratamentos não sofreram revolvimento no período de transplante como os demais. Nas tensões intermediarias de 10 e 100 kPa apresentavam maior volume de água retida, como pode ser observado através limites de capacidade de campo (-10 kPa) de 0,34, 0,34, 0,35, 0,34, 0,37 e 0,37 m m^{-3} para os tratamentos PC, CMP, CMA, PDcC, PDcCC e PDsC, respectivamente. Nas tensões maiores de 100 kPa houve uma aproximação entre os valores obtidos nos tratamentos. De acordo com Hillel (1998), à maior tensão (solo mais seco), a retenção de água dá-se basicamente por adsorção, que depende fundamentalmente da textura do solo, havendo pouca influência da estrutura do solo.

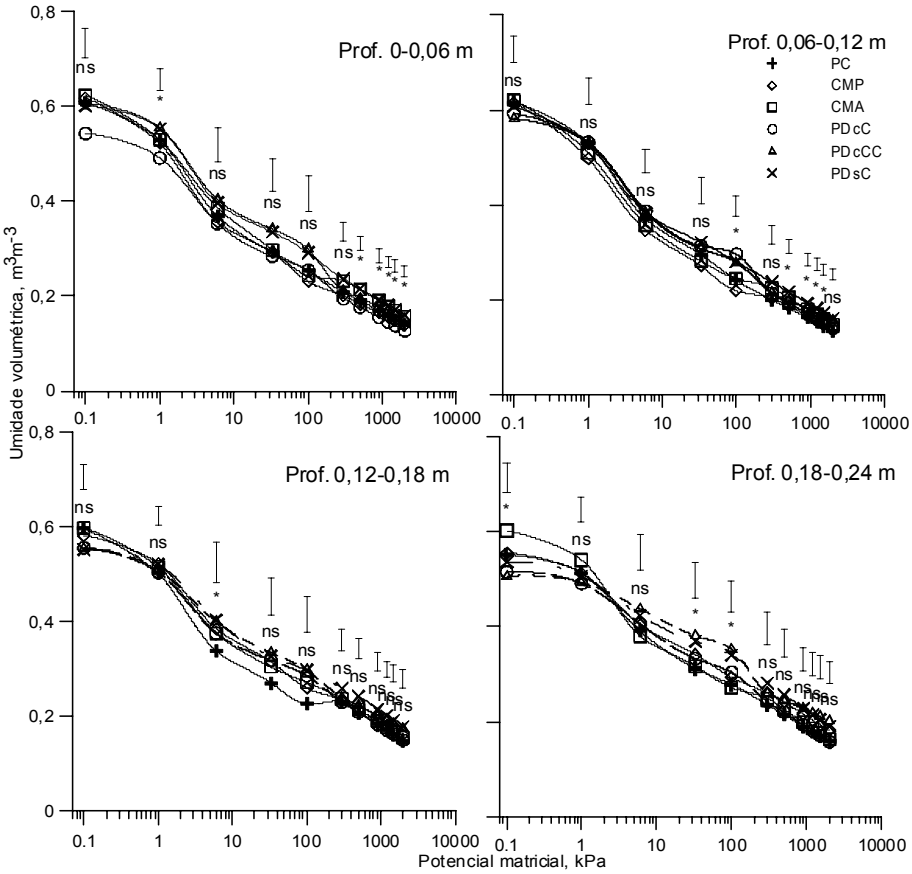


Figura 17- Curva de retenção de água no solo nos diferentes tratamentos e quatro profundidades, aos 30 dias após transplante. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais comparam médias pela diferença mínima significativa a 5 % de erro.

6.3 Erosão hídrica do solo na cultura do fumo

6.3.1 Perdas de solo e água

Neste item serão apresentadas as perdas de solo, água e concentração de sedimento, em oito chuvas com diferentes quantidades precipitadas durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do fumo. O sistema utilizado para coleta permite discutir o processo de erosão hídrica do solo em entressulcos. Por esse motivo os dados foram expostos em metro quadrado, não sendo indicando à extrapolação para grandes áreas devido aos demais processos envolvidos de transporte e deposição dos sedimentos.

Nas figuras 18, 20, 21 e 22, os dados são expostos por dias após transplante (DAT) nas diferentes precipitações pluviais, com as diferenças mínimas significativas (DMS) situadas ao lado dos pontos no sentido vertical. O sistema de cultivo PDsC serviu para comparação, pois foi o tratamento que apresentou as menores perdas nas diferentes chuvas. Na figura 19, as perdas de solo são expressas pela variação da cobertura do solo proporcionado pelos tratamentos, nas diferentes precipitações pluviais.

As perdas de solo e água (figuras 19 e 20) foram influenciadas por variáveis intrínsecas das chuvas, como quantidade e a intensidade, mas também pela intensidade do preparo e grau de cobertura do solo (figuras 11). As perdas foram diminuídas pela redução do preparo e aumento do grau de cobertura do solo. Mas, em algumas datas, mesmo com amplas diferenças, não foram obtidas diferenças significativas entre sistemas, em função do elevado erro estatístico decorrente de se ter apenas duas repetições e do elevado nível de exigência do teste de médias (5% de erro).

As perdas de solo (figura 18) foram discutidas por proximidade de datas, em virtude do similar grau de cobertura da área folhar do fumo.

As perdas de solo nas chuvas aos 8, 9 e 10 DAT variaram pela quantidade precipitada, mas principalmente pelo aumento da umidade do solo, elevando o coeficiente de escoamento. Apesar de não ter dados de umidade nesse período, observa-se que houve um aumento nas perdas de solo do dia oito para com o dia dez após transplante, isso, mesmo com redução do volume precipitado, sendo claramente representado pelo coeficiente de escoamento (figura 21). Visualizam-se também maiores perdas nos cultivos com menor cobertura do solo (PC e CMP, figura 18).

As chuvas ocorridas aos 31 e 35 DAT produziram altas perdas de solo nos tratamentos com menor cobertura (PC e CMP figura 18). A intensidade e a quantidade precipitada foram os principais motivos da grande massa de solo perdida, aos 31 e 35 DAT, respectivamente. Através de coeficiente de escoamento pode-se explicar as maiores perdas de solo mesmo com menor quantidade precipitada (figura 21).

As perdas de solo aos 52 e 54 DAT foram menores se comparar com as demais datas. As quantidades perdidas foram muito similares entre essas datas,

sendo em virtude do volume precipitado e do coeficiente de escoamento (figura 21). Novamente o PC e CMP apresentaram as maiores perdas de solo.

Os tratamentos PC e o CMP tiveram as maiores perdas de solo e água, isso pela alta exposição do solo à ação erosiva da chuva. A partir da utilização da cultura da aveia no cultivo mínimo (CMA) para cobertura do solo, observou-se rápida redução nas perdas de solo mesmo com revolvimento semelhante do camalhão (CMP). O revolvimento mínimo feito nos plantios diretos (adubação) permitiram a permanência da palha em superfície, sendo o PDsC mais eficiente em reduzir as perdas de solo e água que os plantios diretos com camalhão. O PDcCC apresentou uma menor perda de solo em relação ao PDcC, pois mesmo com menor grau de cobertura naquele tratamento a consolidação do solo pode ter contribuído na redução das perdas (Figura 19). Em resumo, as perdas de solo decresceram com o aumento do grau de cobertura (figura 19), concordando com Bertol (1997).

A concentração de sedimentos (figura 22) esteve associada ao grau de cobertura. Essa variável, por ser a quantidade de solo pelo volume de água perdida, ressalta o efeito da quantidade de palha em superfície, na redução combinada das perdas.

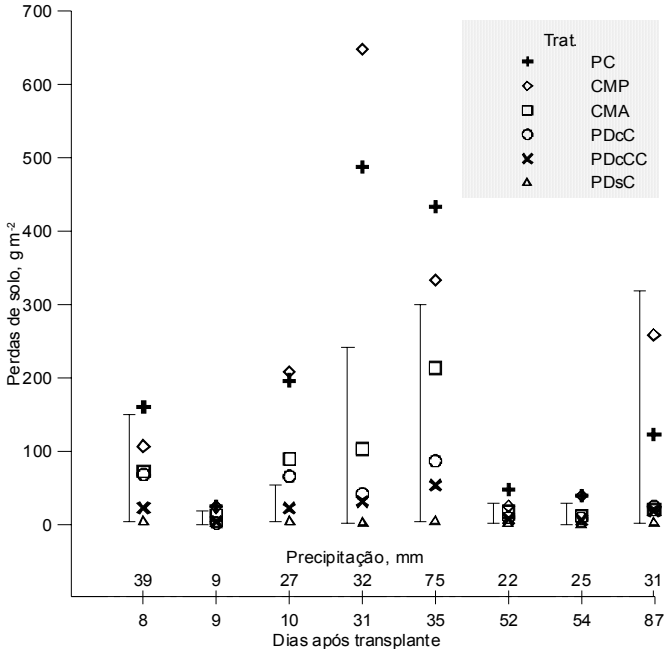


Figura 18- Perda de solo em diferentes sistemas de manejo e precipitações. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais diferenciam médias nas diferentes precipitações pela diferença mínima significativa a 5 % de erro.

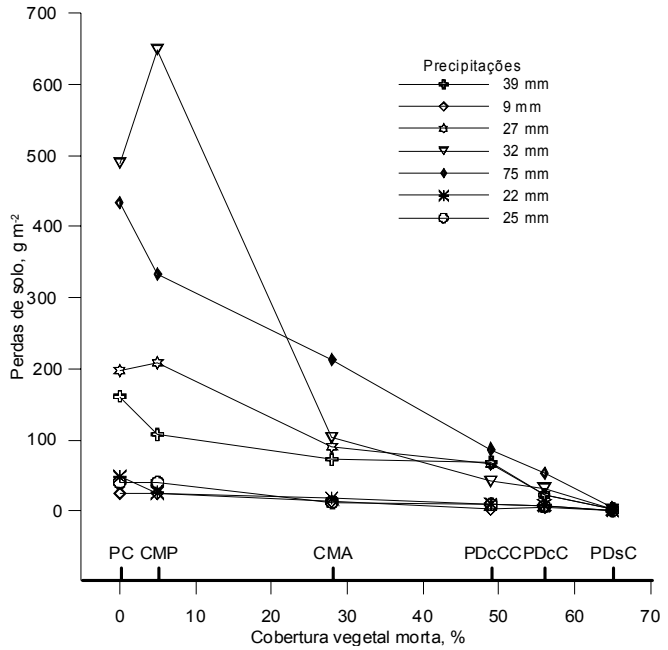


Figura 19- Perda de solo em diferentes tratamentos de acordo com grau de cobertura vegetal morta em diferentes precipitações. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão.

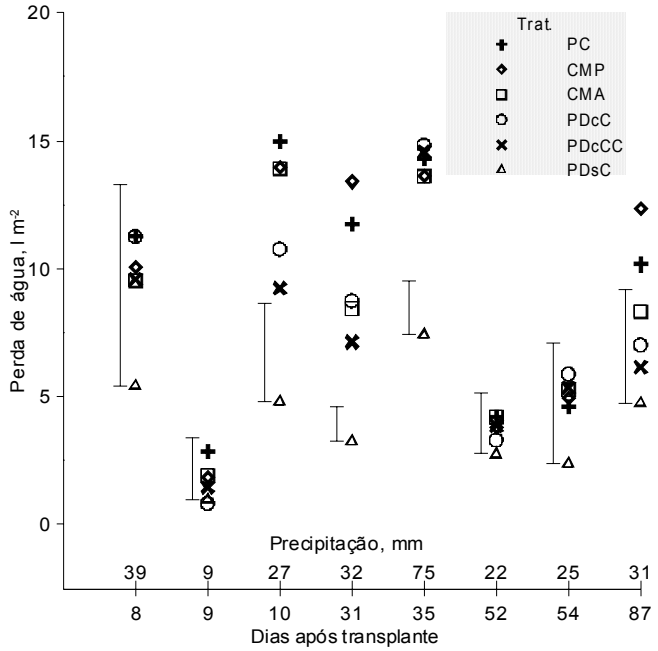


Figura 20- Perda de água nos diferentes tratamentos e precipitações. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais diferenciam médias nas diferentes precipitações pela diferença mínima significativa a 5 % de erro.

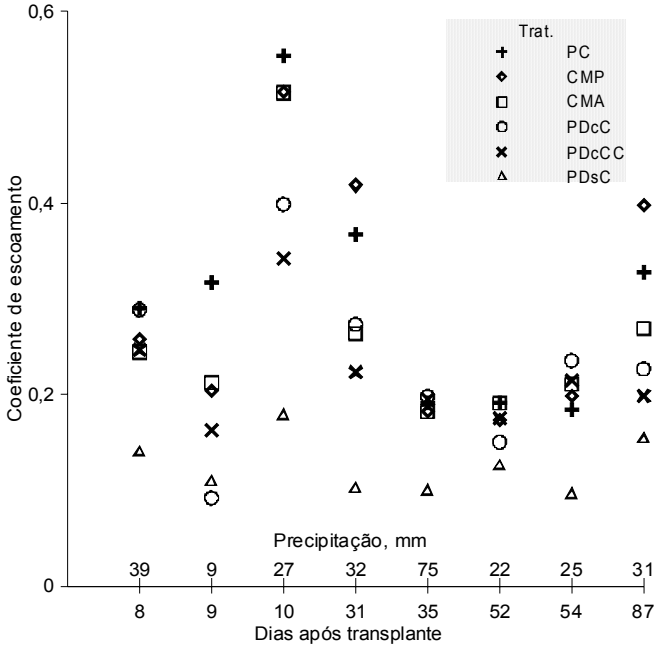


Figura 21- Coeficiente de escoamento em diferentes manejos do solo e precipitações. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão.

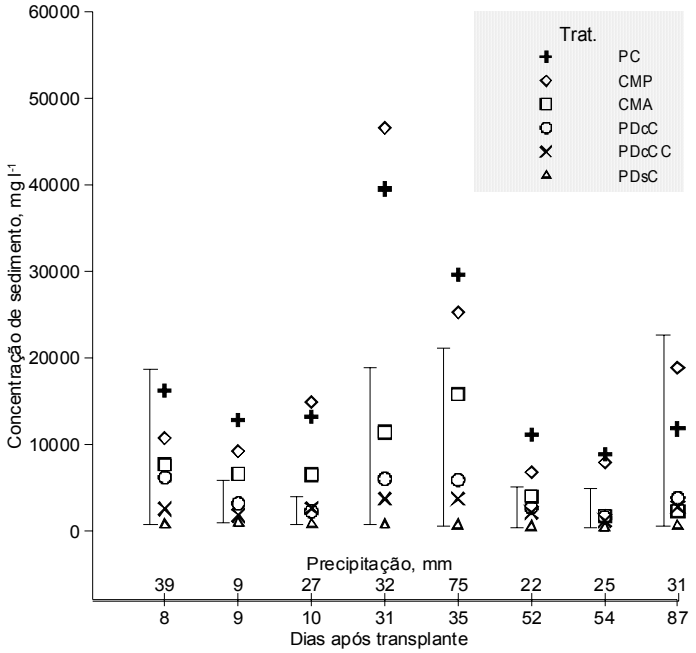


Figura 22- Concentração de sedimento em diferentes manejos do solo e precipitações. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais diferenciam médias nas diferentes precipitações pela diferença mínima significativa a 5 % de erro.

6.3.2 Perdas de Fósforo (P) e Potássio (K)

As perdas de P e K solúvel apresentaram comportamentos diferentes, sendo dependentes da dinâmica de cada elemento no solo. O elemento P possui adsorção específica com óxidos de ferro e alumínio, por isso possui pouca mobilidade no solo. Neste trabalho, as perdas de P aumentaram com a quantidade de chuva precipitada, ficando claro que a maior parte das perdas ocorreu através do escoamento superficial, principalmente ligado às frações mais reativas do solo, que são as argilas e a matéria orgânica. De acordo com Sharpley et al. (1992), as quantidades e as formas de fósforo transferidas variam de evento para evento pluvial, por causa das variações sazonais das chuvas em intensidade e duração, do intervalo de tempo entre os eventos, do estádio de cultivo e do grau de cobertura vegetal do solo, entre outros.

Nas sete chuvas analisadas, as perdas de P somente diferiram aos 35 e 54 DAT (Figura 23). Aos 35 DAT, houve grande diferença entre tratamentos, tendo o comportamento similar às perdas de água. A concentração de P solúvel

na água escoada foi maior nos sistemas de plantio direto com camalhão, pois a adubação de base foi aplicada em menor profundidade. Na maioria das chuvas não houve diferença estatística em função do elevado coeficiente de variação, por causa do pequeno número de repetições.

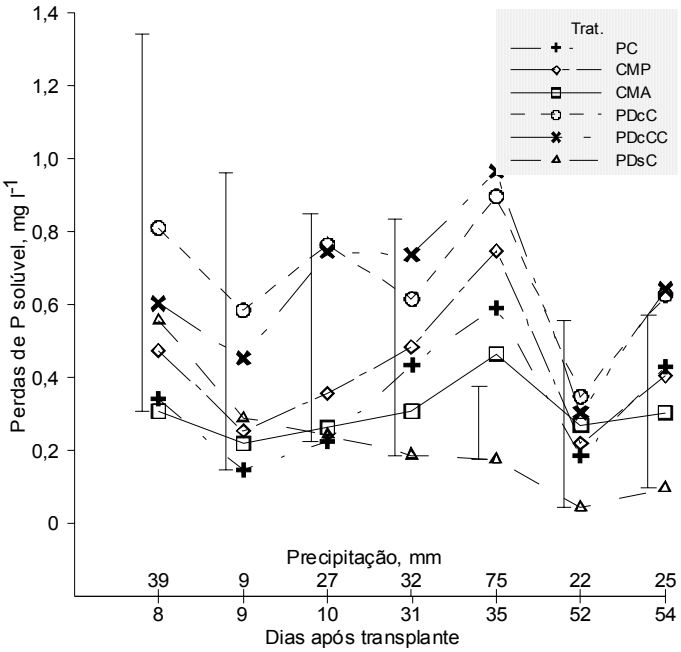


Figura 23- Perdas de fósforo solúvel nos diferentes tratamentos e precipitações. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais diferenciam médias nas diferentes precipitações pela diferença mínima significativa a 5 % de erro.

A concentração de K dissolvido na água do escoamento tendeu a diminuir durante o ciclo, independentemente das quantidades precipitadas e do volume de água escoado (figura 24 e 20). Nos tratamentos com revolvimento total ou parcial de solo (PC, CMP e CMA) e adubação no camalhão a concentração de K manteve-se em torno de 5 mg l^{-1}, mesmo com precipitações diferentes, levando a concluir que o posicionamento da adubação interferiu diretamente na quantidade de nutrientes perdidos.

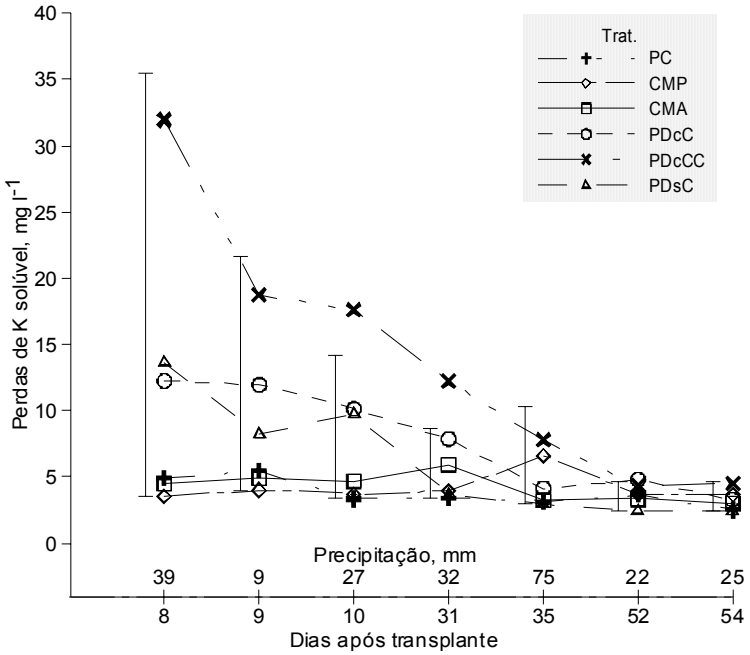


Figura 24- Perdas de potássio solúvel nos diferentes tratamentos e precipitações. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais diferenciam médias nas diferentes precipitações pela diferença mínima significativa a 5 % de erro.

Por outro lado, as perdas totais de P e K foram dependentes da quantidade de sedimento perdido. Segundo Schick et al. (2000) e Seganfredo et al. (1997), a concentração e a qualidade do sedimento estão relacionadas com as fertilizações e a seletividade da erosão, que arrasta a fração mais fina e rica do solo.

A concentração de P total apresentou diferença em cinco das sete chuvas analisadas. No primeiro evento, aos 8 DAT, os plantios diretos tiveram as maiores perdas, mas somente o PDcCC diferiu apresentando perdas duas vezes maiores que o PC e o CMA. Nas duas chuvas que ocorreram consecutivamente as perdas de P total não apresentaram diferença e houve uma inversão de seqüência não havendo tendência nas perdas (figura 25). Aos 31 e 35 DAT o tratamento PDsC diferiu dos demais e segui tendo as menores perdas, possivelmente devido às pequenas perdas de solo e por apresentar o sedimento menos reativo, como também pode ser observado no menor conteúdo de P solúvel do material em suspensão (Figura 23). No geral, as perdas nos tratamentos PDcC e PDcCC, nas últimas quatro chuvas foram maiores, motivada pela aplicação mais superficial da

adubação de base, mas principalmente pelo aumento das perdas de sedimento comparativamente às do PDsC.

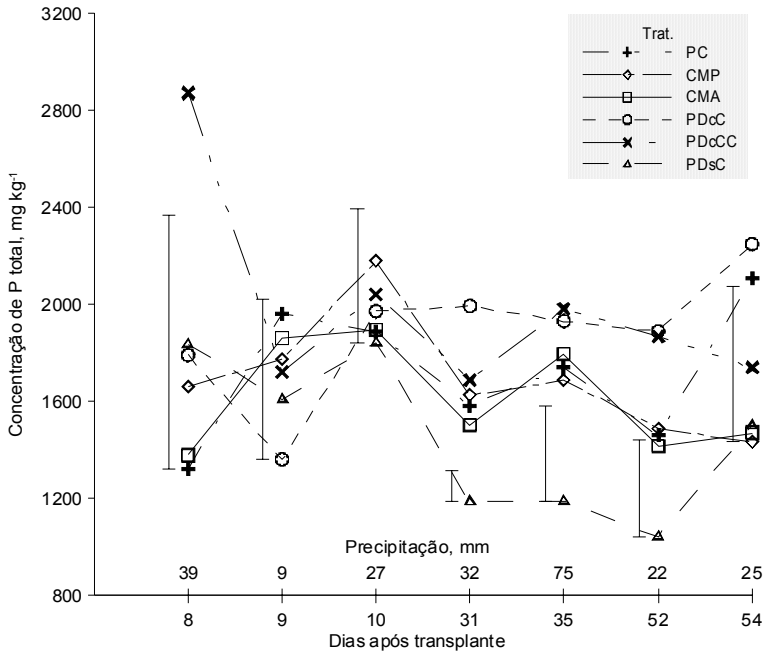


Figura 25- Concentração de fósforo total no sedimento, nos diferentes tratamentos e precipitações. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais diferenciam médias nas diferentes precipitações pela diferença mínima significativa a 5 % de erro.

A concentração de K total apresentou diferença significativa em quase todas as chuvas analisadas, dos plantios diretos para com os preparos mais intensos (figura 26). As maiores perdas foram detectadas nas três primeiras chuvas, em função da alta solubilidade, grande quantidade aplicada do fertilizante e, principalmente, o posicionamento da adubação.

As perdas de P e K total foram minimizadas com o aumento do grau de cobertura e diminuição do revolvimento, como pode ser observado nos tratamentos (figuras 27 e 28), pois a magnitude das perdas dos nutrientes esteve na quantidade de solo perdido. Como conseqüência, haverá redução na capacidade produtiva do solo, em médio e longo prazo, necessitando maiores aplicações de fertilizantes para compensar as perdas.

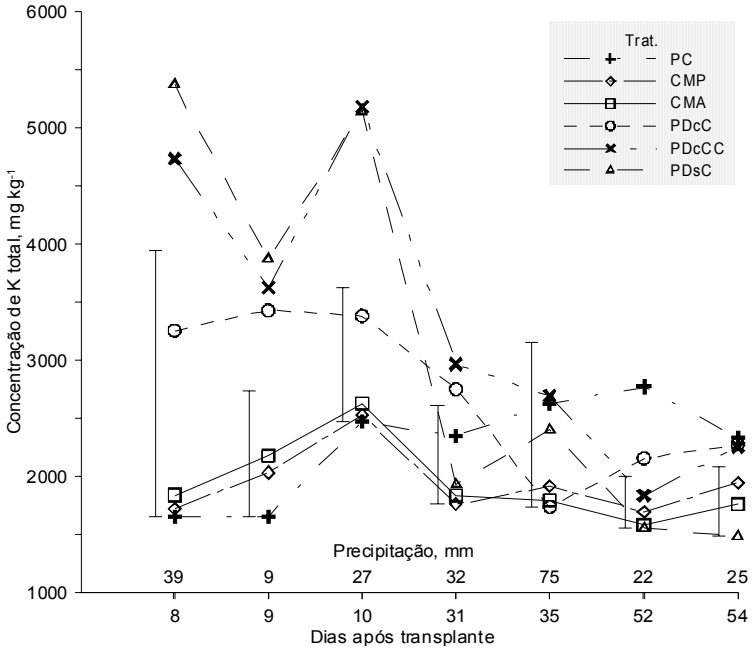


Figura 26- Concentração de potássio total no sedimento, nos diferentes tratamentos e precipitações. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais diferenciam médias nas diferentes precipitações pela diferença mínima significativa a 5 % de erro.

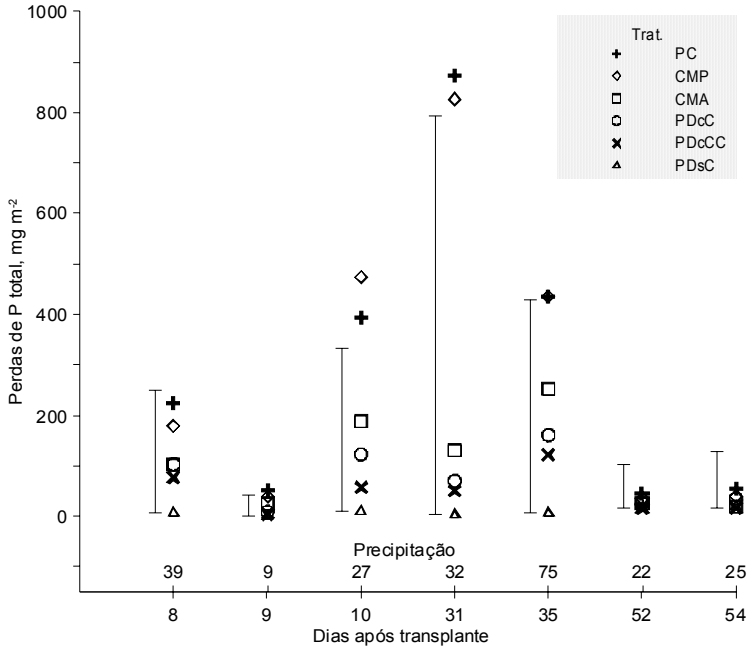


Figura 27- Perdas de fósforo total por área nos diferentes tratamentos e precipitações. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais diferenciam médias nas diferentes precipitações pela diferença mínima significativa a 5 % de erro.

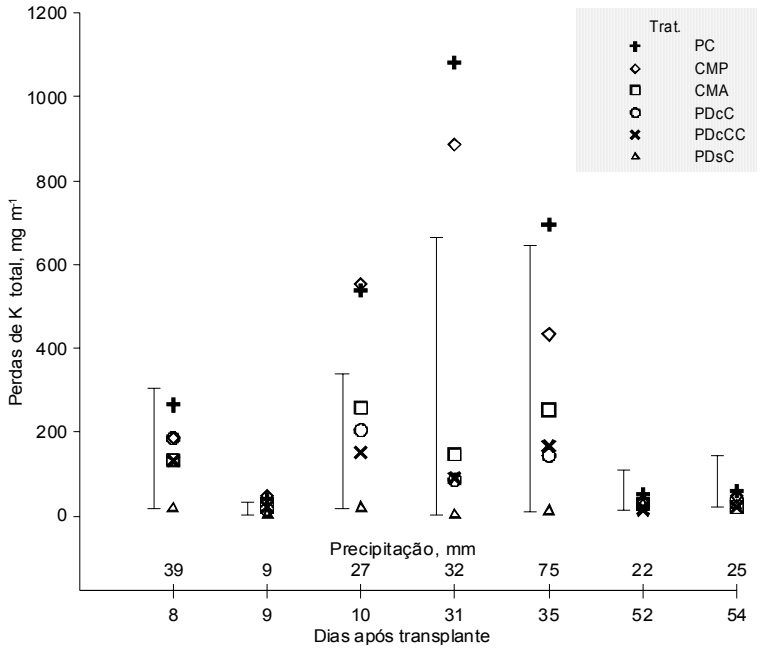


Figura 28- Perdas de potássio total por área nos diferentes tratamentos e precipitações. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais diferenciam médias nas diferentes precipitações pela diferença mínima significativa a 5 % de erro.

6.4 Impedimentos ao crescimento radicular da cultura do fumo

Os diferentes sistemas de manejos do solo alteraram as condições físicas e químicas do solo e, conseqüentemente o ambiente para o desenvolvimento radicular.

A resistência à penetração (Rp) foi o fator que mais determinou a profundidade máxima, a quantidade e a distribuição das raízes (figuras 29, 31 e 32). Nos manejos PC e CMP, a curva de RP do solo apresentou maior sinuosidade na curva, com rápido aumento a partir de 0,15 m, diferentemente dos demais, onde o aumento foi praticamente linear (figura 29). Vepraskas & Miner (1985) sugerem um valor médio de índice de cone de 2,8 MPa, pois após a subsolagem houve aumento de concentração de raízes em profundidade. Situação similar foi verificada neste trabalho, onde o valor de 3 MPa coincidiu com a profundidade máxima de penetração e com mínima presença de raízes, determinada pela massa seca por volume de solo, assim como a redução da

massa de raízes com o aumento da Rp (figura 29). No PDsC, o valor de 3 MPa foi atingido antes dos 0,15 m, devido à não utilização do camalhão, pois as raízes encontravam uma camada de rochas em estado inicial de decomposição, que impedia a penetração radicular. Os plantios diretos foram os que tiveram menor desenvolvimento de raízes em profundidade, não ultrapassando a profundidade de 0,20 m.

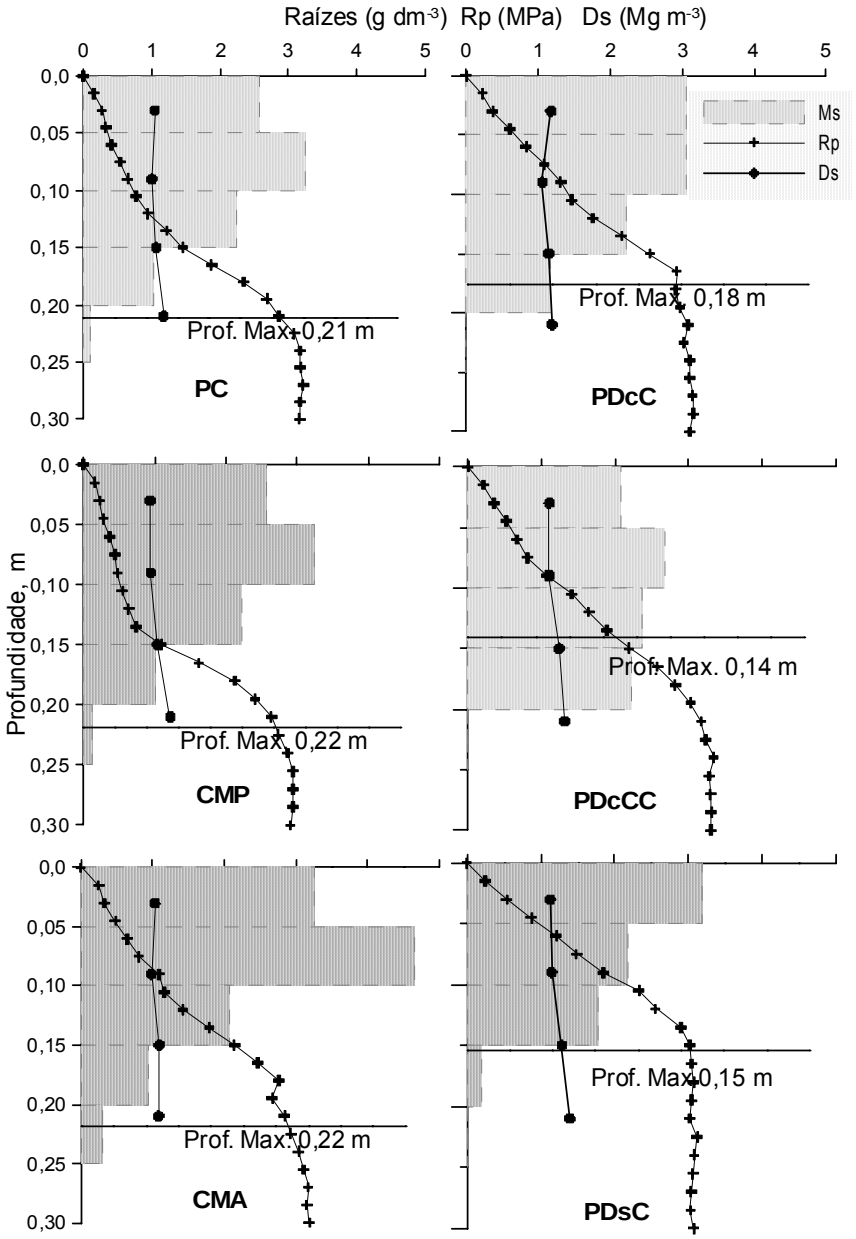


Figura 29- Massa seca de raízes por volume de solo (Ms), densidade do solo (Ds), resistência à penetração (Rp) e profundidade máxima de crescimento de raízes (Prof. Max.) por tratamento. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão.

A densidade do solo, determinada até a profundidade 0,24 m (tabela 5), apresentou um pequeno aumento nos valores em tratamentos onde a profundidade máxima das raízes foi menor, assim como a massa seca e a distribuição radicular (figura 29, 31 e 32). No entanto, os valores determinados ficaram bem aquém dos estabelecidos por Veprasks et al. (1987), onde a densidade máxima para a cultura do fumo foi de 1,63 Mg m^{-3} em solos arenosos.

A porosidade total do solo foi menor nos tratamentos PDcCC e PDsC nas últimas duas camadas avaliadas, sendo conseqüência do solo raso. Esse problema afetou diretamente a macroporosidade que teve grande redução. A microporosidade não foi afetada. De maneira geral, os tratamentos influenciaram nessas variáveis pela profundidade de revolvimento do solo. Comparando o PDcC e PDcCC foi possível observar que não houve alteração na estrutura em curto prazo (1 ano).

A variação do espaço aéreo ao longo do ciclo ultrapassou várias vezes o valor crítico de 0,15 m^3 m^{-3} (Reynolds et al., 2002), principalmente na última camada avaliada (figura 30). Isso foi motivado pela maior umidade do solo e menor macroporosidade na camada. Os tratamentos PDsC e PDcCC foram os que ficaram maior período fora da faixa ideal, por conseqüência da menor macroporosidade. O espaço aéreo foi um dos principais limitantes do desenvolvimento radicular em profundidade. No PDsC, na última camada, houve nítida a ausência de raízes, o que pode estar associado diretamente à deficiência de aeração.

Tabela 5- Densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo em duas datas e em quatro profundidades.

Profundidades m	DAT	Sistemas de manejo do solo					
		PC	CMP	CMA	PDcC	PDcCC	PDsC
		Densidade do solo, Mg m^{-3}					
0 – 0,06	30	1,05 a	0,94 a	1,04 a	1,18 a	1,10 a	1,13 a
	145	1,08 a	1,02 a	1,05 a	1,06 a	1,08 a	1,06 a
0,06 – 0,12	30	1,00 bc	0,95 c	0,98 bc	1,06 abc	1,11 ab	1,15 a
	145	1,03 ab	1,02 ab	0,92 b	1,05 ab	0,97 ab	1,10 a
0,12 – 0,18	30	1,06 bc	1,10 bc	1,04 c	1,14 abc	1,24 ab	1,28 a
0,18 – 0,24	30	1,17 bc	1,22 abc	1,09 c	1,19 bc	1,31 ab	1,39 a
		Porosidade total, $m^3 m^{-3}$					
0 – 0,06	30	0,62 a	0,66 a	0,62 a	0,58 a	0,60 a	0,60 a
	145	0,60 a	0,63 a	0,62 a	0,62 a	0,61 a	0,62 a
0,06 – 0,12	30	0,64 ab	0,66 a	0,64 ab	0,62 abc	0,60 bc	0,58 c
	145	0,62 a	0,63 a	0,66 a	0,63 a	0,65 a	0,60 a
0,12 – 0,18	30	0,62 a	0,61 a	0,62 a	0,59 ab	0,55 bc	0,54 c
0,18 – 0,24	30	0,57 ab	0,56 ab	0,60 a	0,58 ab	0,52 bc	0,50 c
		Macroporosidade, $m^3 m^{-3}$					
0 – 0,06	30	0,25 a	0,31 a	0,24 a	0,23 a	0,20 a	0,19 a
	145	0,23 a	0,29 a	0,23 a	0,25 a	0,25 a	0,24 a
0,06 – 0,12	30	0,26 abc	0,31 a	0,28 ab	0,24 bc	0,22 bc	0,20 c
	145	0,29 ab	0,28 ab	0,31 a	0,31 a	0,28 ab	0,20 b
0,12 – 0,18	30	0,28 a	0,22 ab	0,25 ab	0,22 ab	0,14 b	0,14 b
0,18 – 0,24	30	0,18 ab	0,15 ab	0,23 a	0,17 ab	0,10 b	0,06 b
		Microporosidade, $m^3 m^{-3}$					
0 – 0,06	30	0,37 a	0,35 a	0,39 a	0,35 a	0,40 a	0,40 a
	145	0,37 a	0,34 a	0,39 a	0,37 a	0,37 a	0,36 a
0,06 – 0,12	30	0,37 a	0,35 a	0,36 a	0,38 a	0,39 a	0,38 a
	145	0,34ab	0,35 ab	0,35 ab	0,35 ab	0,33 b	0,39 a
0,12 – 0,18	30	0,34 b	0,39 ab	0,38 ab	0,38 ab	0,46 a	0,40 ab
0,18 – 0,24	30	0,39 a	0,41 a	0,38 a	0,41 a	0,42 a	0,43 a

* Médias seguidas da mesma letra, na horizontal, não diferem entre si pela diferença mínima significativa (DMS) a 5 % de erro. DAT- dias após transplante; PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão.

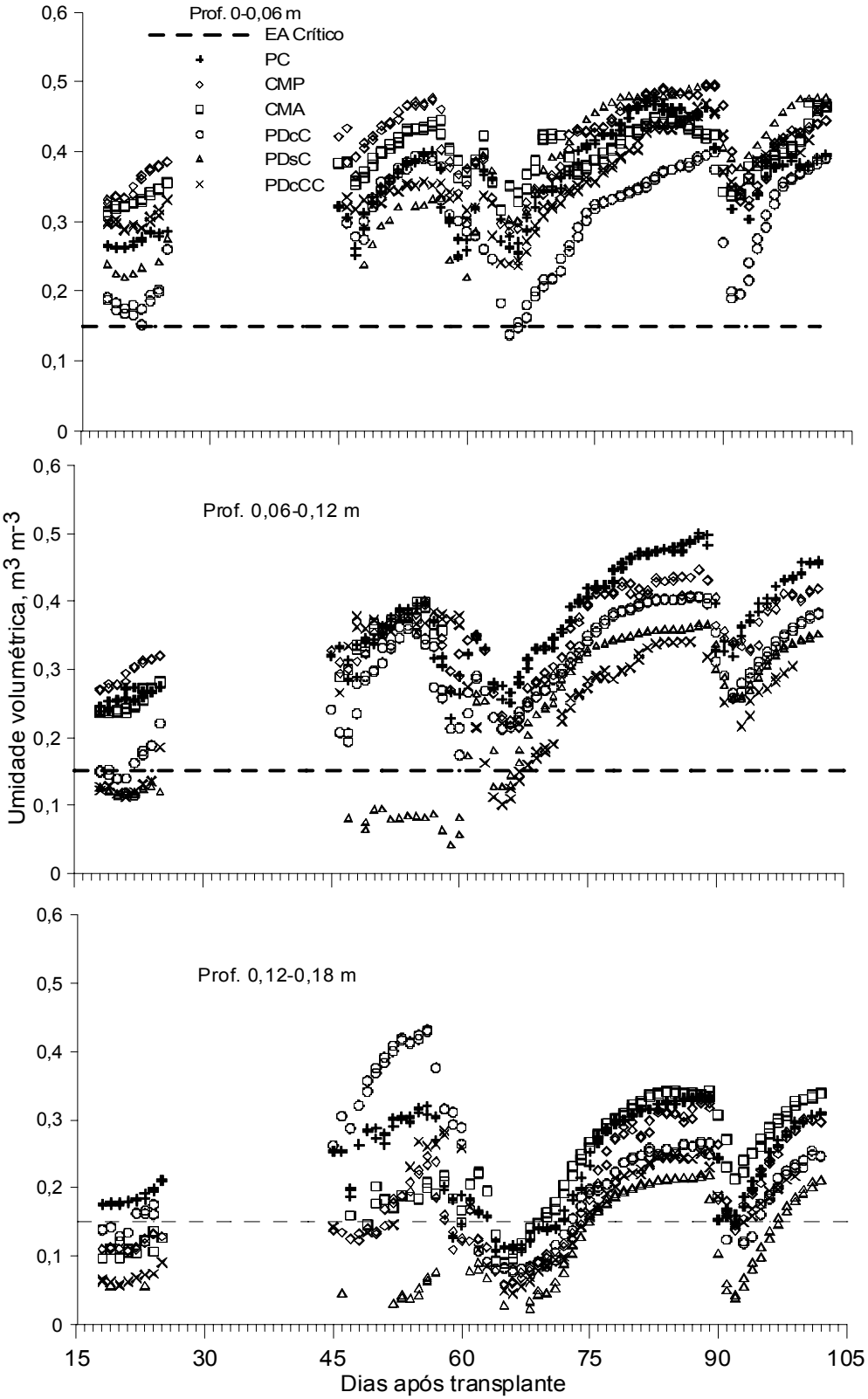
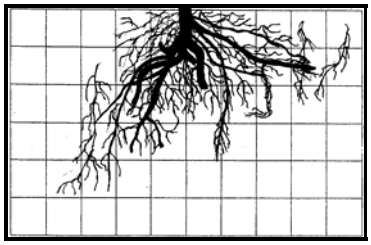


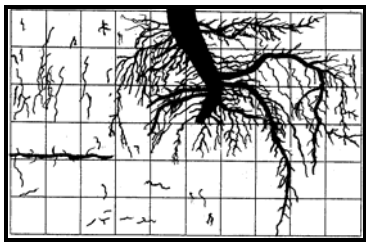
Figura 30- Variação do espaço aéreo do solo durante 87 dias do ciclo da cultura do fumo nos diferentes sistemas de preparo do solo.. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão.

A descrição do sistema radicular é uma medida de suma importância dentro de seu caráter qualitativo. Essa avaliação, apesar de ser trabalhosa, ajudou a detectar problemas de impedimento radicular. As descrições feitas diferenciando tamanho de plantas de parcelas heterogêneas, em alguns casos, apresentaram nítidas diferenças; em outros, contribuíram para diferenciar tratamentos. De maneira geral, as plantas com maior tamanho apresentaram maior distribuição e aprofundamento do sistema radicular, o que pode ser resultado da interferência de inúmeros fatores físicos e químicos do solo. Contudo, a resistência à penetração, as visualizações nas trincheiras e, posteriormente, a descrição nas observações em cada perfil cultural (figura 29, 31 e 32) foram responsáveis pelo diagnóstico de impedimento das raízes na camada de rocha existente, situada em algumas parcelas a 0,15 m e em outras a 0,30 m de profundidade.

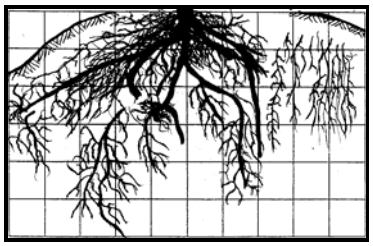
O preparo do solo interferiu na distribuição radicular, pois observando a quantidade de quadrículas vazias, a profundidade e o diâmetro das raízes (figura 31). Os tratamentos PC e CMP apresentam pouca variação na distribuição radicular, possivelmente devido à forma de adubação, cobertura do solo e IAF (figuras 11 e 35). O CMA apresentou menor distribuição de raízes finas, mas com aprofundamento similar aos anteriores. Os plantios diretos apresentaram diferenças para com os preparos mais intensos, com menor aprofundamento (figura 29), menor distribuição (figura 32) atribuindo isso à menor camada de solo explorada, à adubação mais superficial e às condições favoráveis superficiais de umidade e temperatura do solo.



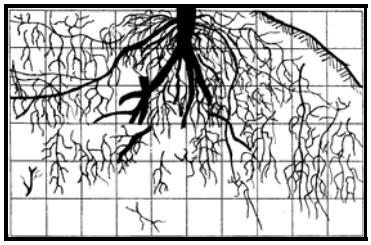
PC – PP - Rp1



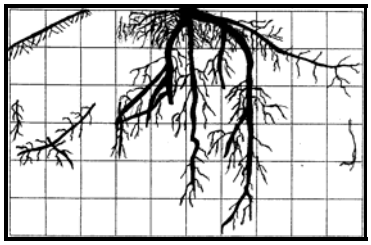
PC – PG - Rp 1



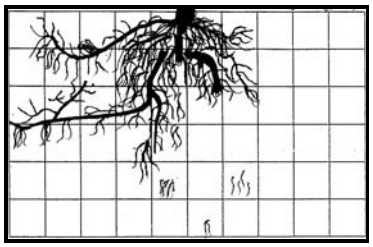
CMP – PP - Rp1



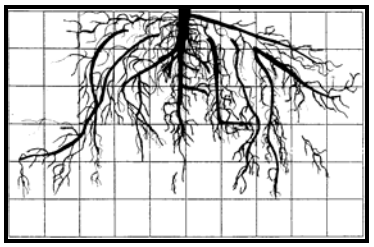
CMP – PG – Rp1



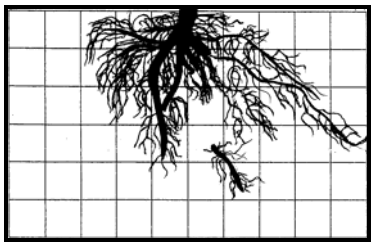
CMA – PR – Rp1



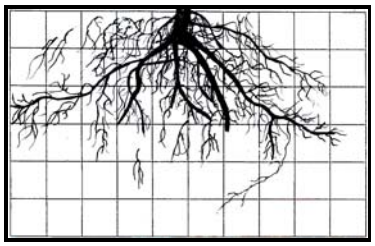
PC – PR - Rp 2



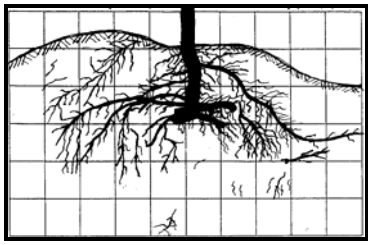
PC – PR- Rp3



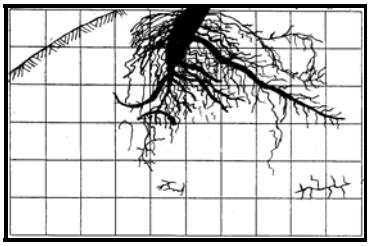
CMP - PR- Rp2



CMP – PR- Rp3



CMA – PR – Rp2



CMA – PR – Rp3

Figura 31- Descrição do sistema radicular da cultura do fumo, no preparo convencional (PC), cultivo mínimo pousio (CMP) e cultivo mínimo aveia (CMA), em planta pequena (PP), planta representativa (PR) e planta grande (PG). Dimensões do quadro: 0,5 x 0,3 m, com quadriculas de 0,05 x 0,05 m.

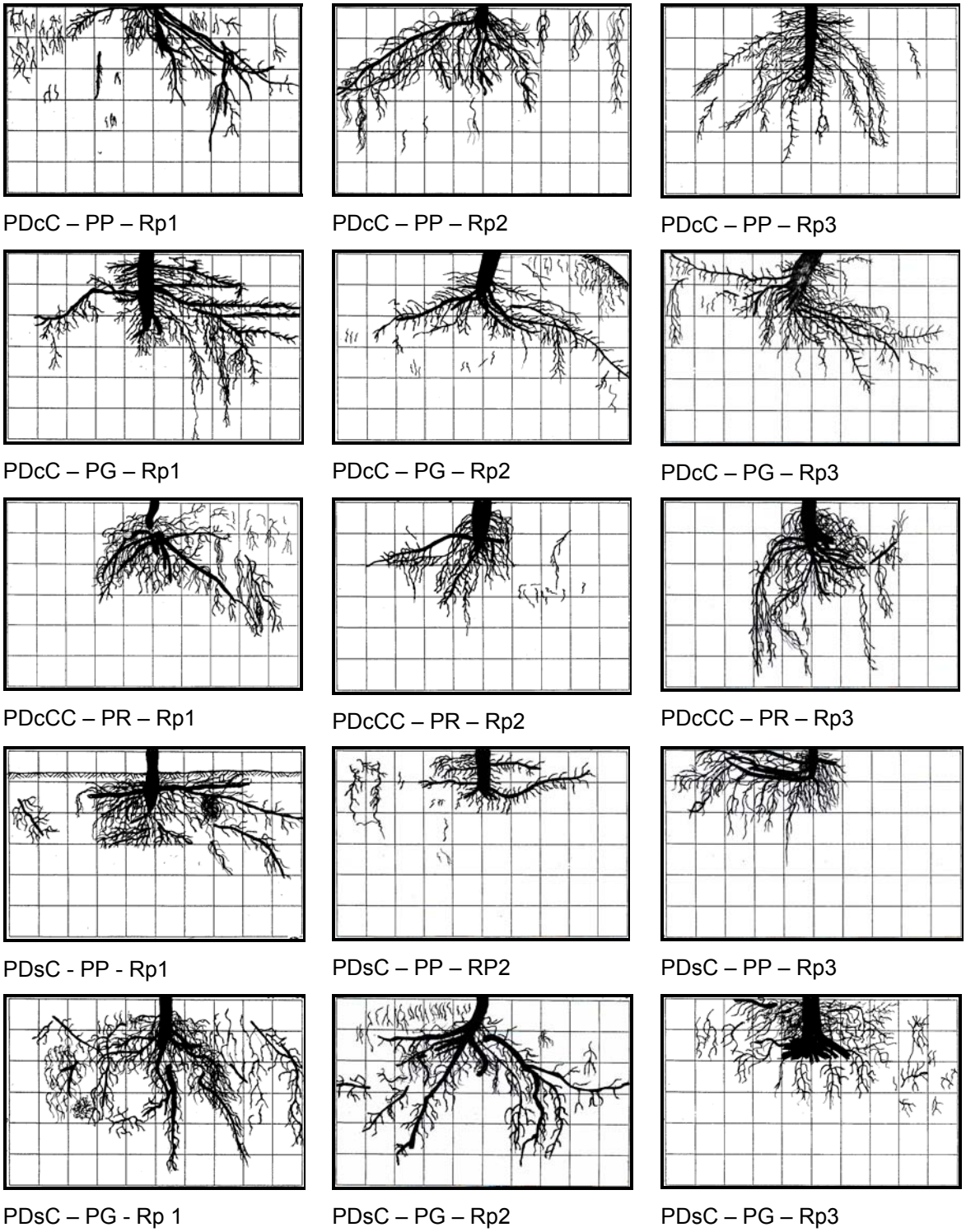


Figura 32- Descrição do sistema radicular da cultura do fumo, no plantio direto com camalhão (PDcC), plantio direto com camalhão consolidado (PDcCC) e plantio direto sem camalhão (PDsC), em planta pequena (PP), planta representativa (PR) e planta grande (PG). Dimensões do quadro: 0,5 x 0,3 m, com quadriculas de 0,05 x 0,05 m.

O PDsC e PDcC até os 60 DAT tinham índice de área folhar (IAF) igual aos dos tratamentos com maior revolvimento, mas começavam a apresentar menor crescimento e disparidade entre plantas. Isso motivou a análise do solo explorado pelo sistema radicular, para detectar se havia limitações ou variações de natureza química. Os teores de P e K, quantificados com resinas trocadoras, foram diferentes na zona radicular de plantas pequenas e grandes (PP e PG) somente nos tratamentos PC e PDsC. Os maiores teores de P e K na região de exploração do sistema radicular de PG foram encontrados no PC e os menor teores no PDsC (figuras 33 e 34). Essa situação pode ter sido influenciada por inúmeras variáveis, como a localização do fertilizante, as perdas de nutrientes, a quantidade de solo explorado, entre outras variáveis físicas e químicas.

Os valores obtidos nas análises foram extremamente altos comparativamente aos limites estabelecidos pela Rolas (2005), ficando situado entre 180 e 320 mg kg^{-1} para o K e entre 180 e 260 mg kg^{-1} para o P, nos diferentes tratamentos. Assim, se a diferença entre plantas nos tratamentos foi motivada por fatores químicos, isso indica provavelmente a baixa capacidade de absorção de nutrientes pelas raízes da cultura do fumo.

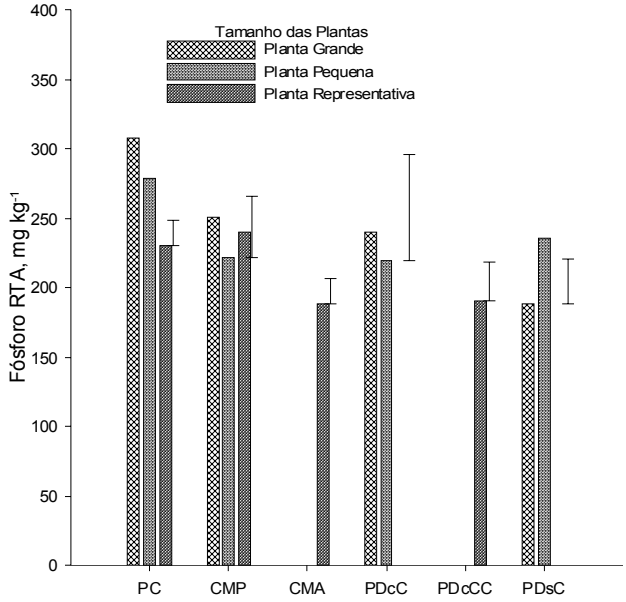


Figura 33- Teor de fósforo determinado por resina trocadora de anions (RTA) no solo da área de exploração radicular em planta grande (PG), planta representativa (PR) e planta pequena (PP), nos diferentes tratamentos. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais diferenciam médias pela diferença mínima significativa a 5 % de erro.

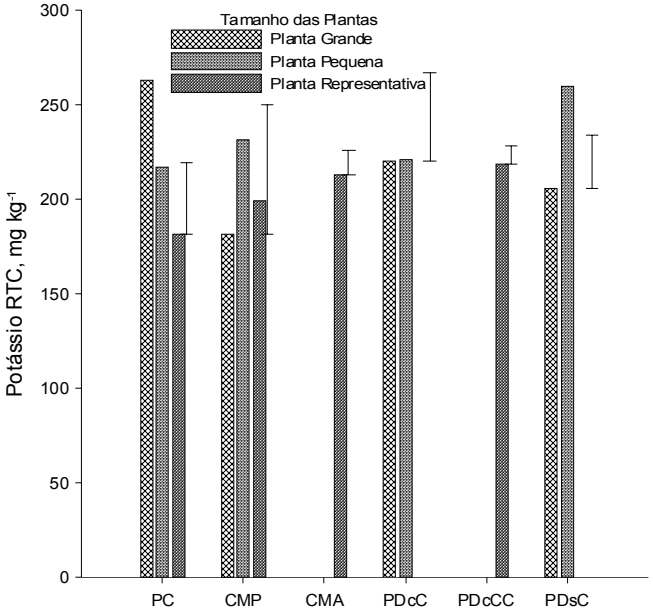


Figura 34- Teor de potássio determinado por resina trocadora de cátions (RTC) no solo da área de exploração radicular em planta grande (PG), planta representativa (PR) e planta pequena (PP), nos diferentes tratamentos. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais diferenciam médias pela diferença mínima significativa a 5 % de erro e em tratamentos com somente uma média foi expressado o desvio padrão.

6.5 Crescimento e produtividade da cultura do fumo

A avaliação do crescimento e produtividade das plantas de fumo dos tratamentos foi feita em dois momentos distintos: na fase inicial através do índice de área folhar (IAF) (figura 35) e no momento final através da produtividade (Tabela 6). O CMA e os plantios diretos, exceto o com camalhão consolidado, apresentaram maior IAF em relação aos PC e CMP, diferindo aos 30 e 40 DAT, estando associado possivelmente ao posicionamento da adubação próximo à zona de desenvolvimento radicular e também pelo grau de cobertura, através da melhoria das condições físicas do solo, especificamente temperatura, umidade e aeração.

Aos 40 DAT foi feita a primeira cobertura com nitrogênio e aterramento nos tratamentos PC e CMP. Após essas práticas, percebeu-se visualmente uma semelhança entre tratamentos e não houve diferença para o IAF aos 63 DAT, exceto o PDcCC que foi transplantado uma semana após (figura 35).

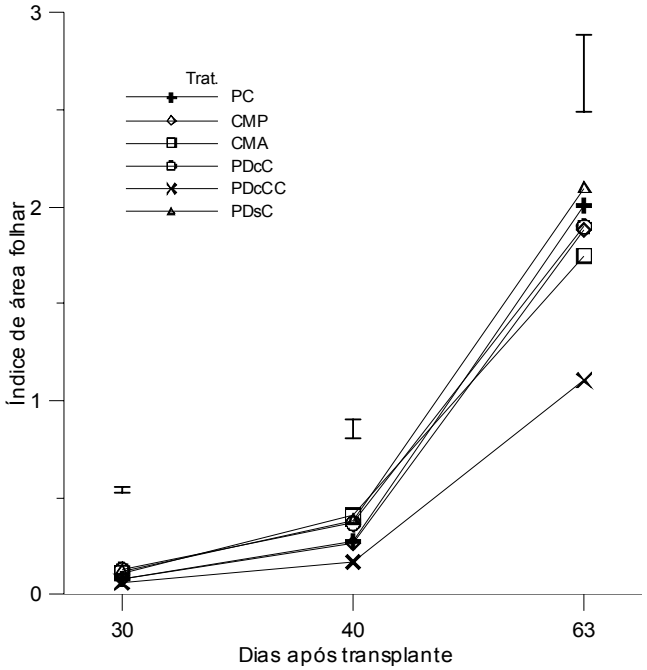


Figura 35- Índice de área folhar (IAF), em três datas após transplante. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão; linhas verticais diferenciam médias pela diferença mínima significativa a 5 % de erro.

Os tratamentos que apresentaram maior massa seca e comprimento de caule (tabela 5) também apresentaram maior produtividade (tabela 6), pois aquelas variáveis são dependentes do crescimento. Em contrapartida, o número de folhas não seguiu esse comportamento, por ser variável dependente da genética e do padrão de desponte da cultura do fumo.

Tabela 6- Massa seca de caules, número de folhas e comprimento de caules na cultura do fumo nos diferentes manejos do solo.

Tratamentos	MS* de caules kg ha^{-1}	Folhas N°	Caule m
PC	1391,3 abc	22,7 bc	0,89 bc
CMP	1437,6 abc	21,6 d	0,87 c
CMA	1497,5 ab	23,0 ab	0,97 a
PDcC	1566,1 a	22,0 cd	0,90 bc
PDcCC	1307,4 bc	23,5 a	0,79 e
PDsC	1251,8 c	21,7 d	0,82 d

*MS- Massa seca; **Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pela diferença mínima significativa (DMS) a 5 % de erro. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão.

A produtividade está expressa na tabela 6, em duas formas diferentes. A primeira (48 m^2) representa a quantidade obtida na área amostrada com as falhas e diferenças de espaçamento entre plantas. Na segunda (80 plantas), foi contada a quantidade real de plantas dentro da área de 48 m^2 e feito a correção para 0,6 m^2 por planta, que representa o espaçamento de 1,2 m na linha e 0,5 entre plantas. As duas formas são importantes, pois falhas e diferenças de espaçamento existem, mas cientificamente é preferível excluir essas variáveis para aproximar a real interferência dos tratamentos aplicados.

As produções obtidas nos tratamentos que possuíam camalhão (tabela 6; 80 plantas) ultrapassaram os valores obtidos por Vepraskas et al. (1987) de 3107 kg ha^{-1} na média de 32 locais em diferentes solos subsolados, enquanto nos tratamentos não subsolados a média foi de 2885 kg ha^{-1}. Esse valor é similar à produtividade obtida no tratamento de PDsC, neste trabalho.

A menor produtividade do PDsC parece ter sido influenciada pela não utilização do camalhão em solo raso, pelas condições iniciais favoráveis de temperatura, umidade do solo e a localização do fertilizante, que induziram o crescimento superficial das raízes (figura 29 e 32) e a deficiência na aeração em camadas mais profundas (0,12 a 0,18 m) (figura 30). Na metade final do ciclo (aproximadamente 65 DAT), a diminuição superficial da umidade do solo (figura 16, 0-0,06 m) e o posicionamento de grande parte das raízes nessa região parece ter influenciado na menor absorção de água e nutrientes, diminuindo o crescimento da planta mesmo com maior disponibilidade de P e K (figura 33 e 34).

A classificação qualitativa das folhas apresentou diferença significativa para algumas classes. No entanto essa diferença não se atribui ao manejo aplicado ao solo, mas ao padrão empírico estabelecido pelo agricultor, nas práticas de colheita, secagem e classificação.

Tabela 7- Produtividade obtida pelo número real de plantas na área amostrada (48 m^2) e corrigida para a população ideal de plantas na área (80 Plantas) e a classificação qualitativa percentual na cultura do fumo nos diferentes manejos do solo.

	Produtividade		Classificação qualitativa				
Tratamentos	48 m^2	80 Plantas	X	CO1	BO1	R2	G2
	kg ha^{-1}				%		
PC	3438,5 a*	3488,2 a	6,7 ab	48,8 a	29,7 a	14,7 a	0,2 b
CMP	3306,0 a	3338,3 a	7,4 ab	45,6 a	35,4 a	10,7 a	1,0 ab
CMA	3504,7 a	3349,4 a	7,6 a	49,8 a	28,0 a	14,4 a	1,5 a
PDcC	3155,8 ab	3496,5 a	6,5 bc	42,3 a	38,3 a	12,4 a	0,5 ab
PDcCC	2671,1 bc	3199,6 ab	6,2 c	19,6 a	53,5 a	19,0 a	1,7 ab
PDsC	2507,6 c	2738,9 b	8,2 bc	50,7 a	29,3 a	10,9 a	0,8 ab

*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pela diferença mínima significativa (DMS) a 5 % de erro. PC- preparo convencional; CMP- cultivo mínimo pousio; CMA- cultivo mínimo aveia; PDcC- plantio direto com camalhão; PDcCC- plantio direto com camalhão consolidado; PDsC- plantio direto sem camalhão.

7 CONCLUSÕES

A menor mobilização do solo e a permanência da cobertura morta sobre a superfície do solo contribuem para o aumento da umidade do solo, diminuição da amplitude da temperatura do solo e das perdas de água, de solo e de nutrientes.

Em solo raso, a utilização do camalhão na cultura do fumo contribui para o aumento da profundidade de exploração radicular e desenvolvimento da cultura.

Sistemas de manejo do solo que incluem a aveia como planta de cobertura no inverno, utilizam camalhão e envolvem revolvimento mínimo do solo mantêm maior produtividade na cultura do fumo diminuindo as perdas sendo mais sustentáveis em longo prazo.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, F.; MOORE, B. L. Chemical factors affecting root growth in subsoil horizons of Coastal Plain soils. **Soil. Sci. Soc. Am. J**. v.47, n.1, p.99-102, 1983.

AFUBRA. Associação dos Fumicultores do Brasil. **Relatório de Atividades.** 2002/2003, 2003.

ASADY, G. H.; SMUCKER, D. R. P. Compaction and root modifications of soil aeration. **Soil. Sci. Soc. Am. J.** v.53, n. 1, p.251-254, 1989.

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

BERTOL, I. **Comprimento crítico de declive para preparos conservacionistas de solo.** 1995. 185f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Cobertura morta e métodos de preparo do solo na erosão hídrica em solos com crosta superficial. **R. Bras. Ci. Solo**, v.13, n.3, p.376-379,1989.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e ausência de resíduos culturais. **R. Bras. Ci. Solo**, v.21, n.3, p.409-418,1997.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e na presença de cobertura por resíduo cultural de trigo. **R. Bras. Ci. Solo,** v.11, n.2, p.187-192,1987.

BERTONI, J. Conservação do solo In: BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Fatores que influenciam na erosão**. Piracicaba: Livroceres,1885. 392p.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlin: Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1979. 190p.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo**. R. Bras. Ci. Solo**, v.14, n.3, p.369-374,1990.

BRASIL. Ministério da agricultura e Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climáticas.** Rio de Janeiro, 1992. 84p.

CAMPBELL, R. B.; REICOSKY, D. C.; DOTY, C. W. Physical properties and tillage of Paleodults in the southeastern Coastal Plains. **J. Soil Water Conserv**. v.29, p.220-224, 1974.

CANALI, G. E. **Produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas rurais. Efeitos das características das chuvas, da declividade das vertentes**

e do uso do solo. 1981. 126f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). IPH – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.

CASSEL, D. K. Tillage effects on the soil bulk density and mechanical impedance. *In:* UNGER, P.W.; VAN DOREN, D. M. (ed.) Predicting tillage effects on soil physical properties and process. **American Society of Agronomy**, n.44, p.45-67. 1982.

CHEN, L. H.; HUANG, B. K.; SPLINTER W. E. Effect of air and soil Temperatures on growth of small tobacco plants. **Tob. Sci**. v.12, p.222-225, 1968.

COGO, N. P. **Effect of residue cover, tillage induced rougness, and slope length on erosion and related parameters**. 1981. 346f. Tese (Doutorado em Agronomia) Purdue University, West Lafayette, 1981.

COPETTI, A. C. C. et al. Manejo do solo na microbacia hidrográfica do Arroio Lino, Agudo, RS. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA**,** 3., 2005. Porto Alegre: **Anais do III Congresso Brasileiro de Agroecologia.** Porto Alegre, 2005. 1 CD ROM.

DALMOLIN, R. S. D. et al**. Levantamento semidetalhado de solos da microbacia do arroio Lino – município de Agudo (RS),** 2003, 84p.

CASTRO, O. M. de et al. Perdas por erosão de nutrientes vegetais na sucessão soja/trigo em diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.10, n.3, p.293-297,1986.

DECECEK, R. A.; RESK, D. V. S.; FREITAS Jr., E. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em Latossolo Vermelho-Escuro dos cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. **R. Bras. Ci. Solo**, v.10, n.3, p.265-272,1986.

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

DULEY, F. L. Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. **Proc. Soil Sic. Soc. Am.**, v.4, n.1, p.60-64,1939.

EL-SWAIFY, S. A.; DANGLER, E. W. Erodibilities of selected tropical soils in relation to structural and hydrological parameters. In: G. R. FOSTER (ed.) Soil erosion: Prediction and control. **Soil Cons. Soc. Am.,** n. 21, p.105-114. 1977.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999, 412p.

FERNANDES, B. et al. Efeitos de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição do tamanho de poros, em dois solos (Typic Argiaquoll e Typic Hapludalf). **R. Bras. Ci. Solo**, v.7, n.3, p.329-333, 1983.

FOSTER, G. R. Modeling the erosion process. In: **Hidriological modeling of small wathersheds**. St Joseph: American Society of Agricultural Engineering, 1982, p.297-370.

FOSTER, G. R. **User requirements**. USDA-water erosion prediction project (WEPP). n.1. USDA-Agricultural Research Service, National Soil Erosion Laboratory, Purdue University, West Lafayette,1987.

GHUMAN, B. S.; LAL, R. Effect of crop cover on temperature regime of on Alfisol in the tropics. **Agron. J.** v.75, n. 4-6, p.931-936, 1985.

GUPTA, S. C.; LARSON, W. E.; LINDEN, D. R. Tillage and residue effects on soil upper boundary temperatures. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v.47, n.6, p.1212-1218,1983.

HERNANI, L. C. et al. Perdas por erosão e rendimento de soja e trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). **R. Bras. Ci. Solo,** v.21, n.3, p.367-376,1997.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics.** San Diego: Academic Press, 1980. 413 p.

_____. **Environmental of soil physics**. San Diego: Academic Press, 1998. 771p.

JOHNSON M. D.; LOWERY, B. Effect the three cultivation tillage practices on temperature and thermal properties. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v.49, n.6, p.1547-1552, 1985.

KRAMER, P. J.; BOYER, S. J. **Water relations of plants and soils.** San Diego: Academic Press, 1995.

KRAMPATH, E. J. et al. Tillage effects on biomass production and moisture utilization by soybeans on Coastal Plain soils. **Agro. J**. v.71, n. 4-6, p.1001-1005, 1979.

KROTH, P. L. **Disponibilidade de fósforo no solo para plantas e fatores que afetam a extração por resina de troca em membrana**. 1998. 168f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

LAL, R. Soil temperature, soil moisture and yield from mulched and unmulched tropical soils. **Pl. Soil**, v.40, n.1, p.129-143,1974.

LAMBE, T. W.; WHITMAN, R. V. **Soil mechanics**. New York: John Wiley ; Sons, 1969.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Advances in Soil Science**, v.1, p.277-294, 1985.

LOMBARDI NETO, F. et al. Efeito da quantidade de resíduos culturais de milho nas perdas de solo e água. **R. Bras. Ci. Solo**, v.12, n.1, p.71-75, 1988.

LOVATO, T. **Dinâmica do carbono e do nitrogênio do solo afetada por preparos do solo, sistemas de culturas e adubo nitrogenado.** 2001. 130f. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

McDOWELL, L. L.; McGREGOR, K. C. Plant nutrient losses in runoff from conservation tillage corn. **Soil Till. Research**, v.4, n.1, p.79-91, 1984.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Secretaria da Agricultura. Diretoria de Terras e Colonização. Secção de Geografia, 1961. 46p.

NESMITH, D. S. et al. Soil compaction in double-cropped wheat and soybeans in Ultisol. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v.51, n.1, p.183-186, 1987.

PARUPS, E. V.; NIELSEN, K. F.; BOURGET, S. G. The growth, nicotine and phosphorus content of tobacco grown at different soil temperature, moisture and phosphorus levels. **Can. J. Pl. Sci**. v.40, n.3, p.516-523, 1960.

PELLEGRINI, J. B. R. **Fósforo na água e no sedimento na microbacia hidrográfica do Arroio Lino - Agudo – RS.** 2005. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

POTTER, K. N.; CRUSE, R. M.; HORTON, R. Tillage effects on thermal properties. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, vol. 49, n.4, p. 968-973, 1985.

REICHERT, J. M.; NORTON, L. D. Aggregate stability and rain-impacted sheet erosion of air-dried and prewetted clayey surface soils under intense rain**. Soil Sci.** v.158, (September, 1994a), p.159-169.

REICHERT, J. M.; NORTON, L. D. Fluidized bed bottom-ash effects on inftltration and erosion of swelling soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v.58, n.5, p.1483-1488, 1994b.

REICHERT, J. M.; NORTON, L. D. Fluidized bed combustion bottom-ash effects on infiltration and eorsion of variable charge soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v.60, n.1, p.275-282,1996.

REINOLDS, W. D. et al. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Goederma**, v.110, n.1-2, p.131-146, 2002.

RUSSELL, R. S. **Plant root systems**. McGraw-Hill Book, New York, 1977.

SALTON, J. C.; MIELNIZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzolico vermelho-escuro de Eldorado do Sul (RS). **R. Bras. Ci. Solo**, v.19, n.2, p.313-319,1995.

SCHICK, J. et al. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. **R. Bras. Ci. Solo**, v.24, n.2, p.427-436, 2000.

SCHICK, J. et al. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de solo e água. **R. Bras. Ci. Solo**, v.24, n.2, p.437-447, 2000.

SEGANFREDO, M. L.; ELTZ, F. L. F.; de BRUM, A. C. R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v.21, n.2, p.287-291,1997.

SHARPLEY, A. N.; SMITH, S. J.; JONES, O. R. The transport of bioavailable phosphorus in agricultural runoff. **J. Environ. Qual.**, v.21, n.1, p.30-35, 1992.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** Porto Alegre: UFRGS/FA/DS, 1995. 174 p.

UNGER, P. W. Strow mulch effects on soil temperature and sorghum germination and growth. **Agron. J.**, v.70, n.4-6, p.858-864, 1978.

VEIGA, M.; CABEDA, M. S. V.; REICHERT, J. M. Erodibilidade em entressulcos de solos do Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo,** v.17, n.1, p.121-128, 1993.

VEPRASKAS, M. J.; MINER, G. S. Effects of subsoiling and mechanical impedance on tobacco root growth. **Soil Sci. Soc. Am. J**. v.50, n.2, p.423-427, 1986a.

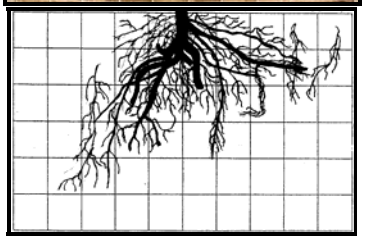
VEPRASKAS, M. J.; WAGGER, M. G. Corn root distribution and yield response to subsoiling for Paleudults having different aggregates sizes. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v.54, n.3, p.849-854, 1990.

VEPRASKAS, M. J.; MINER, G. S.; PEEDIN, G. F. Relationships of dense tillage pans, soil properties, and subsoiling to tobacco root growth. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v.50, n.6, p.1541-1546, 1986b.

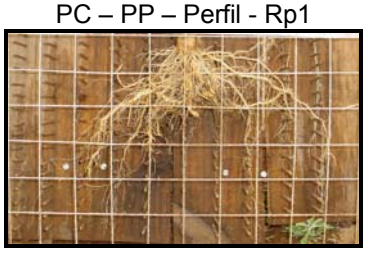
VEPRASKAS, M. J.; MINER, G. S.; PEEDIN, G. F. Relationships of soil properties and rainfall to effects of subsoiling on tobacco yield. **Agron. J.** v.79, n.1, p.141-146, 1987.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA, 1978. 58p. (Agricultural Handbook, 573).

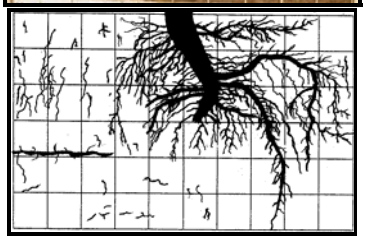
ANEXOS



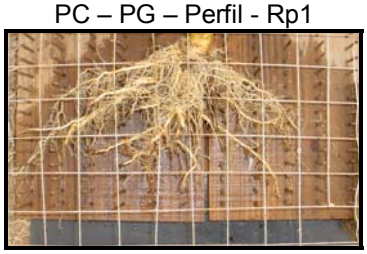
PC – PP – Perfil - Rp1



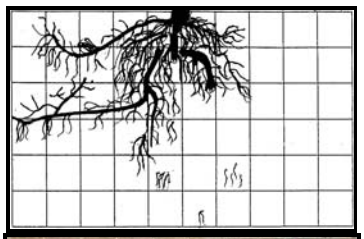
PC – PP – Tábua - Rp1



PC – PG – Perfil - Rp1

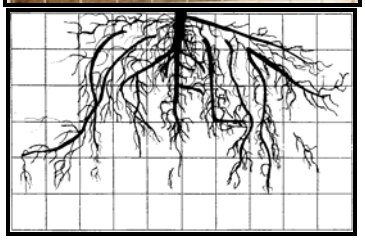


PC – PG – Tábua - Rp 1

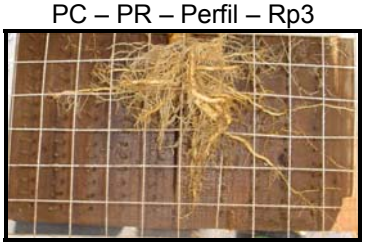


PC – PR – Perfil – Rp2

PC – PR – Tábua - Rp 2

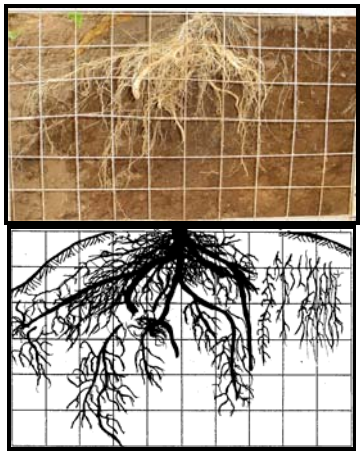


PC – PR – Perfil – Rp3

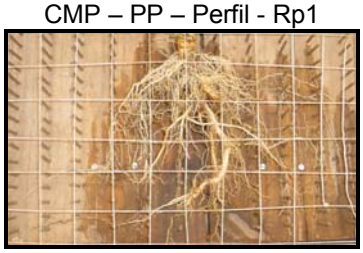


PC – PR - Tábua - Rp3

Anexo A- Distribuição do sistema radicular da cultura do fumo pelo método do perfil cultural (Perfil) e pela tábua com pregos (Tábua) no preparo convencional (PC), em planta pequena (PP), planta representativa (PR) e planta grande (PG). Dimensões do quadro: 0,5 x 0,3 m, com quadriculas de 0,05 x 0,05 m.

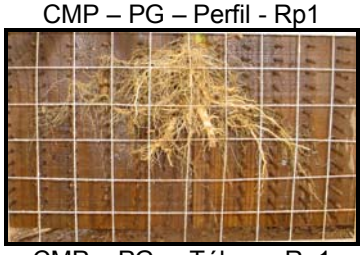


CMP – PP – Perfil - Rp1

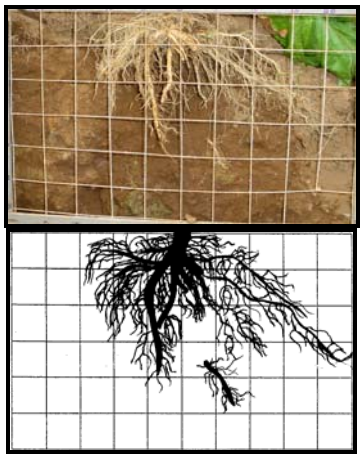


CMP – PP – Tábua - Rp1

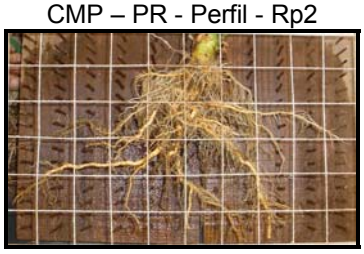
CMP – PG – Perfil - Rp1



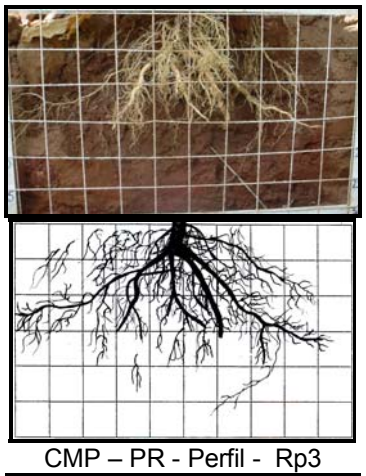
CMP – PG – Tábua - Rp1



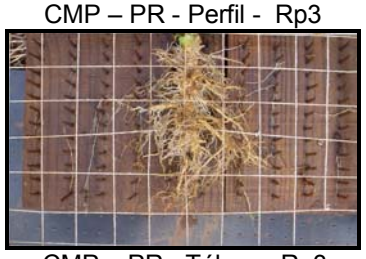
CMP – PR - Perfil - Rp2



CMP – PR - Tábua - Rp2

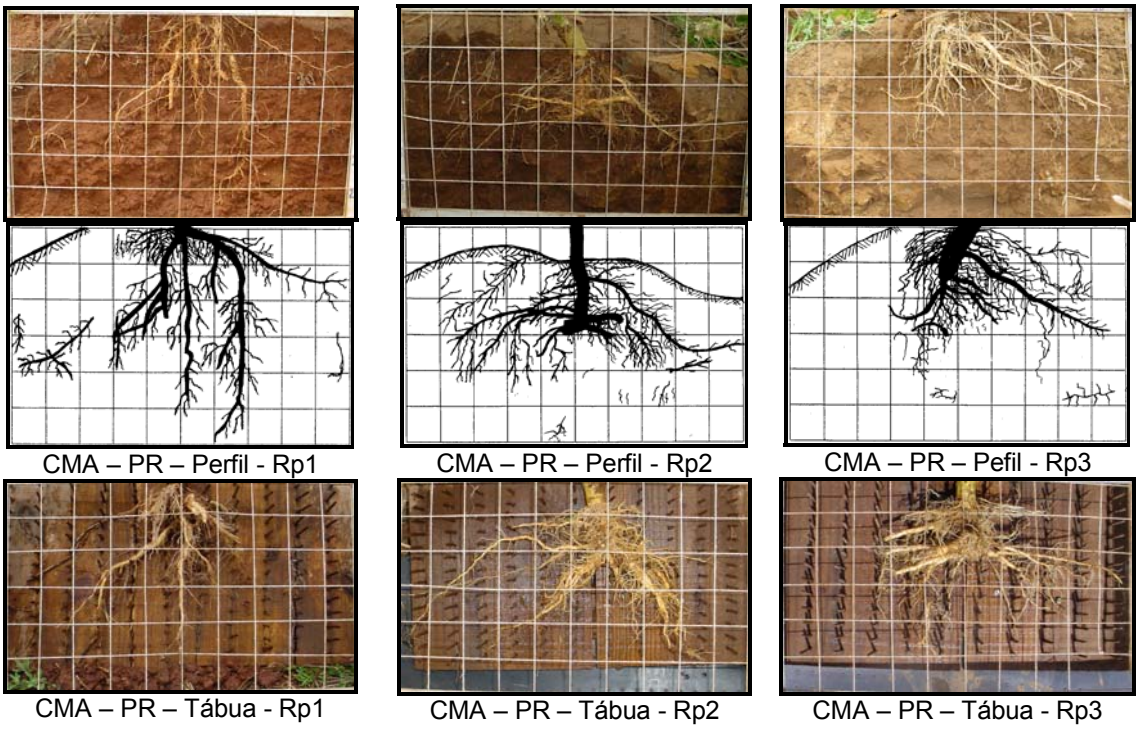


CMP – PR - Perfil - Rp3

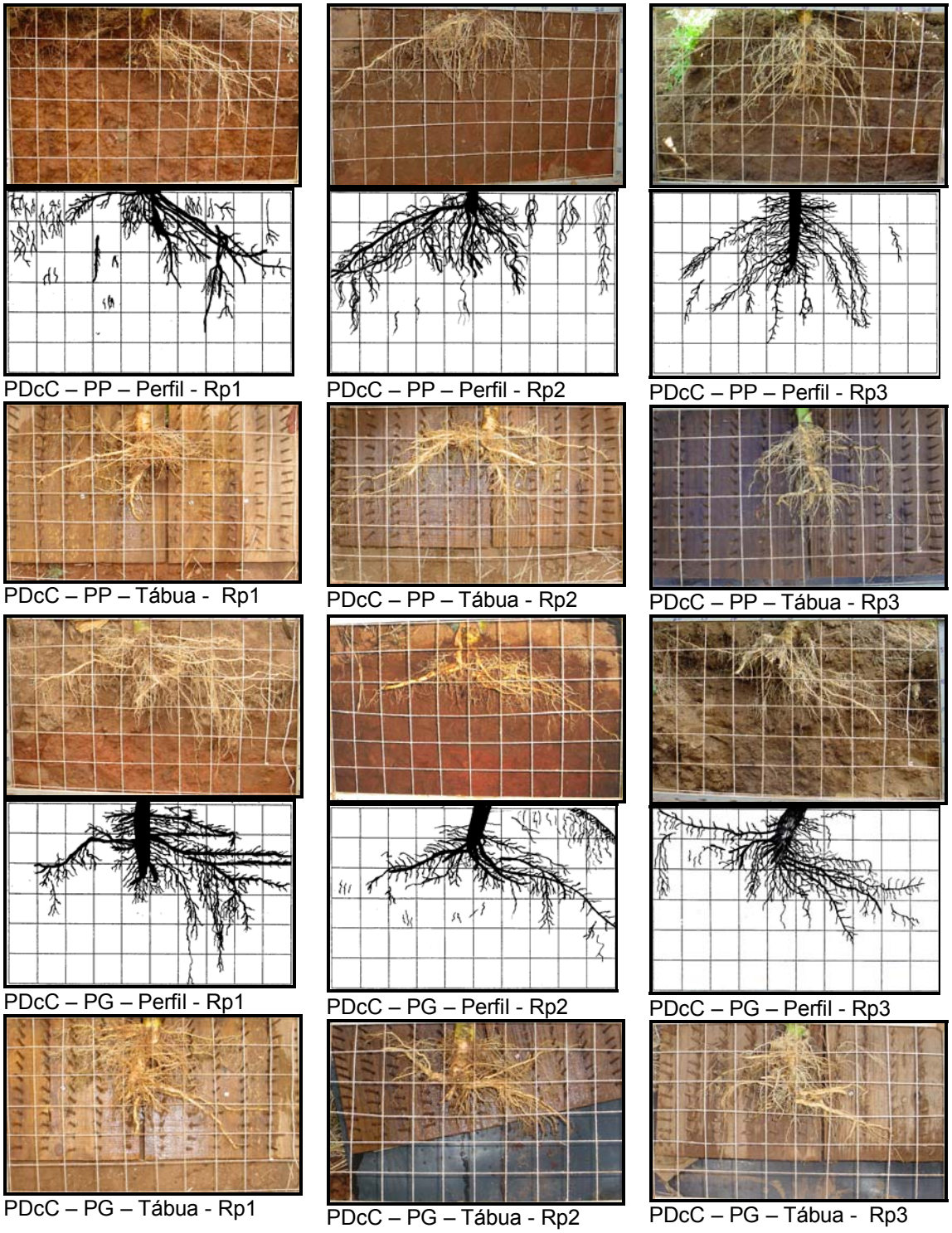


CMP – PR - Tábua - Rp3

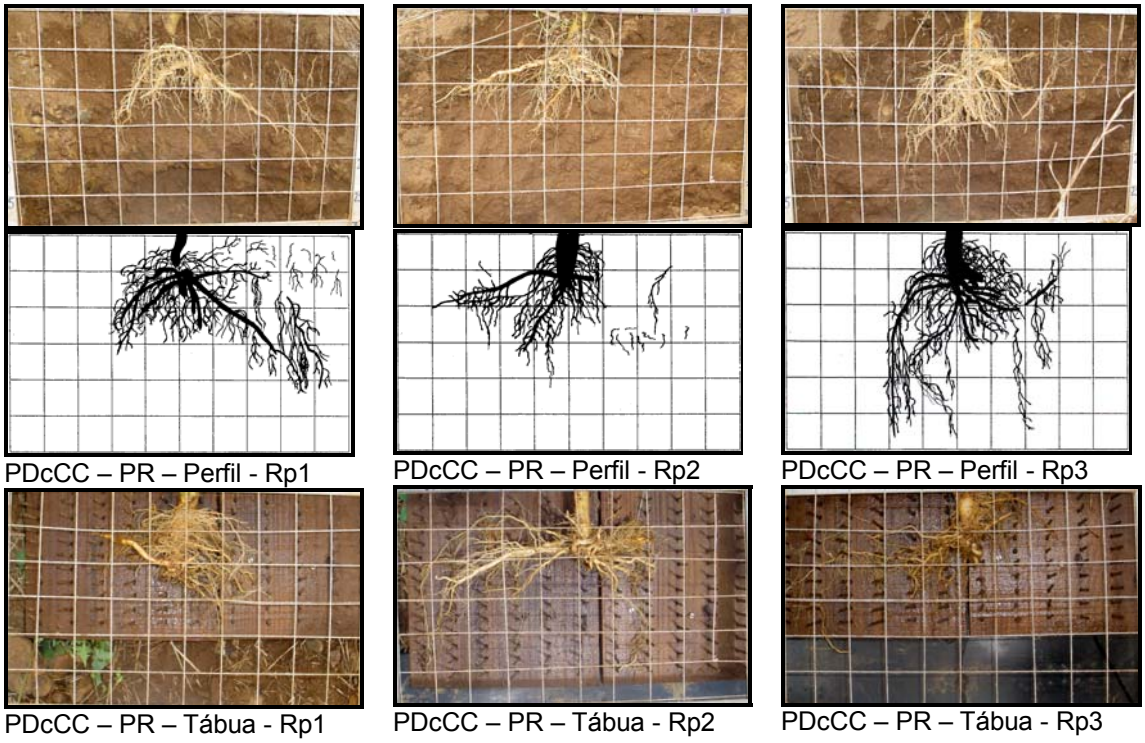
Anexo B- Distribuição do sistema radicular da cultura do fumo pelo método do perfil cultural (Perfil) e pela tábua com pregos (Tábua) no cultivo mínimo pousio (CMP), em planta pequena (PP), planta representativa (PR) e planta grande (PG). Dimensões do quadro: 0,5 x 0,3 m, com quadriculas de 0,05 x 0,05 m.



Anexo C- Distribuição do sistema radicular da cultura do fumo pelo método do perfil cultural (Perfil) e pela tábua com pregos (Tábua) no cultivo mínimo aveia (CMA), em planta representativa (PR). Dimensões do quadro: 0,5 x 0,3 m, com quadriculas de 0,05 x 0,05 m.



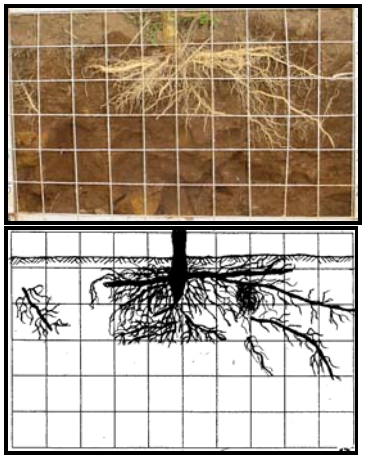
Anexo D- Distribuição do sistema radicular da cultura do fumo pelo método do perfil cultural (Perfil) e pela tábua com pregos (Tábua) no plantio direto com camalhão (PDcC), em planta pequena (PP) e planta grande (PG). Dimensões do quadro: 0,5 x 0,3 m, com quadriculas de 0,05 x 0,05 m.

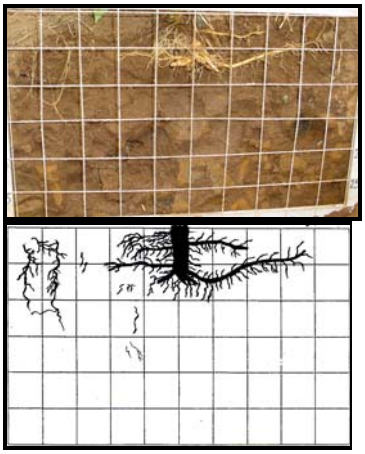


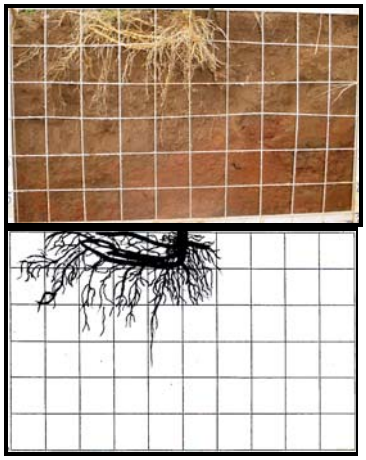
PDcCC – PR – Perfil - Rp1 | PDcCC – PR – Perfil - Rp2 | PDcCC – PR – Perfil - Rp3

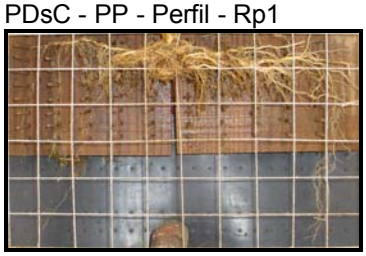
PDcCC – PR – Tábua - Rp1 | PDcCC – PR – Tábua - Rp2 | PDcCC – PR – Tábua - Rp3

Anexo E- Distribuição do sistema radicular da cultura do fumo pelo método do perfil cultural (Perfil) e pela tábua com pregos (Tábua) no plantio direto com camalhão consolidado (PDcCC), em planta representativa (PR). Dimensões do quadro: 0,5 x 0,3 m, com quadriculas de 0,05 x 0,05 m.


PDsC - PP - Perfil - Rp1

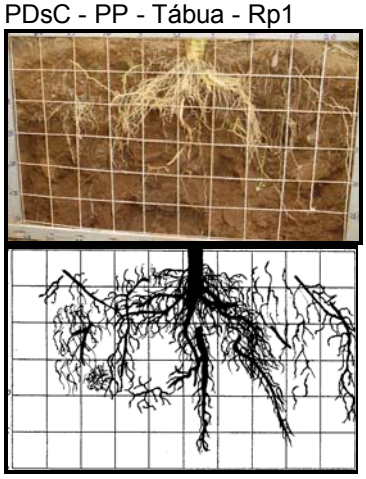

PDsC – PP – Perfil - RP2

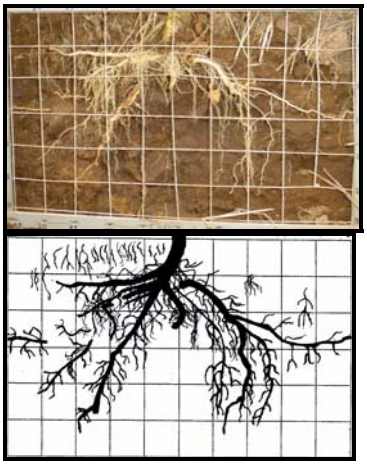

PDsC – PP – Perfil - Rp3

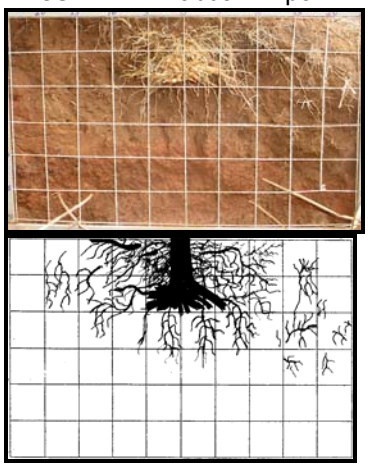

PDsC - PP - Tábua - Rp1

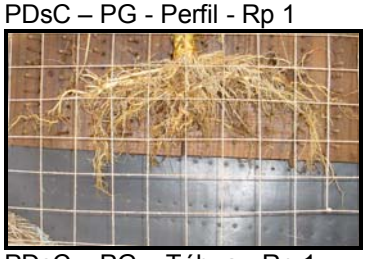
PDsC – PP – Tábua - RP2

PDsC – PP – Tábua - Rp3

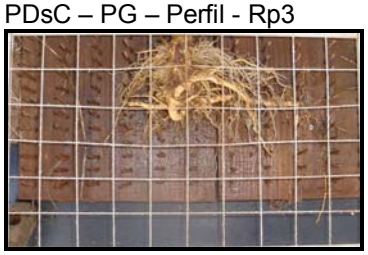

PDsC – PG - Perfil - Rp 1


PDsC – PG – Perfil - Rp2


PDsC – PG – Perfil - Rp3


PDsC – PG – Tábua - Rp 1

PDsC – PG – Tábua - Rp2


PDsC – PG – Tábua - Rp3

Anexo F- Distribuição do sistema radicular da cultura do fumo pelo método do perfil cultural (Perfil) e pela tábua com pregos (Tábua) no plantio direto sem camalhão (PDsC), em planta pequena (PP) e planta grande (PG). Dimensões do quadro: 0,5 x 0,3 m, com quadriculas de 0,05 x 0,05 m.