

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E SISTEMA RADICULAR DE  
BERGAMOTEIRAS SOB DIFERENTES MANEJOS DA COBERTURA DE  
ENTRELINHAS DO POMAR**

**Caroline Valverde dos Santos**

Dissertação de Mestrado

Porto Alegre, 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E SISTEMA RADICULAR DE  
BERGAMOTEIRAS SOB DIFERENTES MANEJOS DA COBERTURA DE  
ENTRELINHAS DO POMAR**

CAROLINE VALVERDE DOS SANTOS  
Engenheiro Agrônomo (UFRB)

Dissertação apresentada como um dos  
requisitos para a obtenção do Grau de  
Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS), Brasil  
Fevereiro de 2013

CIP - Catalogação na Publicação

SANTOS, CAROLINE VALVERDE DOS  
ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E SISTEMA RADICULAR DE  
BERGAMOTEIRAS SOB DIFERENTES MANEJOS DA COBERTURA DE  
ENTRELINHAS DO POMAR / CAROLINE VALVERDE DOS SANTOS.  
-- 2013.  
119 f.

Orientador: RENATO LEVIEN.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa  
de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre, BR-  
RS, 2013.

1. CITRICULTURA. 2. PLANTAS ESPONTÂNEAS. 3.  
ARGISSOLO. 4. MÁQUINAS AGRÍCOLAS. 5. LOCAIS DE  
AMOSTRAGEM. I. LEVIEN, RENATO, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os  
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

CAROLINE VALVERDE DOS SANTOS  
Engenheira Agrônoma - UFRB

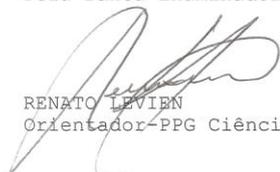
## DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos  
para obtenção do Grau de

### MESTRE EM CIÊNCIA DO SOLO

Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo  
Faculdade de Agronomia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 01.09.2013  
Pela Banca Examinadora



RENATO LEVIEN  
Orientador-PPG Ciência do Solo



PAULO CÉSAR DO NASCIMENTO  
Departamento de Solos/UFRGS

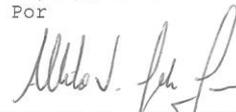


CARLOS ALBERTO BISSANI  
Departamento de Solos/UFRGS



SÉRGIO FRANCISCO SCHWARZ  
Departamento de Horticultura  
e Silvicultura/UFRGS

Homologado em: 04.07.2013  
Por



ALBERTO V. INDA JUNIOR  
Coordenador do  
Programa de Pós-Graduação em  
Ciência do Solo



PEDRO ALBERTO SELBACH  
Diretor da Faculdade  
de Agronomia

*Dedico esse trabalho  
aos meus pais Nilton e Geldisia  
e aos meus irmãos Ricardo e Eduardo.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me amparar nos momentos mais difíceis, mostrando o caminho nas horas incertas e suprimindo todas minhas necessidades. *“Porque para Deus nada é impossível.”* (Lucas 1:37)

À minha família, meus irmãos Eduardo e Ricardo, minhas sobrinhas Yeda e Ísis e, em especial aos meus pais Nilton e Geldisia, pelo incentivo, amor e exemplo de vida. Conseguimos mais uma Vitória.

Aos meus eternos orientadores da EMBRAPA-CNPMP Laércio Souza e Luciano Souza, pelos ensinamentos e demonstração de amizade.

Ao professor Renato Levien, por sua orientação e ajuda nos momentos mais críticos, pela confiança depositada e por contribuir para o meu crescimento profissional.

Ao Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, por ter me recebido tão bem e contribuir para minha formação.

À todos os professores que passaram em minha vida. Seus ensinamentos foram fundamentais para a minha formação.

Ao colegas do setor de Fruticultura da UFRGS, em especial Henrique Petry, Gerson Boettcher e ao Prof. Sergio Francisco Schwarz, pela parceria para realização do trabalho.

Ao proprietário da área de condução do experimento, Luis Laux, pela receptividade e ajuda na realização do trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsas de mestrado.

Aos colegas de pós-graduação, em especial Michael e Alexandra, pela colaboração e troca de conhecimento, e aos bolsistas de graduação Darlan, Lucas, Matias e Jefferson, por toda a ajuda nas saídas de campo e trabalhos de laboratório.

Aos amigos que me acolheram em Porto Alegre, meu muito obrigada.

A todos os amigos da Bahia e do Rio de Janeiro que mesmo distantes fizeram parte desse processo de formação pessoal e profissional.

Muito obrigada!

# ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E SISTEMA RADICULAR DE BERGAMOTEIRAS SOB DIFERENTES MANEJOS DA COBERTURA DE ENTRELINHAS DO POMAR<sup>1</sup>

Autor: Caroline Valverde dos Santos  
Orientador: Prof. Renato Levien

## RESUMO

O Estado do Rio Grande do Sul é o terceiro maior produtor de bergamotas do país. As plantas espontâneas (PEs) presentes nas entrelinhas dos pomares promovem competição com as bergamoteiras por água e nutrientes. Este trabalho teve por objetivos a avaliação os atributos físicos do solo em um pomar de bergamoteiras, variedade Montenegrina, submetido a diferentes manejos para o controle das PEs e seus efeitos no desenvolvimento radicular do porta-enxerto da bergamoteira. O experimento foi conduzido no município de Montenegro, em um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico. Os tratamentos foram realizados com uso de grande, tronco 'V', roçadora e rolo-faca, além da testemunha, com quatro repetições. As amostragens do solo foram realizadas nos locais de linha de projeção da copa (LPC), rodado (R) e entrerodados (ER), nas profundidades de 0,0-15,0; 15,0-30,0; 30,0-45,0 e 45,0-60,0 cm. Foi realizado um estudo fitossociológico para avaliar o efeito dos tratamentos na composição florística das PEs. A análise de raízes foi realizada coletando-se amostras nas profundidades de 0,0-15,0; 15,0-30,0; 30,0-45,0; 45,0-60,0; 60,0-75,0 e 75,0-90,0 cm, nos locais de LPC, R e ER. O solo apresentou alto teor de areia fina e muito fina, favorecendo a capacidade de retenção de água. Houve uma variação na porosidade e densidade do solo em todos os tratamentos, onde a linha de plantio manejada com o uso da grade e roçadora apresentaram maiores valores em relação aos demais tratamentos e à testemunha. O tratamento grade também apresentou maior valor de densidade relativa do que os demais tratamentos. A resistência mecânica do solo à penetração foi maior no local de tráfego do rodado do trator, com picos de resistência localizados entre as profundidades de 15 e 30 cm. Foram observadas variações nas taxas de infiltração de água no solo também no local de amostragem do local de tráfego do rodado do trator, devido a maior concentração de microporos nesse local. O manejo das entrelinhas favoreceu a presença de uma variedade de espécies espontâneas de difícil controle. O porta-enxerto das bergamoteiras apresentou uma maior densidade de raízes no local da linha de projeção da copa (50 cm do tronco), em todas as profundidades, concentradas na classe de diâmetro entre 0,0 e 1,0 mm. A variação nos atributos físicos, atrelados às características químicas e biológicas do solo do pomar, promoveu uma redução no volume de solo explorado pelo sistema radicular das bergamoteiras, podendo comprometer a produtividade do pomar.

---

<sup>1</sup> Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS. Porto Alegre. (103 p.) Abril, 2013. Trabalho realizado com apoio financeiro do CNPq

# PHYSICAL ATTRIBUTES OF SOIL AND ROOT SYSTEM OF DIFFERENT MANAGERMENTS BERGAMOT UNDER COVER LINES OF THE ORCHARD<sup>2</sup>

Author: Caroline Valverde dos Santos  
Adviser: Prof. Renato Levien

## ABSTRACT

The state of Rio Grande do Sul is the third largest producer of bergamot orange (*Citrus bergamia*) in the Brazil. The weeds present between in the lines of bergamot orange orchards are responsible for water and nutrients competition. This study aimed to evaluate the physical properties of the soil under different management for the weeds control in a bergamot orange orchard, and its effects on rootstock root development of the Montenegrina variety. The experiment was conducted in Montenegro, in a dystrophic Ultisol Paludalf. The treatments were large trunk 'V', mowing, knife roller and control native field, with four replications. Soil samples were collected at depths of 0.0 to 15.0, 15.0 to 30.0; from 30.0 to 45.0 and 45.0 to 60.0 cm in the plant line (PL), canopy horizontal projection (CHP), tractor rotated (TR) and line between rotated (LBR), followed by analysis of the soil physical properties . Were conducted phytosociological studies to evaluate the treatments effects on the weeds floristic composition. The analysis of roots was performed by collecting samples at depths of 0.0 to 15.0, 15.0 to 30.0, 30.0 to 45.0, 45.0 to 60.0, 60.0 to 75, 0 and 75.0 to 90.0 cm, in CP, TR and LBR. The soil had a higher content of fine sand and very fine sand, favoring the capacity for water retention. Were observed a variation in the soil porosity and soil bulk density in all treatments. The plant line under disc harrow and mowing management showed higher values . The grille disc harrow treatment also showed higher soil bulk density compared to the other treatments. The soil resistance to penetration were largest to tractor rotated site, with resistance peaks located between depths of 15 and 30 cm. Were observed changes in the rates of water infiltration in the place of tractor rotated) due to higher concentration of micropores at this location. The management of the lines between rotated, favored the presence of a variety of spontaneous species of very difficult control. The bergamot orange rootstock showed a higher density of roots at the canopy horizontal projection (50 cm trunk) at all depths. The diameter of root concentrated in the class between 0.0 and 1.0 mm. The variation in the physical attributes, linked to chemical and biological characteristics of the soil from orchard, there was a decrease in soil volume explored by the root system of bergamot orange, compromises the productivity of the orchard.

---

<sup>2</sup> Dissertation in Soil Science. Graduate Program in Soil Science, Faculty of Agronomy, UFRGS. Porto Alegre. (103 p.) April 2013. Work carried out with financial support from CNPq

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....  | 1  |
| <b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....   | 3  |
| 2.1. Origem e importância econômica da cultura .....  | 3  |
| 2.2. Condições edafoclimáticas exigidas pela cultura .....  | 5  |
| 2.3. Sistemas de produção para citros .....   | 6  |
| 2.4. Plantas espontâneas em pomares cítricos .....  | 8  |
| 2.5. Práticas de manejo em pomares cítricos .....   | 9  |
| 2.6. Uso de máquinas em pomares cítricos .....  | 10 |
| 2.7. Compactação do solo em pomares cítricos .....  | 12 |
| 2.8. Indicadores da qualidade física do solo para citros .....  | 13 |
| 2.8.1. Textura do solo .....  | 13 |
| 2.8.2. Espessura do solo .....  | 14 |
| 2.8.3. Densidade e porosidade do solo .....   | 14 |
| 2.8.4. Densidade máxima de compactação do solo .....  | 16 |
| 2.8.5. Infiltração de água no solo .....  | 18 |
| 2.8.6. Resistência mecânica do solo à penetração .....  | 18 |
| 2.9. Sistema radicular de plantas cítricas .....  | 19 |
| <b>3. ESTUDO I: ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM ARGISSOLO VERMELHO<br/>AMARELO DISTRÓFICO ARÊNICO SUBMETIDO A DIFERENTES TIPOS DE<br/>MANEJOS DO SOLO</b> ..... | 20 |
| 3.1. Introdução .....   | 20 |
| 3.2. Material e métodos .....   | 22 |
| 3.2.1. Localização da área experimental .....   | 22 |
| 3.2.2. Histórico da área experimental .....   | 22 |
| 3.2.3. Tratamentos .....  | 24 |
| 3.2.5. Amostragem do solo .....   | 27 |
| 3.2.6. Atributos físicos do solo .....  | 27 |

|             |  |           |
|-------------|--|-----------|
| 3.2.6.1.    | Análise granulométrica .....   | 27        |
| 3.2.6.2.    | Densidade de partículas .....  | 29        |
| 3.2.6.3.    | Densidade do solo e porosidade do solo .....   | 30        |
| 3.2.6.4.    | Densidade máxima de compactação do solo .....  | 32        |
| 3.2.6.5.    | Infiltração de água no solo.....   | 33        |
| 3.2.6.6.    | Resistência mecânica do solo à penetração .....  | 34        |
| 3.2.7.      | Análise estatística dos dados.....   | 35        |
| 3.3.        | Resultados e discussão.....  | 36        |
| 3.3.2.      | Atributos físicos do solo .....  | 36        |
| 3.3.2.1.    | Caracterização física do solo.....   | 36        |
| 3.3.2.2.    | Porosidade e densidade do solo.....  | 39        |
| 3.3.2.3.    | Densidade máxima de compactação do solo .....  | 46        |
| 3.3.2.4.    | Infiltração de água no solo.....   | 51        |
| 3.3.2.5.    | Resistência mecânica do solo à penetração .....  | 55        |
| <b>3.4.</b> | <b>Conclusões .....</b>  | <b>60</b> |
| <b>4.</b>   | <b>ESTUDO II: COBERTURA VEGETAL DAS ENTRELINHAS E<br/>DESENVOLVIMENTO RADICULAR DE BERGAMOTEIRAS SUBMETIDAS A<br/>DIFERENTES TIPOS DE MANEJO DO SOLO .....</b> | <b>61</b> |
| <b>4.1.</b> | <b>Introdução .....</b>  | <b>61</b> |
| 4.2.        | Material e métodos .....   | 65        |
| 4.3.2.      | Levantamento fitossociológico da vegetação espontânea .....  | 65        |
| 4.3.2.      | Avaliação do sistema radicular de <i>Poncirus trifoliata</i> .....   | 67        |
| 4.3.        | Resultados e discussão.....  | 70        |
| 4.3.1.      | Levantamento fitossociológico da vegetação espontânea .....  | 70        |
| 4.3.2.      | Avaliação do sistema radicular de <i>Poncirus trifoliata</i> .....   | 77        |
| 4.4.        | CONCLUSÕES .....   | 83        |
| 5.          | CONSIDERAÇÕES FINAIS.....  | 84        |
| <b>6.</b>   | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>  | <b>85</b> |

|                          |            |
|--------------------------|------------|
| <b>7. APÊNDICE</b> ..... | <b>102</b> |
|--------------------------|------------|

## RELAÇÃO DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1. Distribuição granulométrica e densidade de partículas do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico (PVAd).....  | 38 |
| Tabela 2. Densidade do solo ( <i>Ds</i> ), Macro ( <i>Ma</i> ), Micro ( <i>Mi</i> ) e Porosidade total ( <i>Pt</i> ), na profundidade 0,0-15,0 cm nas entrelinhas manejadas com o uso da grade, tronco V, roçadora e rolo faca, observados na Linha de projeção da copa (LPC), Rodado (R) e Entrelinha do rodado (ER).....  | 40 |
| Tabela 3. Densidade do solo ( <i>Ds</i> ), Macro ( <i>Ma</i> ), Micro ( <i>Mi</i> ) e Porosidade total ( <i>Pt</i> ), na profundidade 15,0-30,0 cm nas entrelinhas manejadas com o uso da grade, tronco V, roçadora e rolo faca, observados na Linha de projeção da copa (LPC), Rodado (R) e Entrelinha do rodado (ER)..... | 41 |
| Tabela 4. Densidade do solo ( <i>Ds</i> ), Macro ( <i>Ma</i> ), Micro ( <i>Mi</i> ) e Porosidade total ( <i>Pt</i> ), na profundidade 30,0-45,0 cm nas entrelinhas manejadas com o uso da grade, tronco V, roçadora e rolo faca, observados na Linha de projeção da copa (LPC), Rodado (R) e Entrelinha do rodado (ER)..... | 42 |
| Tabela 5. Densidade do solo ( <i>Ds</i> ), Macro ( <i>Ma</i> ), Micro ( <i>Mi</i> ) e Porosidade total ( <i>Pt</i> ), na profundidade 45,0-60,0 cm nas entrelinhas manejadas com o uso da grade, tronco V, roçadora e rolo faca, observados na Linha de projeção da copa (LPC), Rodado (R) e Entrelinha do rodado (ER)..... | 44 |
| Tabela 6. Densidade do solo ( <i>Ds</i> ), Macro ( <i>Ma</i> ), Micro ( <i>Mi</i> ) e Porosidade total ( <i>Pt</i> ), nas entrelinhas manejadas com o uso da grade, tronco V, roçadora, rolo faca, além da testemunha nas camadas de 0,0-15,0; 15,0-30,0; 30,0-45,0 e 45,0-60,0 cm de profundidade .....                    | 45 |
| Tabela 7. Velocidade de infiltração básica ( <i>Ti</i> ), em mm h <sup>-1</sup> em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico (PVAd) em pomar de citros com diferentes formas manejos de invasoras nas entrelinhas de plantio.....   | 54 |
| Tabela 8. Teor de umidade do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico (PVAd) em julho/2012 em pomar de citros .....  | 56 |
| Tabela 9. Espécies de plantas espontâneas identificadas no levantamento fitossociológico do pomar nos meses de fevereiro, maio e agosto de 2012 .....   | 72 |
| Tabela 10. Importância relativa (%) das principais espécies encontradas no levantamento fitossociológico do pomar .....   | 76 |
| Tabela 11. Comprimento de raízes (cm cm <sup>-3</sup> de solo) de <i>Poncirus trifoliata</i> porta-enxertado em bergamoteiras Montenegrina na classe de diâmetro de raízes entre 0,0 a 1,0 mm .....   | 80 |

|  |    |
|--|----|
| Tabela 12. Comprimento de raízes ( $\text{cm cm}^{-3}$ de solo) de <i>Poncirus trifoliata</i> porta-enxertado em bergamoteiras Montenegrina na classe de diâmetro de raízes entre 1,0 a 2,0 mm ..... | 81 |
| Tabela 13. Comprimento de raízes ( $\text{cm cm}^{-3}$ de solo) de <i>Poncirus trifoliata</i> porta-enxertado em bergamoteiras Montenegrina na classe de diâmetro de raízes maiores que 2,0 mm.....  | 81 |

## RELAÇÃO DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Áreas de experimental, testemunha e disposição das bergamoteiras no pomar submetido ao manejo orgânico do solo no município de Montenegro. ....   | 23 |
| Figura 2. Precipitação média anual (mm) no período de 2009 a 2011 na região do Vale do Caí (FEPAGRO, 2012) e ciclo fenológico das plantas cítricas. ....  | 24 |
| Figura 3. Croqui de distribuição dos tratamentos, plantas úteis e de bordadura no pomar – Montenegro/RS.....  | 25 |
| Figura 4. Manejos das entrelinhas de plantio do pomar para o controle de..... espécies espontâneas.   | 26 |
| Figura 5. Locais de amostragens do solo realizadas nas entrelinhas de plantio do pomar de bergamoteiras ( <i>Citrus deliciosa</i> ), variedade Montenegrina.....  | 27 |
| Figura 6. Suspensão de solo para análise granulométrica. ....   | 28 |
| Figura 7. Amostragem do solo, nos pontos de LPC, R e ER com uso de anéis volumétricos para análise física do solo. ....   | 30 |
| Figura 8. Amostras de solo submetidas à saturação por água para a determinação da porosidade total do solo. ....  | 31 |
| Figura 9. Uso de mesa de tensão e determinação da massa do solo para a determinação da porosidade e densidade do solo.....  | 31 |
| Figura 10. Ensaio de infiltração de água no solo com uso de infiltrômetro de cilindros concêntricos.....  | 33 |
| Figura 11. Penetrômetro digital utilizado para análise de resistência mecânica do solo à penetração nas entrelinhas de plantio do pomar orgânico. ....  | 34 |
| Figura 12. Curvas de densidade máxima de compactação do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico (PVAd) em função dos tratamentos e profundidades de amostragem. ....  | 47 |
| Figura 13. Taxa de infiltração em função do tempo nos pontos de amostragens LPC (linha de projeção da copa), ER (entre rodado) e R (rodado esquerdo) das entrelinhas de manejo do solo com uso de grade e tronco V. ....                      | 51 |
| Figura 14. Taxa de infiltração de água no solo em função do tempo, nos locais de amostragens LPC (linha de projeção da copa), ER (entre rodado) e R (rodado esquerdo) das entrelinhas de manejo do solo com uso de roçadora e rolo faca. .... | 52 |
| Figura 15. Taxa de infiltração ( $T_i$ ) em função do tempo na área Testemunha..  | 53 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 16. Curvas de resistência mecânica do solo à penetração nos locais de amostragens LPC (linha de projeção da copa), ER (entre rodado) e R (rodado esquerdo) das entrelinhas de manejo do solo com uso de grade e tronco V. ..  | 57 |
| Figura 17. Curvas de resistência mecânica do solo à penetração nos pontos de amostragens LPC (linha de plantio), ER (entre rodado) e R (rodado esquerdo) das entrelinhas de manejo do solo com uso de roçadora e rolo faca. ....     | 58 |
| Figura 18. Resistência à penetração do solo na área de Testemunha. ....  | 59 |
| Figura 19. Levantamento fitossociológico de plantas espontâneas presentes nas entrelinhas do pomar. ....   | 66 |
| Figura 20. Amostragem do sistema radicular das bergamoteiras, variedade Montenegrina, pelo método do trado. ....   | 67 |
| Figura 21. Disposição de raízes de bergamoteiras para digitalização da imagem em scanner de mesa. ....   | 68 |
| Figura 22. Importância relativa (%) das classes de plantas espontâneas identificadas no levantamento fitossociológico total da área realizado na época seca na região (fevereiro de 2012). ....                                      | 71 |
| Figura 23. Importância relativa (%) das classes de plantas espontâneas identificadas no levantamento fitossociológico total da área realizado nas épocas chuvosas da região (maio e agosto de 2012).....                             | 72 |
| Figura 24. Densidade de raízes, g cm <sup>-3</sup> de <i>Poncirus trifoliata</i> , porta-enxertado em bergamoteiras da variedade Montenegrina, em função dos tratamentos e profundidade de amostragem nas entrelinhas do pomar. .... | 79 |

## RELAÇÃO DE APÊNDICES

|  |     |
|--|-----|
| Apêndice 1. Precipitação média anual e temperatura média anual da região do Vale do Caí no ano de 2012 (FEPAGRO, 2013).....                                | 102 |
| Apêndice 2. Rendimento médio do pomar, expresso em números de frutos, peso de frutos (kg) e produtividade ( $t\ ha^{-1}$ ) sob diferentes manejos orgânico | 102 |
| Apêndice 3. Atributos químicos do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico (PVAd) do pomar, em três profundidades .....                               | 103 |

## 1. INTRODUÇÃO

As plantas cítricas são as espécies frutíferas de maior importância mundial, sendo produzidas em vários países, com destaque para produção de laranjas, limões e bergamotas. No Brasil, a produção de bergamotas ocupa posição destacada, sendo o país o terceiro maior produtor do fruto.

As primeiras mudas de bergamoteiras foram trazidas ao Rio Grande do Sul por imigrantes açorianos e germânicos no século XVIII, instalando-se nos municípios das regiões dos Vales do Caí e Taquari. Hoje, o Estado é o terceiro maior produtor de bergamotas do país, tendo sua produção concentrada na região do Vale do Caí, com destaque para o município de Montenegro.

A maior parte da produção é realizada por agricultores familiares que adotam diversos tipos de sistemas de cultivos, tais como convencional, orgânico, biodinâmico, agropastoril e agroflorestal. Independentemente do sistema adotado, a importante preocupação é a competição por água e nutrientes entre as plantas cítricas e as espécies espontâneas que se desenvolvem nas entrelinhas do pomar, principalmente em épocas com deficiência hídrica.

Entretanto, estudos apontam que a manutenção da vegetação espontânea, de forma controlada, promove melhorias na fertilidade do solo, controle da erosão e o aumento do teor de matéria orgânica no solo. Além disso, reduz o efeito da pressão de contato pneus-solo nas entrelinhas, o que minimiza a heterogeneidade dos atributos físicos do solo nas áreas de linha de tráfego dos rodados, em relação aos locais não trafegados, que é promovido devido ao espaçamento fixo das culturas perenes, fazendo que haja um acúmulo de passagens de máquinas agrícolas sempre no mesmo lugar nas entrelinhas.

As alterações físicas do solo resultam em um impedimento ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas cítricas, fazendo com que ocorra a redução do volume de solo explorado, o que dificulta a absorção de água e nutrientes e afeta a produtividade, mesmo em pomares com sistemas conservacionistas de manejo. Por isso, é necessário adotar técnicas de amostragens do solo em regiões específicas nas entrelinhas dos pomares para

avaliar a intensidade do efeito provocado pelo uso de máquinas nos atributos físicos do solo e conseqüentemente, na produção de citros.

Diante disso, este trabalho teve por objetivo analisar a densidade, porosidade, resistência mecânica do solo à penetração e infiltração de água no solo em resposta ao manejo da cobertura de entrelinhas do pomar de bergamoteiras (*Citrus deliciosa* Tenore) da variedade Montenegrina. A hipótese do estudo foi que o acúmulo de passagens de máquinas agrícolas em pomares cítricos promove heterogeneidade na condição física do solo sob manejo orgânico entre as regiões dos rodados, quando comparadas às áreas não trafegadas, interferindo na aeração, dinâmica da água, desenvolvimento de raízes no solo e produtividade de frutos.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Origem e importância econômica da cultura

As plantas cítricas compreendem o grupo de plantas do gênero *Citrus* e outros afins (*Fortunella* e *Poncirus*) ou híbridos da família Rutaceae, representado, na maioria, por laranja (*Citrus sinensis*), bergamoteiras (*Citrus reticulata* e *Citrus deliciosa*), limoeiro (*Citrus limon*), limeiras ácidas como a Tahiti (*Citrus latifolia*) e o Galego (*Citrus aurantiifolia*), e doces como a limeira da Pérsia (*Citrus limettioides*), pomeleiro (*Citrus paradisi*), cidreira (*Citrus medica*), laranja-azedada (*Citrus aurantium*) e toranjeiras (*Citrus grandis*) (Mattos Junior et al., 2005).

Consideradas as mais saborosas das plantas cítricas, as bergamoteiras (*Citrus deliciosa* Tenore) foram descritas em 1178 na China e sudeste da Ásia. Na Europa foram introduzidas, comercialmente, no ano de 1805, na Inglaterra, sendo levadas para Malta e depois para a Sicília (Webber et al., 1967). No Brasil chegaram com as primeiras expedições colonizadoras, provavelmente na Bahia e, por encontrarem melhores condições para vegetar e produzir, mais favoráveis até que nas próprias regiões de origem, as bergamoteiras se expandiram para todo o país (Webber et al., 1967; Moreira & Moreira, 1991).

Segundo dados da FAO (2013), a área cultivada de bergamoteiras no Brasil em 2011 foi de aproximadamente 53 mil hectares com produção de 1,1 milhão de toneladas, fazendo do país o terceiro maior produtor do fruto, ficando atrás da China e da Espanha, com produções de 12,7 e 1,5 milhões de toneladas, respectivamente. O Estado de São Paulo ocupa a primeira posição no “ranking” nacional, seguido por Paraná, Rio Grande do Sul e Minas Gerais, que juntos são responsáveis por 88% da produção brasileira de bergamotas (IBGE, 2013).

Dornelles (1967) e Dornelles (1980) afirmam que as bergamoteiras chegaram ao Rio Grande do Sul juntamente com a laranja, trazidas por imigrantes açorianos e seus descendentes, que haviam se instalado em Taquari e Triunfo por volta do final do século XVIII.

Segundo Lipp (2008), a produção em escala comercial de frutos cítricos sulriograndense teve início no século XIX no Vale do Rio Taquari, por

imigrantes portugueses, se expandindo, posteriormente, para a região do Vale do Rio Caí, onde os agricultores de origem germânica também passaram a dedicar-se à atividade. O mesmo autor afirma que, com o surgimento de novos polos de produção, nas últimas décadas o cenário da citricultura gaúcha modificou-se consideravelmente.

A partir da década de 90, iniciou-se uma drástica redução na área cultivada com laranjais nas regiões tradicionais. No Vale do Taquari, o reflorestamento começou a ocupar grande parte da área antes ocupada com laranjeiras e limoeiros. Por sua vez, no Vale do Caí, as áreas de citros aumentaram, mas houve uma conversão de espécies, com uma especialização para variedades de bergamoteiras que, atualmente, ocupam mais de 70% dos pomares (Bellé, 2008).

Em 2011, a citricultura no Rio Grande do Sul ocupava uma área de 42.206 ha, sendo 27.688 ha de laranjais (66%), 12.918 ha de bergamoteiras (31%) e 1.600 ha de limoeiros (3,8%) (IBGE, 2013).

O principal polo produtor está localizado no Vale do Caí, com predominância no cultivo de bergamoteiras da cultivar Montenegrina, principalmente em sistema de manejo orgânico, com uma área plantada de 620 hectares. Nessa região existem todos os elos da cadeia produtiva, tais como fornecedores de insumos, produtores de mudas, produtores de frutos, dezenas de casas de beneficiamento dos frutos, dezenas de pequenas indústrias para extração de sucos e óleo essenciais, produção de doces e derivados, distribuidores de frutos, dentre outros (Oliveira et al., 2010).

Kuhn et al. (2006) e Koller et al. (2009) destacam que a importância econômica das bergamoteiras está fundamentada principalmente no fruto, que é destinado ao consumo *in natura* e extração de suco (industrial ou natural), o qual possui grande valor nutricional. Também pode ser aproveitada a casca para a extração de óleos essenciais utilizados na produção de cosméticos. O bagaço pode ser utilizado para a produção de ração animal e iscas para formigas, as folhas para uso na medicina popular e extração de óleos essenciais e a árvore, ao final da vida útil, para a produção de lenha e carvão.

O principal mercado consumidor da produção citrícola é o próprio Estado do Rio Grande do Sul. Também ocorre a comercialização para outros

mercados, como São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, chegando até a serem exportados para a Europa (Montenegro - Prefeitura municipal, 2013).

## **2.2. Condições edafoclimáticas exigidas pela cultura**

A produtividade em áreas citrícolas é dependente da interação entre os fatores que constituem o ecossistema do pomar, como o clima e o solo, que determinam a produção e a qualidade dos frutos (Moreno & Gascon, 1994).

As bergamoteiras são tolerantes a diversas condições climáticas, desde as tropicais e subtropicais, até mesmo em clima temperado. Porém, apresentam maiores rendimentos e frutos de melhor qualidade em clima subtropicais, tolerando temperaturas não frequentemente abaixo de 0°C e nem acima de 45°C e precipitação pluviométrica anual entre 1.000 a 2.000 mm (Koller, 2009).

Um dos grandes problemas para os pomares de bergamoteiras conduzidos nas regiões subtropicais, nas latitudes acima de 20° S ou N, é a ocorrência de geadas e/ou ventos gelados (Ortolani et al., 1991; Amaral, 1982). Esses fenômenos atmosféricos correspondem à ocorrência de temperatura igual ou inferior à temperatura crítica da planta, que no caso das espécies cítricas é da ordem de -4°C a -8°C no nível do tecido foliar (Ortolani et al., 1991; Doorenbos & Kassam, 1994).

Em relação ao tipo de solo, segundo Oliveira (1991), as bergamoteiras se desenvolvem em solos com ampla variação textural, desde que apresentem boa agregação, retenção de água, biomassa microbiana e sem a presença de patógenos. Além disso, exigem solos com boa drenagem e de boas condições de porosidade e densidade do solo.

Os citros são sensíveis à acidez do solo e extremamente exigentes em cálcio e magnésio. Apresentando bom desenvolvimento em solos com pH variando entre 4 e 9. No entanto, a faixa de pH ótima para uma boa produção está entre 5,8 e 6,0 (Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2004).

A absorção de nutrientes pelos citros ocorre durante todo o ano, embora seja mais intensa nas fases de florescimento e de formação de ramos e folhas novas (MALAVOLTA et al., 1997). As quantidades dos macronutrientes N, P, K,

Ca e Mg e dos micronutrientes B, Mn e Zn devem ser fornecidas regularmente pela adubação, por serem normalmente deficientes nos solos das regiões citrícolas gaúchas, dependem do estágio de desenvolvimento da planta (formação ou produção), da combinação porta-enxerto/copa, da expectativa de produtividade, do estado nutricional do pomar e da fertilidade do solo (Scivittaro et al., 2002).

O cultivo em solos ácidos ou deficientes nesses nutrientes representa um limitante importante à produção da cultura, uma vez que, sob tais condições, há limitação do desenvolvimento radicular, implicando em exploração de menor volume de solo e, conseqüentemente, em menor utilização de água e de nutrientes (CPACT-EMBRAPA, 2013).

### **2.3. Sistemas de produção para citros**

No Rio Grande do Sul, a produção citrícola, apresentar maior parte do cultivo em pequenas propriedades, adota diversas técnicas de produção - convencional, natural, orgânica, biodinâmica e integrada. Na tentativa de defender o nicho de mercado que pretende explorar, cada sistema de produção procura utilizar um conjunto de conceitos próprios, que incluem desde filosofia (às vezes até preceitos religiosos ou esotéricos) até a definição do tipo de insumo utilizado.

Grande parte da atividade citrícola ainda é desenvolvida pelo do sistema convencional de produção, que tem como premissa básica a maximização da produção e do lucro, através da dependência de grande aporte de insumos químicos, como fertilizantes minerais e pesticidas, e o excessivo uso de maquinário agrícola (Gliessman, 2001).

O uso inadequado dessas práticas agrícolas gera preocupações em relação ao ambiente e à saúde pública. Além disso, o uso indiscriminado dos insumos eleva o custo da produção e restringe a margem de lucro do citricultor (Salvo Filho, 1997). Com isso, tem sido crescente o interesse por práticas agrícolas alternativas, visando a produção sustentável de alimentos (Glover et al., 2000) possibilitando o controle da erosão, manutenção e/ou recuperação dos atributos químicos, físicos e biológicos, por meio de sistemas de cultivo orgânico.

O cultivo orgânico é um sistema de produção sustentável que tem por objetivo a manutenção e a melhoria da fertilidade e a diversidade biológica do solo, pois está voltado à proteção e ao manejo dos recursos naturais, pelo não uso de produtos químicos produzidos pelas indústrias, prejudiciais ao homem e ao ambiente (Bettiol et al., 2002).

De acordo com o artigo nº 1 da Lei nº 10.831, sancionada em 23 de dezembro de 2003, toda produção, sejam ela *in natura* ou processada, para obter a certificação de produtos orgânicos, necessita ser oriunda de sistema de produção sustentável e não prejudicial ao ecossistema local (BRASIL, 2013).

A mesma lei ainda salienta que o modo de comercialização inserido deve abranger a organização de inclusão social, econômica e fiscal, resultantes da fiscalização, rastreabilidade e certificação dos produtos orgânicos, responsabilidades, sanções e prazos para todos os envolvidos no agronegócio da produção orgânica.

Os produtores de bergamotas sulriograndenses utilizam técnicas orgânicas de produção que, além da preocupação com o ambiente, voltam-se para a preocupação espiritual, através da agricultura biodinâmica que é o fruto da ciência espiritual antroposófica, fundada em 1924 pelo austríaco Rudolf Steiner que a definiu como “um caminho de conhecimento para guiar o espiritual do ser humano ao espiritual do universo” (IBD, 2013).

Embora fundamentada nos mesmos princípios e técnicas da agricultura orgânica, Paschoal (1994) afirma que a agricultura biodinâmica apresenta peculiaridades, tais como as questões espirituais ligadas à antroposofia; o uso de preparados biodinâmicos; os calendários astrológicos; os testes de cristalização sensitiva e cromatografia de solos e de plantas e o equilíbrio e harmonia entre cinco elementos básicos: terra, plantas, animais, influências cósmicas e o homem.

A totalidade e a essência da agricultura biodinâmica e da orgânica não se resumem em normas, pois exigem respostas sempre novas às diferentes situações em que forem realizadas. Mesmo assim, existe a necessidade de se definir um padrão mínimo, a partir do qual um produto possa ser considerado como orgânico ou biodinâmico, possibilitando clareza, entendimento e confiança entre os produtores e consumidores (IBD, 2013) e resultando em sucesso na produção.

## 2.4. Plantas espontâneas em pomares cítricos

A cultura dos citros está sujeita a uma série de fatores bióticos e abióticos que interferem em seu crescimento, desenvolvimento e produtividade econômica. As plantas daninhas estão entre os fatores bióticos e podem interferir diretamente no crescimento e na produção das plantas cítricas, por competir por recursos essenciais ao crescimento e liberar substâncias alelopáticas (Blanco & Oliveira, 1978; Silva et al., 1999) e, indiretamente, por atuar como hospedeiras intermediárias de pragas e patógenos (Chiavegato, 1986; Leite Júnior & Mohan, 1990).

Nienow (2009) destaca a importância no controle de espécies espontâneas de pomares de bergamoteiras no Sul do Brasil, principalmente, em períodos quentes (primavera e verão), onde ocorre um maior fluxo energético das plantas cítricas devido ao crescimento vegetativo, floração, frutificação e crescimento dos frutos, com maior demanda por água e nutrientes, o que as tornam intolerantes à competição com plantas espontâneas. Já nas estações úmidas (outono e inverno), ocorre apenas a maturação dos frutos, proporcionando uma maior tolerância das plantas cítricas à presença das espécies espontâneas nas entrelinhas do pomar.

De acordo com Durigan & Timossi (2002), os pomares são infestados por uma diversidade muito grande de espécies, que vai variar de acordo com o histórico agrossilvipastoril e adaptação na região, alelopátia com as outras plantas (cultiváveis ou naturais) e até mesmo em resposta aos manejos adotados nas entrelinhas de plantio. As plantas espontâneas diferem no que diz respeito ao seu potencial de agressividade e poder de competição, que são medidos por índices fitossociológicos.

Devido aos fatores prejudiciais, o controle das espécies invasoras é uma prática muito importante e indispensável, principalmente quando se trata de culturas perenes, como é o caso das bergamoteiras (Matheis et al., 2006). Com isso, é necessário o conhecimento das principais espécies espontâneas que infestam os pomares para a aplicação correta dos métodos de controle disponíveis.

Levantamentos realizados em pomares cítricos do Estado de São Paulo por Durigan & Timossi (2002), demonstraram a existência de um grande

número de *Liliopsida*<sup>(3)</sup> e *Magnoliopsida*<sup>(4)</sup> anuais que comprometem a produção citrícola, com destaque para o capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*), guanxumas (*Sida* spp), cordas-de-viola (*Ipomoea* spp), grama-seda (*Cynodon dactylon*) e tiririca (*Cyperus rotundus*). Essas plantas são resistentes e difíceis de serem eliminadas, o que é agravado através do uso inadequado de técnicas agrícolas para o seu controle, interferindo negativamente na produção agrícola.

## 2.5. Práticas de manejo em pomares cítricos

Dentre as práticas culturais, o controle das plantas espontâneas é importante, pois elas podem interferir de maneira direta e/ou indireta, tanto na formação, quanto na produção de pomares adultos.

Na cultura dos citros, os sistemas de manejos convencionais realizavam preparo da área para o plantio, com intensa mecanização, revolvendo o solo e demandando grande quantidade de insumos, além disso, mantinham descoberta grande parte da área durante o ciclo da cultura.

Na citricultura atual, o manejo das entrelinhas dos pomares procura evitar a remoção total das plantas espontâneas, pois a eliminação completa inicia um processo comparativamente mais rápido de degradação do solo. O solo é exposto ao sol e à chuva, resultando na degradação superficial devido aos processos de compactação, que diminui o espaço poroso, afetando a dinâmica da água e a troca de gasosa entre o solo e a atmosfera, além de favorecer a erosão laminar do solo (Brady & Weil, 2008).

Toy et al. (2002) destacam que a cobertura vegetal do solo é um dos componentes mais efetivos para evitar a ocorrência da erosão, pois com 40% de cobertura se reduz em 80% o arraste de solo e nutrientes em relação à uma área mantida descoberta. Também é eficiente para recuperar áreas degradadas, pois a ação das raízes, que interagem diretamente com as partículas do solo, influencia na formação dos seus agregados e desenvolve e amplia o sistema de poros (Silva & Mielniczuk, 1998).

Diante disso, Dornelles (1971) e Jones & Embleton (1975) propuseram a ideia de manejo de pomares citrícolas mantidos de diversas formas: solo

---

<sup>(3)</sup> Monocotiledôneas

<sup>(4)</sup> Dicotiledôneas

sempre limpo, solo com cobertura vegetal permanente, solo com cobertura morta permanente e solo limpo na estação seca e coberto na estação chuvosa. Outras modalidades propostas por Koller (1994) baseiam-se em solo com cobertura verde em faixas e intercalares.

Todas essas variações de manejo devem estar de acordo com a exigência edafoclimática, visando à conservação ou o aumento do teor de matéria orgânica, a proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva e a radiação solar. Além disso, economia da água nele armazenada, podendo ser introduzidas conforme condições da região onde estão implantados os pomares.

De maneira geral, o manejo da vegetação afeta as características físicas, químicas e biológicas do solo. Entretanto, serão o tipo, a forma e o momento do manejo empregado que irão proporcionar respostas positivas ou negativas nestes atributos (Durigan & Timossi, 2002).

## **2.6. Uso de máquinas em pomares cítricos**

A necessidade de criar sistemas agrícolas cada vez mais produtivos para atender a demanda mundial de alimentos, fibras e energia, leva ao uso crescente de sistemas mecanizados que utilizam grandes máquinas e implementos (Brito et al., 2011).

Além do controle de plantas espontâneas em pomares cítricos, o manejo divide-se basicamente nas atividades de adubação, poda, raleio de frutos, controles fitossanitários e colheita, sendo várias destas realizadas com o auxílio de máquinas agrícolas.

O tráfego de máquinas no manejo do pomar gera uma pressão de contato pneu-solo, resultante do peso do maquinário empregado (trator + implemento), da área de contato dos pneus e da resposta do solo à aplicação da carga. A transmissão desta pressão ao solo pode resultar em uma compactação prejudicial para a cultura (Pietrzacka, 2009).

A compactação do solo é um dos fatores limitantes na produção de citros (Oliveira & Merwin, 2001) e é condicionada não só por fatores externos, tais como tipo, intensidade e frequência da pressão aplicada por máquinas agrícolas (Soane et al., 1981; Lerink, 1990; Lebert & Horn, 1991), mas também

por fatores internos, tais como textura, estrutura, ciclos de umedecimento e secagem e densidade do solo (Culley & Larson, 1987; Horn, 1988).

A profundidade e a intensidade da compactação do solo pelo tráfego de máquinas dependem da forma de aplicação e da magnitude das tensões aplicadas, ou seja, do tipo e das dimensões dos rodados e da carga aplicada sobre o solo (Hamza & Anderson, 2005).

Richart et al. (2005) afirmam que o tráfego de maquinários agrícolas é considerado a principal causa da compactação do solo nas entrelinhas dos pomares, que foi intensificada pela modernização da agricultura brasileira, expresso pelo aumento do peso das máquinas e equipamentos e da intensidade de uso do solo. Essa compactação também é agravada pela pressão inadequada de inflação dos pneus agrícolas e umidade inadequada quando na realização das práticas de agrícolas, sendo potencializada quando essa se encontra acima do ponto de friabilidade (Secco, 2004).

O uso de máquinas promove a redução no volume de macroporos (Kulli et al., 2003; Silva et al., 2003; Tarawally et al., 2004; Servadio et al., 2005; Schäffer et al., 2007), enquanto que o de microporos permanece inalterado, interferindo na porosidade total do solo. Veiga et al. (2007) e Li et al. (2007) afirmam que essa alteração na porosidade do solo reduz a capacidade de infiltração e o armazenamento de água no solo (Silva et al., 2003; Servadio et al., 2005), além de afetar a resistência mecânica do solo à penetração de raízes.

Na cultura de citros, a mecanização é muito intensa, havendo pomares que acumulam, ao longo de sua existência, trezentas passadas de máquinas por entrelinha (Stolf, 1987). Se o tráfego for efetuado quando o solo estiver com um teor de água elevado, a deterioração física do mesmo nas áreas trafegadas fica ainda mais evidente.

De acordo com os resultados experimentais de manejo de solo em citros realizados na década de cinquenta a setenta, o uso de grade de discos ou a incorporação de adubos verdes com leguminosas foram considerados os melhores sistemas de manejo da vegetação nativa nas entrelinhas (Rodriguez, 1957; Passos et al., 1973; Pacheco et al., 1975; Vasconcelos et al., 1976).

Diferentes propriedades físicas do solo foram avaliadas em cinco sistemas de manejos em laranja Baianinha após 16 anos da sua implantação

em um Latossolo Amarelo Distrófico (Cintra et al., 1983). Neste estudo, o tratamento com roçada permanente refletiu na melhoria das propriedades físicas do solo e na manutenção de maiores teores de matéria orgânica do solo (MOS).

## **2.7. Compactação do solo em pomares cítricos**

O tráfego dos rodados do trator, quando da realização do manejo das entrelinhas, ocorre sempre em uma mesma região. Isso se deve ao fato de as plantas cítricas serem culturas perenes de espaçamento fixo. A degradação do solo, em superfície e subsuperfície, que ocorrem nas entrelinhas dos pomares promovem alterações heterogêneas entre as posições da linha de tráfego dos rodados em relação às posições não trafegadas (entre rodados e projeção da copa).

A repetição destas operações resulta em uma “zonas exclusivas” de contato pneu-solo, gerando uma heterogeneidade nas características físicas do mesmo, afetando o desenvolvimento das raízes, do limite externo da projeção de copa em direção ao centro das entrelinhas do pomar e, por conseguinte, aumentando os riscos de estresse hídrico às plantas (Fidalski et al., 2007b).

Em pomares de citros, a heterogeneidade da compactação do solo vem sendo verificada por meio de avaliações, considerando-se as posições de amostragem de solo na passagem dos rodados e entre rodados na entrelinha (Lima et al., 2004, Fidalski et al., 2007a), associadas aos efeitos causados pelo tráfego de trator.

De acordo com Stolf (1987); Draghi et al. (2005); Lima et al. (2005a) e Fidalski et al. (2007a), esse tipo de amostragem do solo tem a finalidade identificar possíveis restrições físicas e hídricas para o desenvolvimento das plantas cítricas. Além disso, os mesmos autores relatam que as posições de amostragens de solo nas linhas de tráfegos dos rodados em pomares de cítricos seriam as mais adequadas para avaliar os efeitos dos sistemas de manejo sobre a qualidade física do solo.

Estudos realizados por Fidalski et al. (2007b), em entrelinhas de laranjeira “Pêra” no noroeste do Paraná na posição de amostragem de solo no

local de passagem do rodado, mostraram restrições físicas e hídricas para o desenvolvimento das plantas.

No Estado do Rio Grande do Sul este processo é agravado, uma vez que os pomares estão implantados em solos susceptíveis a alterações das propriedades físicas do solo com o uso de máquinas (Pietrzacka, 2009).

## **2.8. Indicadores da qualidade física do solo para citros**

O termo qualidade do solo tornou-se mais usual a partir de 1990, após a publicação do relatório intitulado “Soil and water quality – an agenda for agriculture” (NRCC, 1993). Este termo está relacionado aos atributos do solo, às práticas intervencionistas do homem e às características ambientais (Arshad & Coen, 1992).

Para Lal (2000) e Reynolds et al. (2002), a qualidade física de solos é um importante elemento de sustentabilidade, sendo uma área de estudo em contínua expansão, já que as propriedades físicas e os processos do solo estão envolvidas no suporte ao crescimento radicular, armazenagem e suprimento de água e nutrientes, trocas gasosas e atividade biológica (Arshad et al., 1996).

Fidalski et al. (2007a) afirmam que as propriedades físicas do solo comumente avaliadas em pomares são textura, densidade do solo, porosidade, resistência mecânica do solo à penetração, teor de água do solo, taxa de infiltração de água e curvas de retenção de água. Esses atributos são afetados quando ocorre compactação por causa da pressão exercida por forças externas, principalmente pelo tráfego de máquinas e equipamentos.

### **2.8.1. Textura do solo**

A textura do solo é um fator com grande capacidade de intervenção no desenvolvimento das plantas cítricas. Essa propriedade do solo é uma das mais estáveis, sendo modificada levemente pela erosão, além das práticas culturais que ocasionam a mistura de diferentes camadas (Arshad et al., 1996).

É uma propriedade que tem estreita relação com a retenção e o transporte de água, estrutura do solo, teor de nutrientes e de matéria orgânica, além de influenciar fortemente os processos erosivos do solo (Feller & Beare,

1997). Solos de estrutura argilosa apresentam maior capacidade de retenção de água do que solos com textura arenosa. Além disso, os solos com textura arenosa são mais susceptíveis à erosão, devido a pouca agregação de suas partículas.

Os solos de textura média são os mais indicados para a cultura do citros. Porém as plantas adaptam-se a solos mais arenosos ou mais argilosos, desde que estes apresentem boas condições nos atributos físicos, químicos e biológicos, além de cuidados com a escolha do porta-enxerto e/ou do sistema de irrigação adotado.

### 2.8.2. Espessura do solo

A espessura, principalmente do horizonte superficial, tem sido sugerida como um dos melhores indicadores da qualidade do solo para um bom desenvolvimento das culturas, pois nesta faixa encontra-se maior atividade da biota, sendo, conseqüentemente, um local propício para a ciclagem da matéria orgânica e dos nutrientes (Araújo, 2008). Além disso, há uma estreita relação entre a produtividade agrícola e a profundidade do solo, levando-se em consideração sua importância na armazenagem de água e suprimento de nutrientes para as plantas.

Para a cultura dos citros, a profundidade efetiva do solo ideal deve ser de 1,00 a 1,20 m, sendo necessário observar se há ocorrência de impedimentos à drenagem e ao desenvolvimento do sistema radicular e a que profundidade estes se encontram, como por exemplo, a existência de camadas de pedras, as variações do lençol freático e a presença de camadas coesas no perfil do solo (EMBRAPA, 2007).

### 2.8.3. Densidade e porosidade do solo

A compactação do solo nas entrelinhas de pomares se deve à pressão de contato dos rodados de tratores e implementos (Sanches et al., 1999; Tavares Filho et al, 1999; Goh et al., 2001; Oliveira & Merwin, 2001; Lima et al., 2005b).

De acordo com Karlen et al. (2001), a densidade e as variáveis de porosidade do solo são os indicadores da qualidade física do solo mais

avaliadas, por se tratarem de propriedades dinâmicas, suscetíveis ao uso e de fácil determinação, estando relacionadas à compactação, o que compromete o crescimento radicular (Arshad et al., 1996).

A pressão aplicada sobre solo resulta em uma reorganização na porosidade do solo, afetando a dinâmica da água, a aeração e o desenvolvimento de raízes. Demattê & Vitti (1992) afirmam que as faixas de porosidade total ( $Pt$ ) ideal para a cultura dos citros devem estar entre 0,40 e 0,55  $m^3 m^{-3}$  para solos arenosos e de 0,52 a 0,61  $m^3 m^{-3}$  para os solos argilosos, enquanto que os solos francos permanecem num valor intermediário.

Reichardt & Timm (2004) e Libardi (2005), em estudos realizados em pomares de laranjeiras, nos Estados de São Paulo e Bahia, encontraram valores de  $Pt$  entre 0,30 a 0,35  $m^3 m^{-3}$  até a profundidade de 30 cm, que é considerada a principal zona de atividade radicular das culturas. Os mesmos autores ainda afirmam que esses resultados podem ser impeditivos à produtividade do pomar.

A macroporosidade ( $Ma$ ) superficial (poros > 100  $\mu m$ ), que desempenham um papel primordial na aeração da matriz do solo e na condução de água no processo de infiltração, tem sofrido grande interferência pelo manejo com o uso de máquinas para uma boa produção, os pomares cítricos devem apresentar  $Ma$  entre 60 a 70% da  $Pt$  até a profundidade de 30 cm. No entanto, Reichardt & Timm (2004); Libardi (2005); Demattê & Vitti (1992) e Fidalski et al. (2007a), em estudos realizados nos Estados de São Paulo e Paraná constataram que a  $Ma$  não atingem valores superiores a 15%.

A microporosidade ( $Mi$ ) (poros < 50  $\mu m$ ), também conhecidos por poros capilares, têm como atribuição básica o armazenamento ou retenção de água pelo solo a 6 kPa (Andrade, 2008). De acordo com Reichardt & Timm (2004); Libardi (2005) e Fidalski et al. (2007a) a  $Mi$  nas entrelinhas dos pomares críticos dos Estados de São Paulo, Bahia e Paraná, que deveria ser de 30 a 40% da  $Pt$  até os 30 cm de profundidade, não passa de 20 a 23% daquele valor.

O pronunciado tráfego de máquinas e implementos agrícolas em pomares cítricos do Brasil, principalmente em condições de umidade não adequada, resulta em um aumento da densidade do solo ( $Ds$ ). De acordo com Durigan & Timossi (2002), os valores desejáveis de  $Ds$  para um bom

desenvolvimento da cultura dos citros em solos arenosos deve estar entre 1,25 a 1,40 Mg m<sup>-3</sup> e em solos argilosos os limites satisfatórios devem estar entre 1,00 a 1,25 Mg m<sup>-3</sup>. Entretanto, os valores de *Ds* encontrados na maioria dos solos dos pomares brasileiros situam-se entre 1,4 a 1,7 Mg m<sup>-3</sup>.

Sanches et al. (1999) observaram maiores valores de *Ds* na área sob citros em comparação à mata nativa, associando tais resultados com a compactação do solo, causada pelo tráfego contínuo de máquinas e equipamentos. Esse resultado é semelhante ao encontrado por Minatel et al. (2006), que encontraram valores de *Ds* maiores nas posições de rodado e entre rodado e reduzida *Ma* em relação à região da copa.

Esta heterogeneidade na compactação em pomares cítricos altera uma série de fatores que afetam o crescimento radicular, como aeração, retenção de água e resistência à penetração de raízes, podendo aumentar a susceptibilidade do solo à erosão, pois ao reduzir a porosidade diminui a infiltração de água e, conseqüentemente, aumenta a probabilidade de escoamento superficial (Sá & Santos Junior, 2005).

#### 2.8.4. Densidade máxima de compactação do solo

O conhecimento da densidade máxima do solo (*Dsmáx*) permite ao pesquisador ter a noção de quanto às características originais do solo foram alteradas pelo manejo, tornando-o muitas vezes, propício a um forte declínio produtivo.

Em 1933, Ralf Proctor publicou uma série de artigos nos quais, pela primeira vez, se enuncia um dos mais importantes princípios da mecânica dos solos: a compactação do solo é dependente da energia aplicada e da umidade do solo no momento da compactação (Vargas, 1977). Desses estudos surgiu o ensaio de Proctor normal, que é uma metodologia facilmente executável, de baixo custo e conceitualmente fácil de ser entendida. No entanto, a sua utilização para fins de estudo da dinâmica dos solos agrícolas é recente (Figueiredo et al., 2000).

Em solo argiloso (660 g kg<sup>-1</sup> argila), Klein (2008) cita *Dsmáx* de 1,55 Mg m<sup>-3</sup>, enquanto que num solo arenoso (320 g kg<sup>-1</sup> argila), o valor de *Dsmáx* foi de 1,77 Mg m<sup>-3</sup>. Aragón et al. (2000) observaram a contribuição negativa do

teor de silte sobre a  $D_{smáx}$ , enquanto que, para Nhantumbo e Cambule (2006), a  $D_s$  foi máxima em solos com  $200 \text{ g kg}^{-1}$  de argila ou  $250 \text{ g kg}^{-1}$  de argila mais silte. Dias Júnior e Miranda (2000) observaram contribuição positiva da fração areia, que obviamente apresenta proporção inversa da soma da argila e do silte.

A  $D_{smáx}$  do solo varia com o seu teor de água. Existe uma umidade específica em cada solo para ocorrer a sua densidade máxima, que se denomina umidade de máxima compactação ( $U_{máx}$ ). O fenômeno ocorre quando o conteúdo de água no solo atinge uma hidratação das partículas que as faz deslizar com pouco atrito, permitindo uma acomodação com o mínimo de ar entre as mesmas (Head, 1992).

A determinação da  $U_{máx}$  é utilizada para evitar a entrada de máquinas e implementos nessa faixa de umidade no solo, pois, após a pressão e com o secamento com o mínimo de ar entre as partículas, os efeitos da compactação são máximos.

Outro indicador que tem sido apresentado é a densidade do solo relativa ( $D_{sr}$ ), que consiste na relação entre a densidade em que se encontra o solo e a densidade máxima do solo obtida pelo ensaio de Proctor (Carter, 1990). Vários autores têm mostrado a utilidade dessa relação na caracterização da compactação e resposta das culturas em diferentes tipos de solo (Håkansson, 1990; Silva et al., 1997; Beutler et al., 2005).

Valores de  $D_{sr}$  acima de 0,86 são considerados altos e prejudiciais ao desenvolvimento das culturas e, mesmo abaixo de 0,80, podem afetar a produtividade de alguns cereais em consequência da redução da capacidade de armazenamento de água no solo (Lindstron & Voorhees, 1994). A densidade relativa ideal, segundo Beutler et al. (2005), varia de 0,75 a 0,85 para solos com o teor de argila entre  $270 \text{ g kg}^{-1}$  e  $570 \text{ g kg}^{-1}$ . Segundo Arvidsson & Håkansson (1991), em geral, até o valor de  $D_{sr}$  de 0,86 são obtidas maiores produtividades, oscilando com as condições climáticas e culturas, sendo os resultados similares para os diferentes solos.

### 2.8.5. Infiltração de água no solo

De acordo com Carvalho (2002), a infiltração de água no solo é uma das características físicas do solo mais importantes quando se estudam fenômenos que estão ligados à redistribuição de água no perfil do solo.

A capacidade de infiltração representa a intensidade máxima que o solo, em dada condição e tempo, pode absorver a água da chuva ou da irrigação aplicada a determinada taxa (Bernardo et al., 2005).

Por ocasião de uma chuva ou irrigação, a taxa de infiltração é máxima no início do evento e decresce rapidamente, de acordo com as condições do solo. Sob chuva ou irrigação contínua, a taxa de infiltração se aproxima gradualmente de um valor mínimo e constante – TI (Bernardo et al., 2005).

De acordo com Bernardo et al. (2006), o solo pode ser classificado de acordo com a sua taxa constante de infiltração (TI) em:  $> 30 \text{ mm h}^{-1}$  (muito alta), de  $15\text{-}30 \text{ mm h}^{-1}$  (alta),  $5\text{-}15 \text{ mm h}^{-1}$  (média) e  $< 5 \text{ mm h}^{-1}$  (baixa).

Segundo Guerra (2000) e Carvalho (2002), a taxa de infiltração e a retenção de água pelo solo são importantes, pois auxiliam na definição de políticas de proteção e de conservação do solo e da água.

### 2.8.6. Resistência mecânica do solo à penetração

A resistência mecânica do solo à penetração (*RP*) é considerada o fator mais limitante ao crescimento do sistema radicular das plantas e o mais sensível indicador do estado de compactação de um solo (Rosolem et al., 1999; Roque et al., 2008).

Apesar dos muitos estudos realizados com penetrômetros, não se tem uma quantificação universalmente aceita do limite crítico acima do qual a resistência à penetração limita o crescimento radicular das plantas. Na literatura, são mencionados valores que variam entre 2.500 kPa a 4.900 kPa, podendo atingir as profundidades entre 5 cm e 10 cm (Carvalho et al., 1999). Para Hamza e Anderson (2005), valores de *RP* do solo entre 2.000 kPa e 3.000 kPa são considerados limitantes ao desenvolvimento radicular de várias culturas.

A *RP* é fortemente influenciada pela textura, mineralogia da fração argila e varia positivamente com a densidade do solo (*Ds*) e negativamente com o

conteúdo de água do solo ( $\theta$ ), pois quanto mais argiloso, denso e seco for o solo, maior a RP e, conseqüentemente, menor a penetração radicular, a absorção de água e de nutrientes e o posterior transporte destas substâncias para a parte aérea das plantas.

## **2.9. Sistema radicular de plantas cítricas**

O sistema radicular exerce grande influencia sobre o desenvolvimento, crescimento e frutificação das espécies vegetais por ser um órgão responsável pelos principais processos metabólicos que atuam no funcionamento geral da planta (Cintra, 1999). Isso torna imprescindível a realização de estudos desses órgãos visando à melhoria da produtividade das culturas.

Diversos estudos do sistema radicular de culturas cítricas têm sido realizados (Carvalho et al., 1998; Iyengar e Shivananda, 1990; Zhang et al., 1996; Oliveira et al., 1998), com objetivos diretos de avaliação de manejo e conservação do solo e da água em diferentes condições edafoclimáticas.

Carvalho et al. (2002) afirmam que as práticas convencionalmente utilizadas no preparo inicial do solo e no controle de plantas infestantes em pomares de citros, com o uso intensivo de máquinas, têm contribuído para a degradação dos solos dos Tabuleiros Costeiros, provocando compactação, reduzindo a macroporosidade e limitando o desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

Rodriguez (1980) verificou que as raízes das plantas cítricas cultivadas em solos de textura uniforme, ao longo do perfil, e sem impedimento à penetração, concentram-se até os 0,60 m de profundidade. Moreira (1983) afirma que, em solos bem drenados, a maior concentração radicular pode chegar até os 0,90 m de profundidade.

Segundo Tinker (1981), existe uma relação direta, positiva e estreita, entre o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, o volume da copa e a sua produção. Embora o desenvolvimento do sistema radicular dependa principalmente de fatores genéticos da planta, certas limitações do solo podem inibi-lo, reduzindo o volume de raízes e, conseqüentemente, o volume de solo explorado, afetando o crescimento e o desenvolvimento da planta e a produção agrícola.

### **3. ESTUDO I: ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM ARGISSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO ARÊNICO SUBMETIDO A DIFERENTES TIPOS DE MANEJOS DO SOLO**

#### **3.1. Introdução**

As plantas cítricas adaptam-se bem a vários tipos de solos, desde que tenham boa porosidade, permeabilidade e não existam limitações físicas ao desenvolvimento do seu sistema radicular (Oliveira, 1991), que, ao explorar um maior volume de solo, suprirá mais adequadamente a planta cítrica em água e nutrientes, possibilitando melhor desenvolvimento vegetativo e produtividade, otimizando seu potencial genético produtivo.

Um grave problema encontrado em pomares cítricos refere-se à compactação do solo, que pode ocorrer devido ao tráfego excessivo, representado pelo elevado número de operações agrícolas, como adubações, pulverizações e controle de plantas daninhas. O manejo mecânico adotado pelos produtores no controle das plantas espontâneas e o trânsito exagerado de máquinas no pomar, que tendem a se agravar na colheita das variedades tardias, pois coincide com o período chuvoso, facilitando a compactação pela passagem das carretas e caminhões (Tersi & Rosa, 1995), têm contribuído para aumentar a compactação do solo e a redução da produção e da longevidade dos citros.

Essa compactação nos pomares cítricos pode ocorrer por toda área ou em locais determinados, que nem sempre são no centro das ruas, devido à distribuição do peso dos implementos pelos rodados (Stolf, 1987). Diante disso, têm sido propostas amostragens do solo em locais nas entrelinhas do pomar não trafegáveis (linha de planta e entre linha de tráfego dos rodados do trator) e áreas de linha de tráfego dos rodados do trator e implementos.

Diante disto, este trabalho teve por objetivo avaliar atributos físicos de um Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico arênico, em resposta ao uso de máquinas para o controle de espécies espontâneas submetidas a diferentes tipos de manejo da cobertura vegetal entrelinhas do pomar. A hipótese deste trabalho é que o acúmulo de tráfego agrícola em pomares cítricos promove uma heterogeneidade na compactação do solo entre as regiões dos rodados,

quando comparadas às áreas não trafegadas, alterando a porosidade do solo, promovendo o aumento da densidade, a restrição na dinâmica da água e, conseqüentemente, interferência negativa na produtividade do pomar.

## 3.2. Material e métodos

### 3.2.1. Localização da área experimental

O experimento foi conduzido em um pomar orgânico, na propriedade do Sr. Luiz Laux, localizada no município de Montenegro, região fisiográfica da Depressão Central/RS, a 29°41'20''S e 51°27'39''W de Greenwich.

De acordo com Köppen (1948), o clima da região é Cfa - subtropical úmido de verão quente. Os meses mais quentes são janeiro e fevereiro, com temperatura média próxima de 25°C e os meses mais frios são junho e julho, com temperatura média de 9°C. A precipitação média anual é de 1.440 mm e a umidade relativa do ar média de 77,3% (Bergamaschi & Guadagnin, 1990, Bergamaschi et al., 2003). No Apêndice 1, encontram-se os valores médios mensais da temperatura do ar e precipitação referentes às principais condições climáticas do período de coleta de dados.

O solo da região foi classificado como PVAd – Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico (EMBRAPA, 2006), pertencente a unidade de mapeamento Bom Retiro (BRASIL, 1973). É um solo oriundo de arenito (Formação Botucatu), ocupando um relevo ondulado a forte ondulado. O terreno apresenta declividade entre 0,08 a 0,12 m m<sup>-1</sup>, com vegetação original da região composta, predominante, por Mata Atlântica e Pampa (Pietrzacka, 2009).

### 3.2.2. Histórico da área experimental

A área experimental era utilizada para o plantio de mandioca (*Manihot esculenta*). No ano de 1990, foi realizado o preparo convencional do solo, com utilização de arado e grade para mobilização do solo para o plantio manual de mudas de bergamoteiras (*Citrus deliciosa*), da variedade Montenegrina, enxertadas sobre *Poncirus trifoliata*, que foram dispostas no sentido transversal ao declive do terreno (Figura 1).

As plantas foram alocadas num espaçamento de 3 m entre plantas na linha e 6,5 m nas entrelinhas. Nos primeiros anos de instalação, houve cultivo de aipim e melancia nas entrelinhas e o preparo do solo foi realizado com arado de boi, capina e roçadas manuais ao redor das plantas cítricas.

No ano de 1998, o manejo do pomar foi substituído para o sistema de cultivo orgânico, com aplicações de compostos provenientes da Ecocitrus<sup>(5)</sup>. Eram aplicados, em intervalos bianuais, compostos sólidos ( $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de bagaço de citros e casca de acácia – *Acacia mearnsii*) e em intervalos anuais,  $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de biofertilizante líquido. Devido à formação de uma camada de composto orgânico na superfície do solo, no ano de 2009, foi suspensa a aplicação desses compostos nas entrelinhas do pomar.

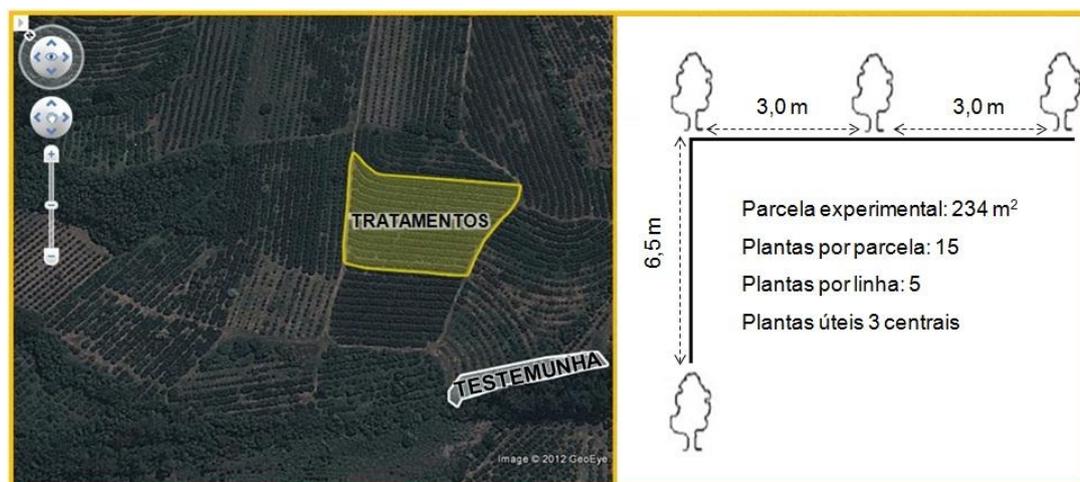


Figura 1. Áreas de experimental, testemunha e disposição das bergamoteiras no pomar submetido ao manejo orgânico do solo no município de Montenegro.

Em 2009, o proprietário optou pela conversão para o sistema biodinâmico, que além das mesmas práticas realizadas na agricultura orgânica preocupa-se com a espiritualidade e o equilíbrio e harmonia entre cinco elementos básicos: terra, plantas, animais, influências cósmicas e o homem.

O manejo das plantas espontâneas no pomar é realizado nas estações mais secas (primavera e verão), como demonstrado na Figura 2, pois ocorre uma grande demanda energética das plantas cítricas para desenvolvimento de ramos, produção de flores, produção e desenvolvimento dos frutos o que requer um maior aporte de água e de nutrientes.

<sup>(5)</sup> Cooperativa dos Citricultores do Vale do Caí, fundada em 1994, com sede em Montenegro/RS.

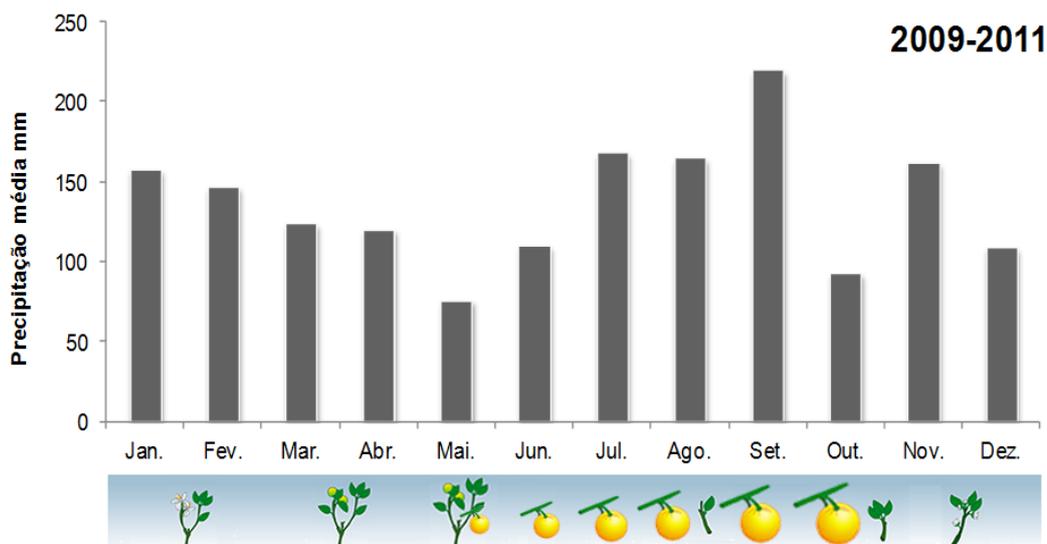


Figura 2. Precipitação média anual (mm) no período de 2009 a 2011 na região do Vale do Caí (FEPAGRO, 2012) e ciclo fenológico das plantas cítricas.

Os demais tratos culturais empregados no pomar são raleio dos frutos, manejos fitossanitários, capinas manuais e colheita, o que proporciona em média 10 passagens de máquinas nas entrelinhas da parcela no ano. As principais moléstias são pinta preta (*Guignardia citricarpa*) e a gomose (*Phytophthora* spp.).

O pomar apresenta uma produção média anual de 25 kg por planta, aproximadamente a metade da obtida em pomares de bergamoteiras da região submetidos ao sistema de cultivo convencional.

### 3.2.3. Tratamentos

O experimento foi instalado no ano de 2007, em parcela com 234m<sup>2</sup>, constituídas por 3 linhas com 5 plantas por linha, totalizando 15 plantas por parcela, sendo as 3 centrais definidas como plantas úteis, contando ainda com uma entrelinha bordadura separando os tratamentos.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com 4 tratamentos dispostos em faixas e 4 repetições, (Figura 3). Para a avaliação dos atributos físicos do solo, análises foram realizadas em parcelas subdivididas (tratamentos principais, locais de amostragens e profundidades).

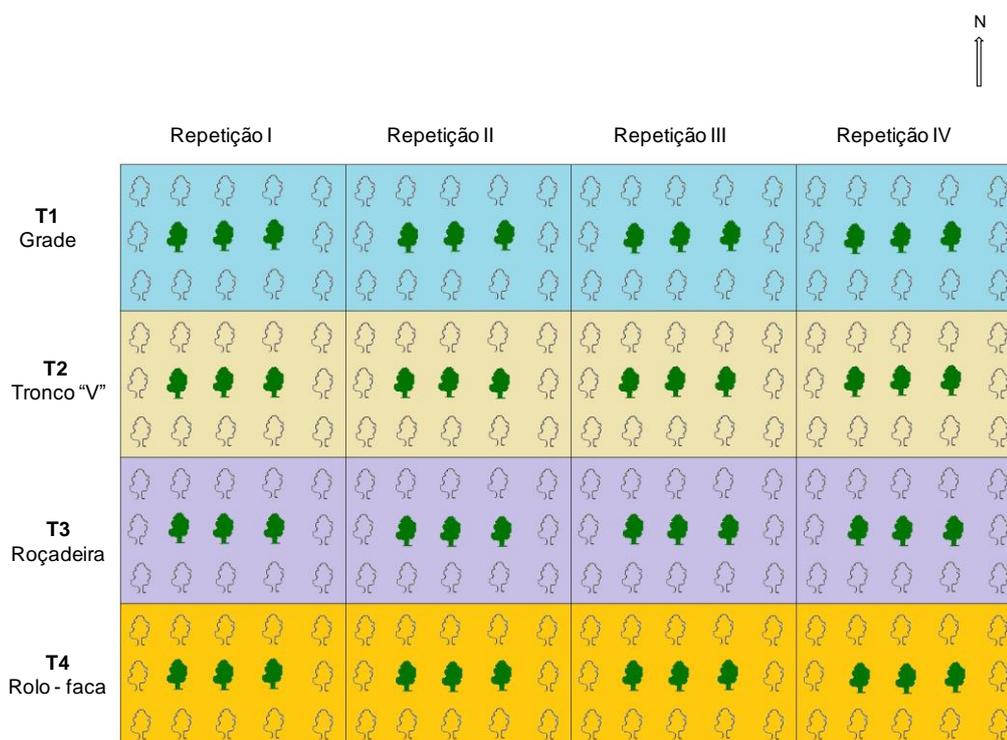


Figura 3. Croqui de distribuição dos tratamentos, plantas úteis e de bordadura no pomar – Montenegro/RS.

Visando o controle das plantas espontâneas nas entrelinhas do pomar, como tratamentos principais, foram realizados quatro tipos de manejo para o controle das espécies espontâneas nas entrelinhas do pomar (Figura 4):

**T1-Grade:** incorporação parcial da vegetação espontânea no solo na profundidade aproximada de 0,10-0,15 m com grade niveladora em tandem, montada, com 20 discos com 1,7 m de largura, nos meses de setembro, dezembro e março e capina ou roçada sob a copa dos citros;

**T2-Tronco V:** acamamento da vegetação espontânea, quando esta está em final de ciclo ou com altura superior a 60 cm, mediante arrastamento de dois segmentos de troco de madeira dispostos em V, cada qual com 30 a 40 cm de diâmetro, e com dispositivos para acoplamento nos engates de levantamento hidráulico de um trator;

**T3-Roçadora:** corte mecânico da vegetação espontânea realizada através de roçadora tratorizada, com 2,15 m de comprimento e 1,70 m de largura e roçada manual nas linhas, quando a altura da vegetação ultrapassar 60 cm (meses de setembro, dezembro e março);

**T4-Rolo faca:** acamamento da vegetação espontânea entre as linhas com rolo faca tracionadas por trator, largura de 2,0 m, quando a altura da mesma ultrapassar 60 cm e roçada manual nas linhas, sob a copa dos citros;

**T5-Testemunha:** área adjacente ao pomar não submetida aos tratamentos das entrelinhas das bergamoteiras.



Figura 4. Manejos das entrelinhas de plantio do pomar para o controle de espécies espontâneas.

Cada parcela foi manejada com uma passada do trator na entrelinha das plantas. Para a realização do manejo, como demonstrado na Figura 3, os implementos foram tracionados por um trator Yanmar 1055 (4x2) de 55 CV, com peso total de 1.985 kg. O trator foi operado com pneus diagonais 18.4-30R1 no eixo traseiro e 14.9-24R1 no eixo dianteiro.

Como subparcelas (Figura 5), foram realizadas amostragens do solo em três pontos das entrelinhas do pomar:

**LP** - linha de plantio, localizado no sombreamento feito pela projeção da copa da planta no solo;

**R** - rodado, localizado no local de trânsito dos rodados do trator;

**ER** - entre rodados, área localizada entre as linhas de circulação dos rodados do trator.

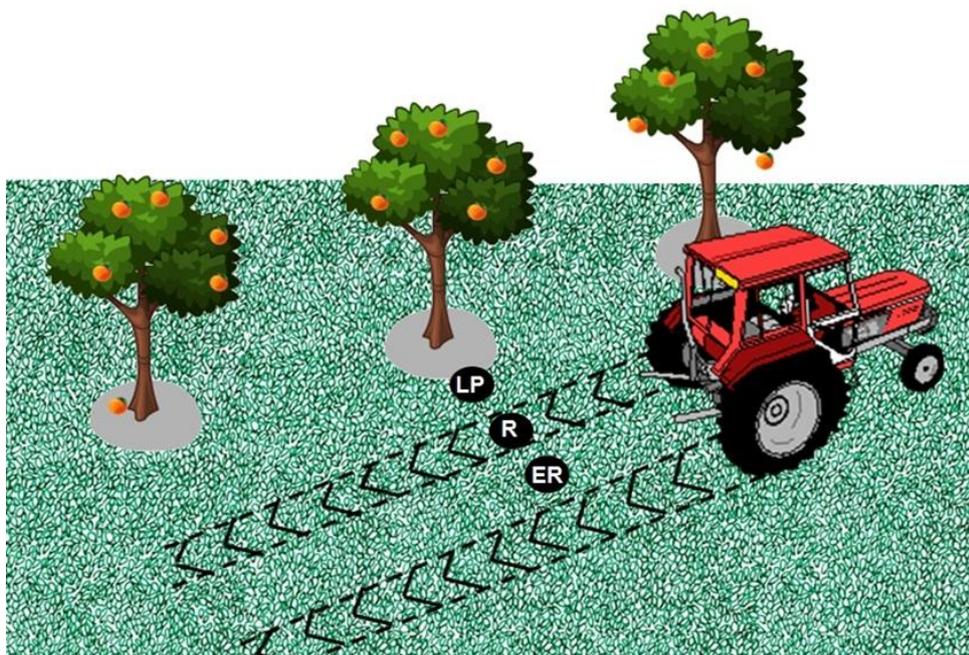


Figura 5. Locais de amostragens do solo realizadas nas entrelinhas de plantio do pomar de bergamoteiras (*Citrus deliciosa*), variedade Montenegrina.

### 3.2.5. Amostragem do solo

Foram abertas 16 trincheiras (uma em cada repetição, por tratamento) para a coleta de amostras de solo com estruturas deformada e preservada do solo em profundidades definidas como subparcelas do estudo.

As caracterizações químicas do solo foram feitas através das análises de amostras coletadas nas camadas 0,0-10,0; 10,0-20,0 e 20,0-40,0 cm, que formaram as amostras compostas de cada tratamento (Apêndice 1).

As coletas das amostras e análises a campo foram realizadas em julho de 2012. As amostras coletadas foram levadas ao Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia/UFRGS para realização das análises.

### 3.2.6. Atributos físicos do solo

#### 3.2.6.1. Análise granulométrica

A determinação da granulometria foi realizada com amostras deformadas do solo coletadas com trado calador nas profundidades de 0,0-20,0; 20,0-40,0 e 40,0-60,0 cm, nas quatro repetições dos tratamentos como

subamostras, sendo homogeneizadas, formando amostras compostas. As amostras foram secas ao ar (TFSA), destorroadas e passadas em peneira de 2 mm.

Devido ao alto teor de matéria orgânica presente no solo do pomar (mais de 5%), foi necessário realizar a oxidação da mesma para evitar a sua interferência na dissociação das partículas do solo. Foram transferidos 100 g de amostra de TFSA para copos de beaker de 500 mL e adicionado lentamente, aproximadamente 400 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> - peróxido de hidrogênio (água oxigenada) a 30% sob aquecimento entre 70 a 80 °C, até cessar o desprendimento de gás CO<sub>2</sub>. Após a oxidação da matéria orgânica, as amostras de solo foram secas em estufa a 75 °C, trituradas e peneiradas, compondo a terra fina seca em estufa (TFSE).

Em um frasco tipo “*snap-cap*”, foram acrescentados 20 g de TFSE e, como dispersante químico, 10 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> e aproximadamente 60 mL de água destilada. As amostras foram agitadas em agitador horizontal de forma lenta por 16 horas (Day, 1965). Após agitação, as amostras foram lavadas para a separação da areia e a suspensão contendo silte e argila foi transferida para proveta de 1.000 mL (Figura 6), completando-se o volume com água destilada.



Figura 6. Suspensão de solo para análise granulométrica.

Posteriormente, por meio de uma haste dotada de uma chapa perfurada em uma de suas extremidades, realizou-se a agitação das amostras durante 30 segundos. A classificação textural foi determinada de acordo com o limite superior e inferior determinado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA).

Para a determinação do teor de argila (partículas < 0,002 mm) coletou-se uma alíquota de 50 mL da suspensão do solo por meio de pipeta volumétrica, a 5 cm de profundidade, imediatamente após encerrado o tempo de sedimentação, segundo a lei de Stockes (1850). O tempo de sedimentação de cada amostra foi determinado em razão da densidade de partícula, da temperatura das amostras e da profundidade de coleta da suspensão (5 cm) para cálculo do teor de argila.

A fração areia (partículas entre 2,0 a 0,053 mm) foi subdividida em peneiras de cinco classes: areia muito grossa - *AMG* (partículas entre 2,0 a 1,0 mm), areia grossa - *AG* (partículas entre 1,0 a 0,5 mm), areia média - *AM* (partículas entre 0,5 a 0,25 mm), areia fina - *AF* (partículas entre 0,25 a 0,105 mm), areia muito fina - *AMF* (partículas entre 0,105 a 0,053 mm). A fração de silte (partículas entre 0,05 a 0,002 mm) foi determinada pela diferença da fração de areia total e argila.

### 3.2.6.2. Densidade de partículas

Para a realização da análise de densidade de partículas foi utilizada a metodologia do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997). Foram pesados 20 gramas de terra fina seca em estufa (TFSE) e deixadas em estufa a 105°C por 24 horas. Posteriormente, o solo foi transferido para balões de 50 mL e adicionados 20 mL de álcool etílico em cada balão, agitando bem os mesmos para eliminação das bolhas de ar, completando posteriormente o volume com álcool. De posse do volume de álcool (L) gasto, determinou-se o volume de sólidos (TFSE) pela expressão:

$$Dp = Mss/50 - V \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

$Dp$  = densidade de partículas, em  $\text{g cm}^{-3}$ ;

$Mss$  = massa de solo seco à 105°C, em g;

$V$  = volume do álcool em  $\text{cm}^{-3}$ .

### 3.2.6.3. Densidade do solo e porosidade do solo

As amostras de solo com estrutura preservada para a avaliação da densidade do solo, macro, micro e porosidade total foram coletadas com uso de anéis (Figura 7), em três pontos de coletas (LPC, R e ER), com quatro repetições por tratamento (T1, T2, T3 e T4), nas profundidades de 0,0-15,0; 15,0-30,0; 30,0-45,0 e 45,0-60,0 cm.

Também foram coletadas amostras na área adjacente ao pomar não submetida aos tratamentos das entrelinhas das bergamoteiras (testemunha). Como não houve influência de máquinas neste local, foram realizadas amostragens apenas em um local por repetição nas profundidades de 0,0-15,0; 15,0-30,0; 30,0-45,0 e 45,0-60,0 cm, totalizando 208 amostras.



Figura 7. Amostragem do solo, nos pontos de LPC, R e ER com uso de anéis volumétricos para análise física do solo.

As amostragens do solo foram realizadas com o uso de anéis metálicos volumétricos com bordos cortantes e de volume conhecido (5,0 cm de altura e 8,5 cm de diâmetro) e acondicionados em latas de alumínio, as quais foram tampadas e isoladas através de fita adesiva.

As amostras foram submetidas a um *toilet* para eliminar o excesso de solo e raízes de modo a atingir o volume do cilindro. Posteriormente, foram colocadas em bandejas plásticas contendo água para serem saturadas por ascensão capilar por 24 horas (Figura 8). Após esse período, foram pesadas em balança com precisão para a determinação do peso da amostra saturada.



Figura 8. Amostras de solo submetidas à saturação por água para a determinação da porosidade total do solo.

Posteriormente, as amostras foram colocadas em mesa de tensão (Figura 9), com coluna de água de 60,0 cm para a retirada da água contida nas amostras por sucção até o momento em que cessar a drenagem da água (aproximadamente 48 horas). Em seguida as amostras foram novamente pesadas e colocadas em estufa a 105°C até peso constante, o que aconteceu 48 horas após o início da secagem (EMBRAPA, 1997).



Figura 9. Uso de mesa de tensão e determinação da massa do solo para a determinação da porosidade e densidade do solo.

Após a secagem das amostras em estufa, estas foram novamente pesadas para a determinação da densidade, macro, micro e porosidade total do solo, através das fórmulas:

$$Ds = Mss / VT \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:  $Ds$  = densidade do solo, em  $\text{Mg m}^{-3}$ ;

$Mss$  = massa de solo seco em estufa a 105°C até peso constante, em g;

VT = volume total da amostra, que é correspondente ao volume do cilindro volumétrico, em cm<sup>3</sup>.

$$Pt = 100(Dp - Ds) / Dp \quad \text{Eq. 3}$$

Onde: Pt = porosidade total do solo, em m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>;

Dp = densidade das partículas, em g cm<sup>-3</sup>;

Ds = densidade do solo, em Mg m<sup>3</sup>.

$$Mi = (Ms60cm - Mss) / VT \quad \text{Eq. 4}$$

Onde: Mi = microporosidade do solo, em m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>;

Ms60cm = massa do solo após drenagem em mesa de tensão com coluna d'água de 60,0 cm, em g;

Mss = massa de solo seco em estufa a 105°C até peso constante, em g;

VT = volume total da amostra, que é correspondente ao volume do cilindro volumétrico, em cm<sup>3</sup>.

$$Ma = (Pt - Mi) \quad \text{Eq. 5}$$

Onde: Pt = porosidade total do solo, em m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>;

Mi = microporosidade do solo, em m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>.

#### 3.2.6.4. Densidade máxima de compactação do solo

Foram coletadas amostras indeformadas do solo nas profundidades de 0,0-15,0; 15,0-30,0; 30,0-45,0 e 45,0-60,0 cm, com uso de pá-de-corte que foram colocadas para secagem ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de malha de 4,76 mm, separando-se 6 (seis) sub-amostras de solo com 2,5 kg para cada um dos tratamentos, totalizando 120 amostras. Realizada essa etapa, coletou-se uma amostra de solo em cada tratamento, para determinação do teor de água em que o solo se encontrava, seguindo a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997).

A primeira amostra de solo foi reservada para ser utilizada, caso necessário, à formação da curva de compactação do solo. Foi realizado o umedecimento da segunda amostra até conseguir moldá-la na mão, o que foi

atingido com 250 mL de água, lentamente misturada de forma a obter uma homogeneidade na umidade.

Por ser um solo arenoso, as demais amostras foram umedecidas, sucessivamente, com 1,5% a mais de água (Nogueira, 1998). Após o umedecimento, as amostras foram embaladas em sacos plásticos ficando em repouso por 24 horas, para a adequada redistribuição da água.

Para o ensaio, foi utilizado um cilindro metálico com 10,0 cm de diâmetro, 12,73 cm de altura e volume de 1.000 cm<sup>3</sup>. Cada amostra foi subdividida em três camadas que foram submetidas a 25 golpes (75 golpes por amostra) de um soquete com massa de 2,5 kg caindo de uma altura de deslocamento de 30,0 cm. Após cada compactação, foram retiradas amostras de solo da parte central do corpo de prova compactado, as quais foram pesadas, colocadas em estufa para secagem a 105°C até peso constante para determinação da umidade do solo (Ug).

#### 3.2.6.5. Infiltração de água no solo

O ensaio de infiltração de água no solo (Figura 10) foi realizado em campo no mês de janeiro/2013 com uso de infiltrômetros de anéis concêntricos, conforme metodologia descrita por Bernardo et al. (2005).

Os testes foram realizados em três locais distintos na entrelinha de plantio (LPC; ER; R), sendo duas repetições por tratamento. O ensaio também foi realizado em três locais na área mantida com campo nativo (testemunha).



Figura 10. Ensaio de infiltração de água no solo com uso de infiltrômetro de cilindros concêntricos.

Foi realizada uma remoção da cobertura vegetal e raízes superficiais existentes para a colocação dos anéis, visando evitar a interferência da cobertura na infiltração da água no solo. Essa tarefa foi feita cuidadosamente, com uso de enxada, para evitar alterações na superfície do solo.

Os dois cilindros concêntricos foram introduzidos no solo a 15,0 cm de profundidade com o auxílio de uma marreta, buscando evitar perturbações no solo e perdas laterais de água pela base do cilindro, contando ainda com uma régua graduada posicionada no centro do cilindro interno para medir a alteração na altura da lâmina d'água.

Foi colocada uma lona plástica dentro dos cilindros para evitar perturbações provocadas pelo impacto da água no solo. Em seguida foi adicionada água nos dois cilindros e, após a retirada da lona plástica, o processo de leitura foi iniciado. Toda vez que ocorria diminuição de 5,0 cm na carga hidráulica, era realizado o abastecimento manual dos cilindros, registrando-se a altura ajustada. O tempo máximo de cada ensaio foi de 90 minutos.

#### 3.2.6.6. Resistência mecânica do solo à penetração

A resistência mecânica do solo à penetração (Figura 11) foi realizada nos locais de amostragens LPC, R e ER, com 10 mensurações regularmente espaçadas em 3,0 cm, até a profundidade de 60,0 cm. Foi utilizado um penetrômetro digital PenetroLOG PLG1020 que possui um sistema eletrônico de medições e armazenamento de dados, produzido pela empresa Falker Automação Agrícola, construído de acordo com as normas da ASAE S313.3 (ASAE, 2004).



Figura 11. Penetrômetro digital utilizado para análise de resistência mecânica do solo à penetração nas entrelinhas de plantio do pomar orgânico.

Juntamente com o ensaio de resistência mecânica do solo à penetração, foram coletadas amostras deformadas de solo nas profundidades de 0,0-15,0; 15,0-30,0; 30,0-45,0 e 45,0-60,0 cm com uso de trado calador, as quais foram colocadas em latas de alumínio e vedadas com fita adesiva. No laboratório, as amostras foram pesadas, colocadas em estufa a 105°C até atingirem peso constante e pesadas novamente, para a determinação da umidade gravimétrica do solo (EMBRAPA, 1997).

### 3.2.7. Análise estatística dos dados

As análises estatísticas da densidade, macro, micro e porosidade total do solo foram realizadas de acordo com o delineamento em parcelas sub-subdivididas, utilizando o software Statistical Analysis System (SAS), através da análise de variância. Quando o valor de F foi significativo, as médias dos tratamentos foram comparadas entre si, utilizando-se o teste de análise de médias de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Foram analisados os quatro parcelas principais de manejo das plantas espontâneas (grande, tronco V, roçadora e rolo faca), além da área testemunha; como subparcelas dentro de cada parcela, os pontos de coleta nas entrelinhas de plantio (LPC, R e ER) e como sub-subparcelas dentro de cada ponto de amostragem, as profundidades de coleta (0,0-15,0; 15,0-30,0; 30,0-45,0 e 45,0-60,0 cm).

### 3.3. Resultados e discussão

#### 3.3.2. Atributos físicos do solo

##### 3.3.2.1. Caracterização física do solo

Com base na distribuição granulométrica das partículas, o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico (PVAd), foi enquadrado como um solo de textura arenosa (EMBRAPA, 1997). Esse tipo de solo favorece a produção de citros, que se desenvolvem bem em solos de textura média a arenosa, desde que sejam profundos e topografia favorável à mecanização agrícola (Souza, 1996; Cintra, 1997; Jacomine, 2001; Rezende et. al., 2002).

O solo apresenta um alto teor de areia total - *AT* (0,76 a 0,88 kg kg<sup>-1</sup>) em todo o perfil do solo, ocorrendo uma ligeira redução na profundidade de 0,40-0,60 m, devido ao aumento do teor de argila (0,14 a 0,18 kg kg<sup>-1</sup>). Os horizontes superficiais tendem a perder argila para os mais profundos em decorrência da circulação hídrica ser predominantemente vertical nos topos das vertentes (Martins, 2000).

Devido a sua estabilidade, a granulometria do solo não é influenciada pelo manejo utilizado nas áreas de estudo, mas sim há um ligeiro arraste de partículas do solo, devido à declividade da área experimental, o que promove a formação de “*manchas*” de partículas em locais distintos no terreno, o que foi observado na variação dos teores de areia total (*AT*), silte (*Sl*) e argila (*AR*), como demonstrado na Tabela 1.

Souza et al.(2003a); Sanchez et al.(2005) e Leão et al. (2010) afirmam que a topografia influencia na distribuição espacial da granulométrica, sendo a distribuição superficial das partículas do solo dependente da direção do fluxo de água no terreno.

Ao analisar o fracionamento da areia total em profundidade, observou-se um maior teor de areia média - *AM*, com valores entre 0,36 a 0,42 kg kg<sup>-1</sup> e areia fina - *AF* (0,27 a 0,34 kg kg<sup>-1</sup>), que juntas representam cerca de 40 a 50% da *AT* (Tabela 1).

As presenças de areia média e fina favorecem a retenção de água nesse solo, o que não ocorreria caso apresentasse maiores teores de areia muito grossa - *AMG* (com valores de 0,01 kg kg<sup>-1</sup> a menos), areia grossa - *AG* (0,05 a

0,07 kg kg<sup>-1</sup>), representando de 1,14 a 8,86% da AT em profundidade. Entretanto, a presença de grande quantidade de areia, sobretudo de granulometria fina nesse solo, favorece o arraste de partículas devido à deficiência de agregação.

Os valores de densidade de partículas ( $Dp$ ) variaram entre 2,54 a 2,55 g cm<sup>-3</sup> e não apresentaram variações devido aos tratamentos realizados nas entrelinhas do pomar, nem mesmo em superfície (0,0 – 20,0 cm), aonde existe um aporte de matéria orgânica (Apêndice 3) em relação às camadas subsuperficial (40,0-60,0 cm) podendo influenciar indiretamente na porosidade do solo (Forsythe, 1975).

Os valores de  $Dp$  encontrados estão dentro do limite desejáveis para solos com textura arenosa. Jorge (1985) afirma que o valor de  $Dp$  desse tipo de solo varia dentro de limites muito próximos, oscilando entre 2,4 a 2,9 g cm<sup>-3</sup>, sendo que os solos originados de rochas mais ricas em minerais pesados atingem valores elevados. Já os solos que se derivaram a partir de rochas areníticas (como é o caso do solo em estudo) possuem valores mais baixos de densidade de partículas.

Os resultados de  $Dp$  encontrados nesse estudo assemelham-se com os obtidos por Mendes et al. (2006), que, ao avaliar o manejo de solos utilizando plantas melhoradoras de solo, não observaram diferenças significativas nos valores da densidade de partículas entre os tratamentos e nem nas diferentes profundidades. Nascimento et al. (2005) encontraram um efeito significativo na  $Dp$  após o manejo com uso de leguminosas, nas profundidades de 10,0 - 20,0 e 20,0 - 30,0 cm.

Tabela 1. Distribuição granulométrica e densidade de partículas do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico (PVAd)

| Tratamentos  | AMG                            | AG   | AM   | AF   | AMF  | Areia total | Silte | Argila | Dp                    |
|--------------|--------------------------------|------|------|------|------|-------------|-------|--------|-----------------------|
|              | -----kg kg <sup>-1</sup> ----- |      |      |      |      |             |       |        | (g cm <sup>-3</sup> ) |
| 0,0-20,0 cm  |                                |      |      |      |      |             |       |        |                       |
| Grade        | 0,01                           | 0,06 | 0,41 | 0,34 | 0,06 | 0,88        | 0,03  | 0,09   | 2,55                  |
| Tronco V     | 0,00                           | 0,07 | 0,44 | 0,30 | 0,06 | 0,86        | 0,11  | 0,02   | 2,54                  |
| Roçadora     | 0,00                           | 0,06 | 0,41 | 0,30 | 0,08 | 0,85        | 0,10  | 0,04   | 2,55                  |
| Rolo faca    | 0,00                           | 0,07 | 0,40 | 0,31 | 0,07 | 0,85        | 0,09  | 0,06   | 2,55                  |
| 20,0-40,0 cm |                                |      |      |      |      |             |       |        |                       |
| Grade        | 0,00                           | 0,07 | 0,40 | 0,32 | 0,07 | 0,86        | 0,06  | 0,08   | 2,55                  |
| Tronco V     | 0,00                           | 0,06 | 0,41 | 0,31 | 0,06 | 0,84        | 0,07  | 0,09   | 2,54                  |
| Roçadora     | 0,00                           | 0,07 | 0,41 | 0,30 | 0,06 | 0,84        | 0,07  | 0,09   | 2,54                  |
| Rolo faca    | 0,00                           | 0,07 | 0,42 | 0,27 | 0,06 | 0,81        | 0,07  | 0,12   | 2,54                  |
| 40,0-60,0 cm |                                |      |      |      |      |             |       |        |                       |
| Grade        | 0,00                           | 0,05 | 0,36 | 0,28 | 0,06 | 0,76        | 0,06  | 0,18   | 2,54                  |
| Tronco V     | 0,00                           | 0,05 | 0,36 | 0,31 | 0,07 | 0,78        | 0,08  | 0,14   | 2,54                  |
| Roçadora     | 0,00                           | 0,05 | 0,37 | 0,29 | 0,07 | 0,78        | 0,05  | 0,16   | 2,54                  |
| Rolo faca    | 0,00                           | 0,06 | 0,39 | 0,27 | 0,06 | 0,79        | 0,05  | 0,16   | 2,55                  |

Nota: Classificação dos sólidos pela USDA: AMG (areia muito grossa) = partículas entre 2,0 a 1,0 mm; AG (areia grossa) = partículas entre 1,0 a 0,5 mm; AM (areia média) = partículas entre 0,5 a 0,25 mm; AF (areia fina) = partículas entre 0,25 a 0,105 mm, AMF (areia muito fina) = partículas entre 0,105 a 0,053 mm; areia total = 2,0-0,053 mm; silte = 0,05-0,002 mm; argila < 0,002 mm.

### 3.3.2.2. Porosidade e densidade do solo

A comparação múltipla de médias pelo teste de Tukey demonstrou que a porosidade e a densidade do solo diferiram-se entre os tratamentos dentro dos locais de amostragem linha de projeção da copa (LPC), rodado (R) e entre rodado (ER).

Na camada de 0,0-15,0 cm de profundidade houve uma redução na macroporosidade do solo nas entrelinhas manejadas com o uso da grade e da roçadora nos locais de amostragem LPC, R e ER, com valores maiores observados no local de amostragem de tráfego de rodado (R). Consequentemente, ocorreu um aumento na microporosidade do solo, com valores chegando a  $0,36 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , considerados altos para o bom desenvolvimento radicular dos citros em solos arenosos.

A reorganização da macro e microporosidade do solo promoveu uma alteração na porosidade total do solo que interferiram na densidade do solo em todos os tratamentos (Tabela 2).

Os valores altos valores de  $D_s$  na entrelinha manejada com o uso da grade (1,47; 1,54 e 1,41  $\text{Mg m}^{-3}$  nos locais de LPC, R e ER, respectivamente), deve-se ao fato desse implemento promover maior instabilidade na estrutura do solo, devido à mobilização provocada pela incorporação da vegetação espontânea do solo, deixando-o mais vulnerável a compactação, independentemente do local de amostragem.

De acordo com Durigan & Timossi (2002) o uso da grade em pomares cítricos é considerado polêmico, uma vez que os discos, revolvendo o solo, produz poeira, corta raízes e, dependendo do local, causa a erosão. Por isso, ele já não é mais utilizado em muitas regiões.

Esses resultados confirmam os efeitos deletérios da mobilização do solo e da ação do tráfego de máquinas e equipamentos agrícolas em pomares cítricos (Lima et al., 2004; Minatel et al., 2006; Fidalski et al., 2007), os quais também foram verificados em pomares de macieiras por Goh et al. (2001); Oliveira & Merwin (2001).

Entretanto, essa variação na porosidade e densidade do solo, na camada de 0-15 cm de profundidade não é considerada impeditiva para o

desenvolvimento radicular. Isso se deve ao fato dessa camada apresentar alto teor de matéria orgânica (*MO*), como demonstrado no Apêndice 3. A *MO* no solo promove um efeito positivo na sua estabilidade estrutural associado ao fato de o material orgânico apresentar baixa densidade, menor do que a dos sólidos minerais do solo (Aragón et al., 2000; Braida et al., 2006; Dias Júnior; Miranda, 2000; Libardi, 2005).

Outra entrelinha de plantio que apresentou grande variação de densidade do solo foi a manejada com o uso da roçadora, com valores, apresentando o mesmo valor da linha manejada com a grade,  $1,54 \text{ Mg m}^{-3}$ . Isso pode ser atribuído ao fato da roçadora apenas promover o corte da parte aérea das plantas espontâneas, não apresentando contato direto com o solo.

Tabela 2. Densidade do solo (*Ds*), Macro (*Ma*), Micro (*Mi*) e Porosidade total (*Pt*), na profundidade 0,0-15,0 cm nas entrelinhas manejadas com o uso da grade, tronco V, roçadora e rolo faca, observados na Linha de projeção da copa (LPC), Rodado (R) e Entrelinha do rodado (ER)

| Tratamento                | Macro                                   | Micro  | Porosidade total | Densidade          |
|---------------------------|---|--------|------------------|--------------------|
|                           | ----- $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ----- |        |                  | $\text{Mg m}^{-3}$ |
| Linha projeção da copa    |   |        |                  |                    |
| Grade                     | 0,15 b                                  | 0,21 b | 0,36 c           | 1,47 a             |
| Tronco V                  | 0,18 a                                  | 0,27 a | 0,45 a           | 1,22 c             |
| Roçadora                  | 0,11 c                                  | 0,21 b | 0,32 d           | 1,41 b             |
| Rolo faca                 | 0,19 a                                  | 0,22 b | 0,41 b           | 1,16 d             |
| ----- Rodado -----        |   |        |                  |                    |
| Grade                     | 0,11 b                                  | 0,25 d | 0,36 c           | 1,54 a             |
| Tronco V                  | 0,10 b                                  | 0,34 b | 0,44 b           | 1,29 b             |
| Roçadora                  | 0,06 c                                  | 0,27 c | 0,33 d           | 1,54 a             |
| Rolo faca                 | 0,13 a                                  | 0,36 a | 0,49 a           | 1,23 c             |
| ----- Entre rodados ----- |   |        |                  |                    |
| Grade                     | 0,15 a                                  | 0,23 d | 0,38 c           | 1,41 a             |
| Tronco V                  | 0,16 a                                  | 0,32 a | 0,48 a           | 1,19 c             |
| Roçadora                  | 0,11 b                                  | 0,25 c | 0,36 d           | 1,33 b             |
| Rolo faca                 | 0,16 a                                  | 0,29 b | 0,45 b           | 1,11 d             |

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade entre os tratamentos nos locais de amostragens - Linha de projeção da copa (LPC), Rodado (R) e Entre rodados (ER).

Os valores de *Ds*, *Ma*, *Mi* e *Pt* obtidos na camada de 15-30 cm de profundidade, demonstrado na Tabela 3, também apresentaram valores

reduzidos (entre 0,08 à 0,14 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) de macroporosidade (*Ma*), em todos os locais de amostragem, também com destaque para o local de tráfego do rodado do trator.

Os resultados encontrados nesse estudo são semelhantes aos encontrados por Demattê & Vitti (1992), Reichardt & Timm (2004) e Libardi (2005), que na mesma profundidade (30,0 cm), encontraram valores de *Ma* inferiores 0,15 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, na maioria dos pomares cítricos do Brasil. Os mesmos autores afirmam que para uma boa produtividade os pomares devem apresentar valores de macroporosidade entre 60 a 70% da porosidade total.

Tabela 3. Densidade do solo (*Ds*), Macro (*Ma*), Micro (*Mi*) e Porosidade total (*Pt*), na profundidade 15,0-30,0 cm nas entrelinhas manejadas com o uso da grade, tronco V, roçadora e rolo faca, observados na Linha de projeção da copa (LPC), Rodado (R) e Entrelinha do rodado (ER)

| Tratamento             | Macro                          | Micro  | Porosidade total | Densidade          |
|------------------------|--------------------------------|--------|------------------|--------------------|
|                        | m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> |        |                  | Mg m <sup>-3</sup> |
| Linha projeção da copa |                                |        |                  |                    |
| Grade                  | 0,14 a                         | 0,18 b | 0,32 b           | 1,56 b             |
| Tronco V               | 0,11 b                         | 0,20 a | 0,31 c           | 1,58 a             |
| Roçadora               | 0,13 a                         | 0,20 a | 0,33 b           | 1,49 c             |
| Rolo faca              | 0,14 a                         | 0,21 a | 0,35 a           | 1,56 b             |
| Rodado                 |                                |        |                  |                    |
| Grade                  | 0,10 a                         | 0,20 b | 0,30 a           | 1,65 a             |
| Tronco V               | 0,08 b                         | 0,23 a | 0,31 a           | 1,60 b             |
| Roçadora               | 0,10 a                         | 0,21 b | 0,31 a           | 1,61 b             |
| Rolo faca              | 0,09 b                         | 0,21 b | 0,30 a           | 1,64 a             |
| Entre rodados          |                                |        |                  |                    |
| Grade                  | 0,11 a                         | 0,19 b | 0,30 a           | 1,61 b             |
| Tronco V               | 0,09 b                         | 0,21 a | 0,30 a           | 1,53 c             |
| Roçadora               | 0,11 a                         | 0,20 a | 0,31 a           | 1,53 c             |
| Rolo faca              | 0,09 b                         | 0,21 a | 0,30 a           | 1,64 a             |

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade entre os tratamentos nos locais de amostragens - Linha de projeção da copa (LPC), Rodado (R) e Entre rodados (ER).

Os baixos valores de macroporosidade do solo nas entrelinhas do pomar também podem ser atribuídos ao alto teor de areia média (diâmetro entre 0,50-0,25 mm) e areia fina (diâmetro entre 0,25-0,10 mm) que facilitando a compactação do solo com o uso de máquinas. De acordo com Souza (1996),

solos com textura arenosa contribuem para a obstrução de poros, menor infiltração de água e maior possibilidade de erosão do solo.

A redução na macroporosidade ocasionou um aumento, inversamente proporcional, na microporosidade do solo (*Mi*), com valores entre 0,20 a 0,36  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , maiores até do que os encontrados por Demattê & Vitti (1992); Reichardt & Timm (2004) e Libardi (2005), que afirmam não encontrar valores de *Mi* maiores que 0,20 a 0,23  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  na maioria dos pomares brasileiros. Os mesmos autores destacam que para um bom desenvolvimento, a *Mi* em pomares agrícolas devem apresentar valores entre 30 a 40% da *Pt*.

Os valores dos atributos físicos do solo (*Ds*, *Ma*, *Mi* e *Pt*) observados na camada de 30,0-45,0 cm de profundidade (Tabela 4) pode ser atribuído à fatores intrínsecos (textura do solo), uma vez que o efeito do uso de máquinas nas entrelinhas do pomar( fator extrínsecos) é reduzido nessa profundidade.

Tabela 4. Densidade do solo (*Ds*), Macro (*Ma*), Micro (*Mi*) e Porosidade total (*Pt*), na profundidade 30,0-45,0 cm nas entrelinhas manejadas com o uso da grade, tronco V, roçadora e rolo faca, observados na Linha de projeção da copa (LPC), Rodado (R) e Entrelinha do rodado (ER)

| Tratamento             | Macro  | Micro                      | Porosidade total | Densidade          |
|------------------------|--------|----------------------------|------------------|--------------------|
|                        | -----  | $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ | -----            | $\text{Mg m}^{-3}$ |
| Linha projeção da copa |        |                            |                  |                    |
| Grade                  | 0,14 b | 0,18 b                     | 0,32 d           | 1,54 b             |
| Tronco V               | 0,13 b | 0,23 a                     | 0,36 b           | 1,43 d             |
| Roçadora               | 0,12 b | 0,22 a                     | 0,34 c           | 1,46 c             |
| Rolo faca              | 0,16 a | 0,23 a                     | 0,39 a           | 1,62 a             |
| -----                  |        |                            |                  |                    |
| Rodado                 |        |                            |                  |                    |
| Grade                  | 0,14 a | 0,21 c                     | 0,35 c           | 1,55 b             |
| Tronco V               | 0,13 a | 0,24 b                     | 0,37 b           | 1,47 c             |
| Roçadora               | 0,12 a | 0,23 b                     | 0,35 c           | 1,44 d             |
| Rolo faca              | 0,15 a | 0,26 a                     | 0,41 a           | 1,60 a             |
| -----                  |        |                            |                  |                    |
| Entre rodados          |        |                            |                  |                    |
| Grade                  | 0,15 a | 0,20 c                     | 0,35 c           | 1,58 a             |
| Tronco V               | 0,14 a | 0,23 b                     | 0,37 b           | 1,47 c             |
| Roçadora               | 0,14 a | 0,23 b                     | 0,37 b           | 1,47 c             |
| Rolo faca              | 0,15 a | 0,26 a                     | 0,41 a           | 1,49 b             |

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade entre os tratamentos nos locais de amostragens - Linha de projeção da copa (LPC), Rodado (R) e Entre rodados (ER).

Todos os tratamentos apresentaram valores de  $Pt$  baixos (entre 0,32 a 0,41  $m^3 m^{-3}$ ) que foi agravado principalmente nos locais de tráfego dos rodados do trator. Demattê e Vitti (1992); Reichardt & Timm (2004) e Libardi (2005) destacam que o limite de  $Pt$  satisfatório ao desenvolvimento das plantas cítricas devem estar entre 0,40 a 0,55  $m^3 m^{-3}$ .

Os mesmos autores encontraram valores entre 0,30 a 0,35  $m^3 m^{-3}$  na maioria dos pomares brasileiros, na profundidade de 30,0 cm, o que se assemelha aos valores encontrados para o pomar em estudo nessa profundidade, onde não ultrapassou os 0,35  $m^3 m^{-3}$  nessa mesma profundidade.

Na Tabela 5, os valores dos atributos físicos do solo foram altos em todos os tratamentos, na camada de 45,0-60,0 cm de profundidade, não havendo muito efeito dos locais de amostragens, sobretudo na microporosidade do solo, comparado às camadas superficiais do solo.

Pode-se observar que, em geral houve um aumento da porosidade total e densidade do solo em profundidade ( $Ds$  entre 1,49 a 1,67  $Mg m^{-3}$  e  $Pt$  entre 0,36 a 0,42  $m^3 m^{-3}$ , respectivamente). De acordo com Scott & Wood (1989), os aumentos da  $Ma$ ,  $Mi$ ,  $Pt$  e  $Ds$ , em profundidade, além de sofrerem efeitos da textura do solo, também podem ser influenciadas pela redução do teor de matéria orgânica ( $MO$ ) ao longo do perfil que podem ser observados no Apêndice 3.

A  $MO$  bem como as raízes das plantas, presentes nas camadas superficiais promovem uma reorganização na estrutura do solo, devido à formação de agregados que facilitam a areação, o desenvolvimento radicular das bergamoteiras, além de favorecer a dinâmica da água no solo. Além disso, a presença de plantas espontâneas nas entrelinhas serviu de 'amortecedor' do trânsito de máquinas.

Tabela 5. Densidade do solo ( $D_s$ ), Macro ( $Ma$ ), Micro ( $Mi$ ) e Porosidade total ( $P_t$ ), na profundidade 45,0-60,0 cm nas entrelinhas manejadas com o uso da grade, tronco V, roçadora e rolo faca, observados na Linha de projeção da copa (LPC), Rodado (R) e Entrelinha do rodado (ER)

| Tratamento             | Macro                                      | Micro  | Porosidade total | Densidade          |
|------------------------|--|--------|------------------|--------------------|
|                        | ----- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ----- |        |                  | Mg m <sup>-3</sup> |
| Linha projeção da copa |  |        |                  |                    |
| Grade                  | 0,15 b                                     | 0,24 b | 0,39 b           | 1,67 a             |
| Tronco V               | 0,13 c                                     | 0,26 a | 0,39 b           | 1,58 b             |
| Roçadora               | 0,15 b                                     | 0,23 b | 0,38 b           | 1,58 b             |
| Rolo faca              | 0,19 a                                     | 0,23 b | 0,42 a           | 1,49 c             |
| ----- Rodado           |  |        |                  |                    |
| Grade                  | 0,12 b                                     | 0,26 a | 0,38 a           | 1,62 b             |
| Tronco V               | 0,11 b                                     | 0,27 a | 0,38 a           | 1,61 b             |
| Roçadora               | 0,11 b                                     | 0,25 a | 0,36 b           | 1,64 a             |
| Rolo faca              | 0,15 a                                     | 0,24 a | 0,39 a           | 1,59 c             |
| ----- Entre rodados    |  |        |                  |                    |
| Grade                  | 0,14 b                                     | 0,26 a | 0,40 a           | 1,65 a             |
| Tronco V               | 0,14 b                                     | 0,27 a | 0,41 a           | 1,57 b             |
| Roçadora               | 0,15 b                                     | 0,21 c | 0,36 b           | 1,57 b             |
| Rolo faca              | 0,19 a                                     | 0,23 b | 0,42 a           | 1,53 c             |

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade entre os tratamentos nos locais de amostragens - Linha de projeção da copa (LPC), Rodado (R) e Entre rodados (ER).

Ao comparar as médias dos tratamentos com a área adjacente ao pomar não submetida aos tratamentos das entrelinhas das bergamoteiras (Testemunha), podemos observar uma variação na porosidade e densidade do solo (Tabela 6) apresentaram valores menores do que os observados nas entrelinhas submetidas ao manejo para o controle as espécies espontâneas, isso mostra o efeito deletério do uso de máquinas agrícolas na estrutura do solo em pomares cítricos.

Para Dias Júnior & Pierce (1996) o rearranjo das partículas compromete a aeração do solo em pomares agrícolas, provocando a expulsão ar dos poros, o que compromete o desenvolvimento radicular e a dinâmica da água, além de torná-lo mais denso.

A compactação aumenta a resistência à penetração e ao aprofundamento do sistema radicular. Muitas plantas, em face de este

problema, mantêm 75% das radículas até a profundidade de apenas 15,0 cm, tornando-as mais expostas aos cortes pela grade.

Tabela 6. Densidade do solo (*Ds*), Macro (*Ma*), Micro (*Mi*) e Porosidade total (*Pt*), nas entrelinhas manejadas com o uso da grade, tronco V, roçadora, rolo faca, além da testemunha nas camadas de 0,0-15,0; 15,0-30,0; 30,0-45,0 e 45,0-60,0 cm de profundidade

| Tratamento   | Macro                          | Micro  | Porosidade total | Densidade          |
|--------------|--------------------------------|--------|------------------|--------------------|
|              | m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> |        |                  | Mg m <sup>-3</sup> |
| 0,0-15,0 cm  |                                |        |                  |                    |
| Grade        | 0,14 b                         | 0,23 c | 0,37 c           | 1,47 a             |
| Tronco V     | 0,15 b                         | 0,31 a | 0,46 a           | 1,23 d             |
| Roçadora     | 0,09 c                         | 0,24 c | 0,34 d           | 1,43 b             |
| Rolo Faca    | 0,16 b                         | 0,29 b | 0,45 a           | 1,17 e             |
| Testemunha   | 0,21 a                         | 0,18 d | 0,39 b           | 1,15 c             |
| 15,0-30,0 cm |                                |        |                  |                    |
| Grade        | 0,12 b                         | 0,19 a | 0,31 b           | 1,61 a             |
| Tronco V     | 0,09 c                         | 0,21 a | 0,31 b           | 1,57 b             |
| Roçadora     | 0,11 b                         | 0,20 a | 0,32 a           | 1,54 c             |
| Rolo Faca    | 0,11 b                         | 0,21 a | 0,32 a           | 1,61 a             |
| Testemunha   | 0,17 a                         | 0,15 b | 0,32 a           | 1,40 b             |
| 30,0-45,0 cm |                                |        |                  |                    |
| Grade        | 0,14 b                         | 0,20 c | 0,34 c           | 1,56 b             |
| Tronco V     | 0,13 c                         | 0,23 b | 0,37 b           | 1,46 c             |
| Roçadora     | 0,13 c                         | 0,23 b | 0,35 c           | 1,46 c             |
| Rolo Faca    | 0,15 a                         | 0,25 a | 0,40 a           | 1,57 b             |
| Testemunha   | 0,14 b                         | 0,16 d | 0,30 d           | 1,61 a             |
| 45,0-60,0 cm |                                |        |                  |                    |
| Grade        | 0,14 b                         | 0,25 b | 0,39 b           | 1,65 a             |
| Tronco V     | 0,13 c                         | 0,27 a | 0,39 b           | 1,59 b             |
| Roçadora     | 0,14 b                         | 0,23 c | 0,37 c           | 1,60 b             |
| Rolo Faca    | 0,18 a                         | 0,23 c | 0,41 a           | 1,54 d             |
| Testemunha   | 0,12 c                         | 0,19 d | 0,31 d           | 1,57 c             |

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade entre os tratamentos, nas camadas de 0-15; 15-30; 30-45 e 45-60 cm de profundidades.

Os valores crescentes de *Ds*, em profundidade, podem comprometer a produtividade das bergamoteiras, pois de acordo com Durigan & Timossi (2002), os limites desejáveis para uma boa produção de citros em solos arenosos, devem variar entre 1,25 a 1,40 Mg m<sup>-3</sup> nos primeiros 0,30 m de profundidade.

### 3.3.2.3. Densidade máxima de compactação do solo

As curvas de densidade máxima compactação do solo ( $D_{m\acute{a}x}$ ) em função da umidade máxima de compactação do solo ( $U_{m\acute{a}x}$ ), pelo teste de Próctor (Figura 16), apresentaram valores críticos de  $U_{m\acute{a}x}$  do solo entre 0,07 a 0,15  $g\ g^{-1}$ , e de densidade crítica entre 1,6 a 2,0  $Mg\ m^{-3}$ . Sendo assim, em solo com esse teor de umidade não é recomendando o tráfego de máquinas, pois provoca compactação do solo que pode ser decisiva ao declínio da produtividade das tangerineiras.

A redução nos valores de  $D_{m\acute{a}x}$  na camada superficial do solo (15,0 cm) é atribuída ao fato do alto teor de matéria orgânica (MO) nessa profundidade (Apêndice 3), uma vez que quanto maior o teor de matéria orgânica do solo, menor é o valor de densidade máxima obtida e maior é o teor de água necessário para atingi-lo.

Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Aragón et al. (2000) e Ball et al. (2000) em solos com textura arenosa, porém com diferentes teores de matéria orgânica. Segundo esses autores, isso ocorre pelo efeito amortecedor da matéria orgânica, que resulta em dissipação de parte da energia aplicada e capacidade de retenção da água da matéria orgânica, que, ao retê-la junto de suas partículas, impede que a água atue como lubrificante entre as partículas minerais e, conseqüentemente, reduzindo o efeito da compactação sobre a  $D_{m\acute{a}x}$  (Braida et al., 2006).

O aumento dos valores de  $D_{m\acute{a}x}$  em subsuperfície, obtido no estudo, pode estar relacionado com o aumento de argila em profundidade (Tabela 1). Isso acontece porque, provavelmente, no solo arenoso, o efeito da matéria orgânica em reduzir o efeito lubrificante da água entre as partículas minerais é muito maior do que no argiloso. A matéria orgânica apresenta uma área superficial específica (ASE) variando de  $8 \times 10^5$  a  $9 \times 10^5\ m^2\ kg^{-1}$  (Meurer et al., 2000) e capacidade de troca de cátions (CTC) que pode chegar a  $1.400\ cmol_c\ kg^{-1}$  (Canellas et al., 1999), resultando em uma capacidade de retenção de água muito maior do que a da areia, cuja ASE é menor que  $60\ m^2\ kg^{-1}$  e a CTC é praticamente nula.

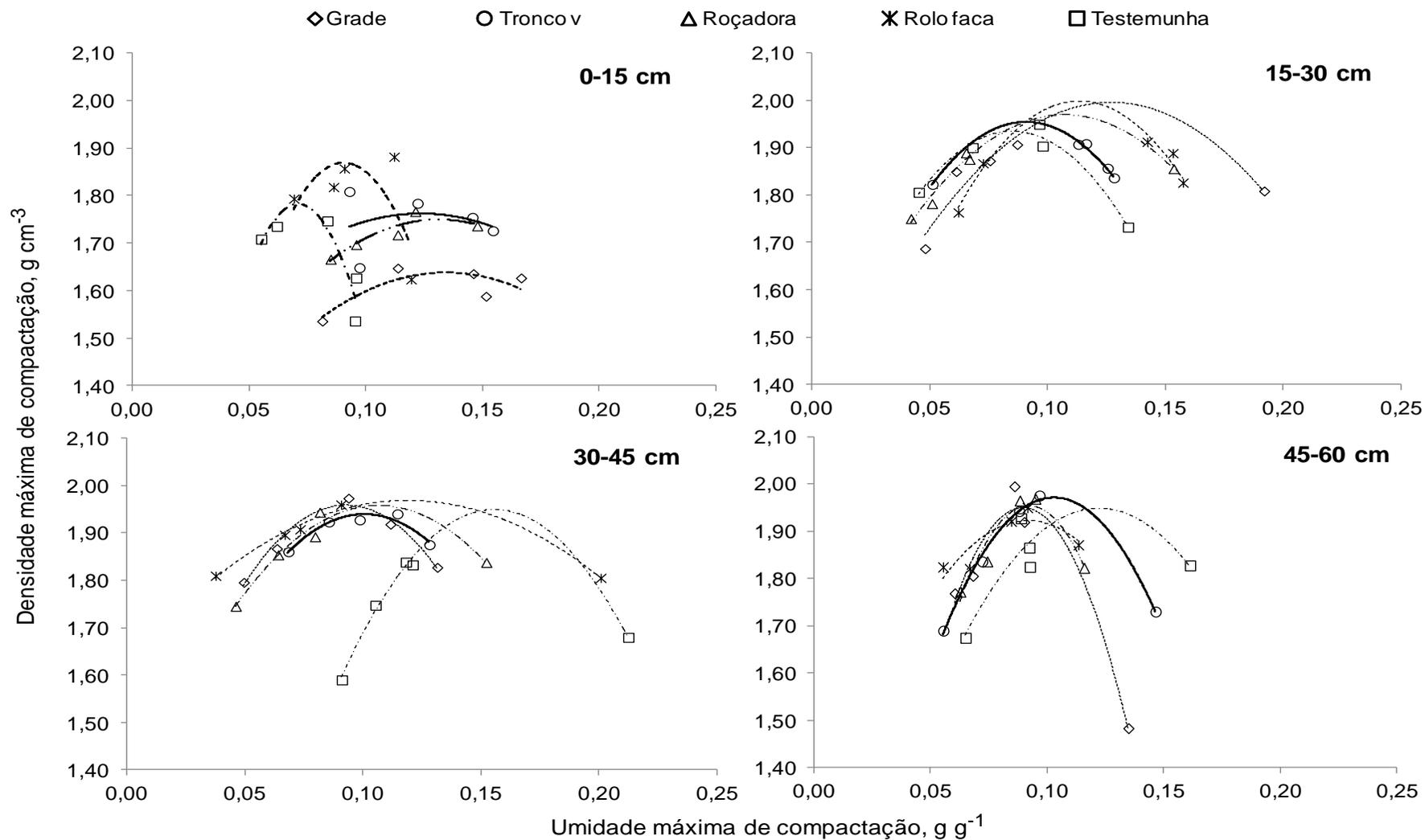


Figura 12. Curvas de densidade máxima de compactação do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico (PVAd) em função dos tratamentos e profundidades de amostragem.

Para um solo argiloso (660 g kg<sup>-1</sup> argila), Klein (2008) encontrou  $D_{m\acute{a}x}$  de 1,55 Mg m<sup>-3</sup>, enquanto que, num solo arenoso (320 g kg<sup>-1</sup> argila), de 1,77 Mg m<sup>-3</sup>, comprovando o efeito da textura na  $D_{m\acute{a}x}$ .

Ao analisar os resultados de densidade relativa ( $Dr$ ), demonstrado na Tabela 7, que é a relação entre os valores de  $D_{m\acute{a}x}$  realizados pelo ensaio de Próctor com a densidade do solo obtidas nos locais de amostragens (LP, R e ER) pode-se observar que os locais de tráfego de rodado dos tratores apresentaram maiores valores em relação às áreas não trafegadas.

Klein e Libardi (2002) afirmam que essa variação na densidade é atribuída ao tráfego dos rodados das máquinas e ou implementos sobre a superfície do solo, agravado em condições impróprias de umidade.

Os elevados valores de  $Dr$  encontrados nesse estudo, principalmente na entrelinha manejada com o uso da grade, devem-se ao fato dessa entrelinha de plantio sofrer mobilização do solo que torna a camada superficial (0-15m) mais susceptível à compactação, já que aumentou a densidade do solo (Tabela 2), resultando em uma densidade relativa de 0,91.

Nesse aspecto, tanto Carter (1990) como Lipiec et al. (1991) constataram que valores de densidade relativa superiores à faixa de 0,86 a 0,90 (dependendo da textura do solo) provocam redução importante no volume de macroporos, alterando a dinâmica normal da água e ar ao longo do perfil do solo.

Reichert et al. (2007), analisando um grupo de dados de densidade relativa do solo, constataram que a  $Dr$  na qual o sistema radicular das plantas teve o seu crescimento alterado situou-se entre 0,90 e 0,95. Håkansson (1990) realizou cerca de 100 experimentos de campo com cevada, em solos com diferentes texturas e conteúdos de matéria orgânica, e verificou que a  $D_{sr}$  ótima esteve associada a valores inferiores a 0,87.

Apesar de não haver estudos referentes aos valores de densidade relativa para a cultura do citros, tomando como base o valor de  $Dr$  ótima de 0,75 proposta por Klein et al., (2011) para solos de textura arenosa (270 g kg<sup>-1</sup>), podemos afirmar que os resultados obtidos nesse estudo são considerados prejudiciais ao desenvolvimento das bergamoteiras na área experimental.

Tabela 7. Funções quadráticas das curvas de densidade máxima de compactação do solo.

| Tratamento   | Funções, $D_s \times U_g$                 | $R^2$ | $U_{g\text{máx}}, \text{g g}^{-1}$ | $D_{s\text{máx}}, \text{g cm}^{-3}$ | $Dr^1$ | $Dr^2$ | $Dr^3$ |
|--------------|---|-------|------------------------------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|
| 0,0-15,0 cm  |   |       |                                    |                                     |        |        |        |
| Grade        | $D_s = -12,303U_g^2 + 3,8143U_g + 1,3268$ | 0,79  | 0,13                               | 1,69                                | 0,87   | 0,91   | 0,83   |
| Tronco V     | $D_s = -26,303U_g^2 + 7,5249U_g + 1,0942$ | 0,91  | 0,13                               | 1,78                                | 0,68   | 0,73   | 0,67   |
| Roçadora     | $D_s = -40,11U_g^2 + 10,524U_g + 1,0592$  | 0,85  | 0,13                               | 1,75                                | 0,81   | 0,88   | 0,76   |
| Rolo faca    | $D_s = -210,97U_g^2 + 38,161U_g + 0,1434$ | 0,52  | 0,09                               | 1,82                                | 0,63   | 0,67   | 0,61   |
| Testemunha   | $D_s = -329,64U_g^2 + 46,768U_g + 0,123$  | 0,82  | 0,07                               | 1,78                                |        | 0,78   |        |
| 15,0-30,0 cm |   |       |                                    |                                     |        |        |        |
| Grade        | $D_s = -44,856U_g^2 + 11,383U_g + 1,2736$ | 0,88  | 0,13                               | 2                                   | 0,71   | 0,77   | 0,66   |
| Tronco V     | $D_s = -26,303U_g^2 + 7,5249U_g + 1,0942$ | 0,91  | 0,09                               | 1,95                                | 0,62   | 0,66   | 0,61   |
| Roçadora     | $D_s = -53,428U_g^2 + 11,452U_g + 1,3557$ | 0,96  | 0,11                               | 1,97                                | 0,75   | 0,78   | 0,72   |
| Rolo faca    | $D_s = -85,063U_g^2 + 19,294U_g + 0,9044$ | 0,92  | 0,11                               | 2,1                                 | 0,55   | 0,59   | 0,53   |
| Testemunha   | $D_s = -83,709U_g^2 + 14,215U_g + 1,3311$ | 0,96  | 0,09                               | 1,94                                |        | 0,7    |        |
| 30,0-45,0 cm |   |       |                                    |                                     |        |        |        |
| Grade        | $D_s = -89,85U_g^2 + 16,67U_g + 1,1856$   | 0,97  | 0,09                               | 1,96                                | 0,72   | 0,79   | 0,68   |
| Tronco V     | $D_s = -26,303U_g^2 + 7,5249U_g + 1,0942$ | 0,91  | 0,1                                | 1,94                                | 0,63   | 0,67   | 0,61   |
| Roçadora     | $D_s = -57,944U_g^2 + 12,343U_g + 1,3006$ | 0,95  | 0,11                               | 1,96                                | 0,75   | 0,78   | 0,72   |
| Rolo faca    | $D_s = -24,506U_g^2 + 5,8312U_g + 1,6217$ | 0,99  | 0,12                               | 1,97                                | 0,59   | 0,62   | 0,56   |
| Testemunha   | $D_s = -84,193U_g^2 + 26,199U_g + 0,0889$ | 0,99  | 0,16                               | 1,95                                |        | 0,7    |        |
| 45,0-60,0 cm |   |       |                                    |                                     |        |        |        |
| Grade        | $D_s = -230,67U_g^2 + 41,39U_g + 0,928$   | 0,97  | 0,09                               | 1,95                                | 0,72   | 0,79   | 0,68   |
| Tronco V     | $D_s = -26,303U_g^2 + 7,5249U_g + 1,0942$ | 0,91  | 0,1                                | 1,97                                | 0,62   | 0,66   | 0,6    |

|            |   |      |      |      |      |      |      |
|------------|---|------|------|------|------|------|------|
| Roçadora   | $D_s = -228,8U_g^2 + 42,23U_g + 0,0048$   | 0,91 | 0,09 | 1,95 | 0,75 | 0,79 | 0,72 |
| Rolo faca  | $D_s = -91,898U_g^2 + 16,856U_g + 1,1493$ | 0,75 | 0,15 | 1,91 | 0,61 | 0,64 | 0,58 |
| Testemunha | $D_s = -81,103U_g^2 + 19,833U_g + 0,736$  | 0,78 | 0,12 | 1,95 |      | 0,7  |      |

$U_{g\text{máx}}$  (umidade máxima de compactação do solo);  $D_{s\text{máx}}$  (densidade máxima de compactação do solo);  $Dr^1$  (densidade relativa obtida pela relação entre a densidade do solo na linha de projeção da copa - LPC e a densidade máxima de compactação do solo);  $Dr^2$  (densidade relativa obtida pela relação entre a densidade do solo na linha de tráfego do rodado esquerdo do trator - R e a densidade máxima de compactação do solo);  $Dr^3$  (densidade relativa obtida pela relação entre a densidade do solo na entrelinha de tráfego dos rodados do trator - ER e a densidade máxima de compactação do solo).

### 3.3.2.4. Infiltração de água no solo

A taxa de infiltração ( $T_i$ ) de água nas entrelinhas do pomar foi afetada pela compactação resultante com uso de máquinas nos pontos de amostragens (LPC, ER e R), em todos os tratamentos. Como pode ser visto nas Figuras 13 e 14, apenas a linha de plantio apresentou maiores valores de  $T_i$ .

Esse resultado é explicado pelo fato desse local sofrer menos efeito do uso de máquinas nas entrelinhas do pomar, apresentando maior valor de macroporos (Tabela 4) em relação os pontos ER e R.

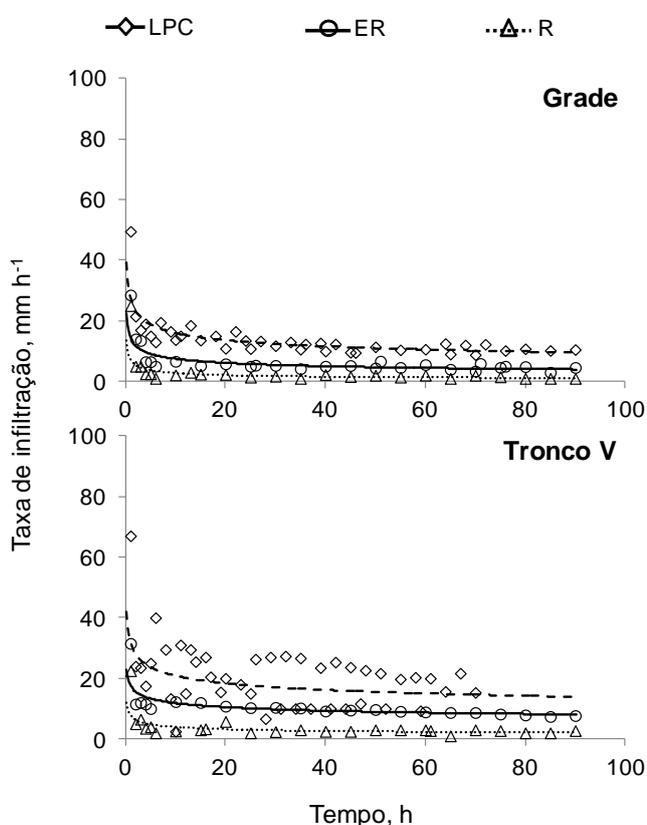


Figura 13. Taxa de infiltração em função do tempo nos pontos de amostragens LPC (linha de projeção da copa), ER (entre rodado) e R (rodado esquerdo) das entrelinhas de manejo do solo com uso de grade e tronco V.

Para Panachuki et al. (2006), o preparo mecânico do solo causa alterações na estrutura, reduzindo do volume de macroporos, promovendo o aumento da densidade e diminuição da taxa de infiltração de água no solo.

A taxa de infiltração de água no solo em todos os locais avaliados (tratamentos principais e testemunha) apresentou valores iniciais altos que foram decrescendo e se estabilizando e atingindo uma taxa constante de infiltração aos 90 minutos de ensaio.

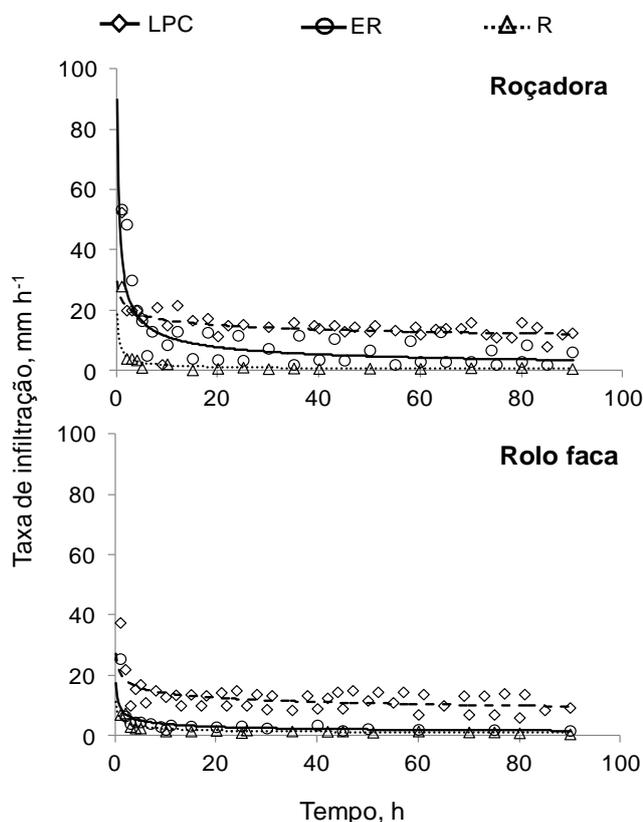


Figura 14. Taxa de infiltração de água no solo em função do tempo, nos locais de amostragens LPC (linha de projeção da copa), ER (entre rodado) e R (rodado esquerdo) das entrelinhas de manejo do solo com uso de roçadora e rolo faca.

Em todos os tratamentos a  $T_i$  apresentou maiores valores na LPC, em relação ao ER e R, comprovando a melhor organização estrutural do solo nesse local, que por apresentar melhores condições ao movimento da água no perfil do solo, proporcionou maiores atividades das radículas nesse local.

A área mantida com a vegetação nativa da região (Figura 15) apresentou  $T_i$  3,05 mm h<sup>-1</sup>, valor considerado baixo, mesmo essa área não sofrer interferência com o uso de máquinas e implementos.

Esses resultados são semelhantes ao observados por Abrão et al. (1979), que utilizando a metodologia dos cilindros concêntricos, observaram

taxas de infiltração maiores nos sistemas com manejo do solo em relação a sistemas com menor ou nenhuma mobilização. Já Alves Sobrinho et al. (2003), utilizando chuva simulada, encontraram maior taxa de infiltração final para o sistema plantio direto, em comparação ao preparo convencional.

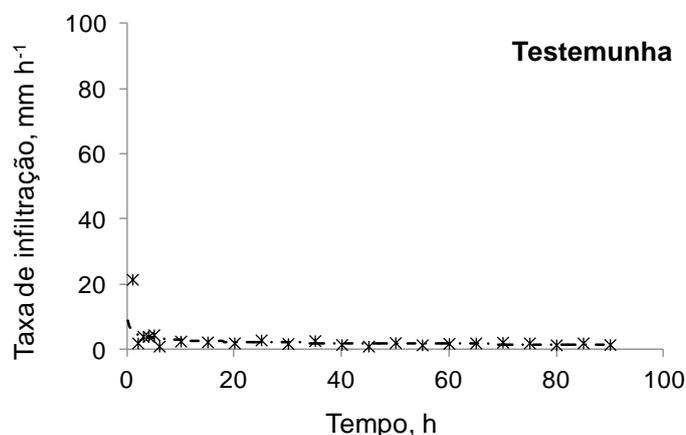


Figura 15. Taxa de infiltração ( $T_i$ ) em função do tempo na área Testemunha.

Segundo Levien et al. (2000), a taxa de infiltração de água no solo determinada pelo método dos cilindros concêntricos é superestimada em cerca de 5 a 10 vezes em relação à que ocorre sob chuva, em decorrência da carga hidráulica propiciada pela lâmina de água sobre o solo e da não formação de selamento superficial que ocorre durante a chuva, em especial em solo descoberto.

Esse resultado sugere também que o solo, por apresentar alto teor das frações de areia média e fina (Tabela 3), dificulta o movimento da água no solo. Para Bernardo et al. (1995), a variação textural do perfil do solo tem grande influência na velocidade de infiltração. O mesmo autor aponta valores de  $T_i$  entre 25 a 250 mm h<sup>-1</sup> para solos de textura arenosa; 13 a 76 mm h<sup>-1</sup> para solos de textura franco-arenosa; 5 a 20 mm h<sup>-1</sup> para solos de textura franco-arenosa-argilosa e 2,5 a 15 mm h<sup>-1</sup> para solos de textura franco-argilosa.

Do ponto de vista físico, Bernardo et al. (1995) afirmam ainda que a estrutura do solo apresenta maior influência na taxa de infiltração de água no solo em relação à textura, pois os solos com estrutura estável pode apresentar maiores taxas de infiltração que solos com estrutura instável, em vista da maior estabilidade de agregados e de agentes cimentantes, como matéria orgânica e óxidos de Fe e Al.

Os maiores valores de  $Ti$  nesse estudo foram observados no tratamento tronco V, em relação aos demais tratamentos. Esse resultado é contrário ao obtido por Pietrzacka (2009) no mesmo pomar, em que os maiores valores foram observados no manejo realizado com o uso da grade de disco, devido à mobilização do solo recente efetuada nas entrelinhas.

Brandão et al. (2006) explica que quando se mobiliza o solo, em geral, a capacidade de infiltração de água medida com cilindros concêntricos tende a aumentar em razão da quebra da estrutura da camada superficial. Porém as condições de preparo e manejo inadequadas podem resultar em infiltrações de água no solo inferiores as áreas sem preparo. Nesse estudo isso foi comprovado ao comparar os valores da  $Ti$  na linha de tráfego do trator em relação à  $Ti$  da área de vegetação nativa.

Ao estimar a infiltração acumulada em determinado período de tempo, os dados para cada sistema de manejo, foram ajustados à equação de Kostiakov (Libardi, 2001). As curvas de infiltração representadas (Figuras 17 a 19) e as equações de taxa de infiltração de água no solo (Tabela 7) são de grande valor prático, pois nos fornecem informações sobre a capacidade do solo de absorver água. A equação de Kostiakov, embora empírica, é bastante útil em aplicações de irrigação, pela sua simplicidade e pelo fato de, para curtos intervalos de tempo (até 105 s), ajustar-se razoavelmente bem para uma grande quantidade de solos (Libardi, 2001).

Tabela 7. Velocidade de infiltração básica ( $Ti$ ), em  $\text{mm h}^{-1}$  em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico (PVAd) em pomar de citros com diferentes formas manejos de invasoras nas entrelinhas de plantio

| Locais   | Equação                 | $R^2$ | TI ( $\text{mm h}^{-1}$ ) |
|----------|-------------------------|-------|---------------------------|
| Grade    |                         |       |                           |
| LPC      | $Ti = 2,7388t^{-0,234}$ | 0,72  | 13,9                      |
| ER       | $Ti = 1,4487t^{-0,29}$  | 0,67  | 6,6                       |
| R        | $Ti = 0,7104t^{-0,415}$ | 0,59  | 2,99                      |
| Tronco V |                         |       |                           |
| LPC      | $Ti = 31,704t^{-0,183}$ | 0,12  | 20,56                     |
| ER       | $Ti = 17,584t^{-0,174}$ | 0,65  | 10,8                      |
| R        | $Ti = 7,6631t^{-0,293}$ | 0,48  | 3,83                      |
| Roçadora |                         |       |                           |

|            |                          |      |       |
|------------|--------------------------|------|-------|
| LPC        | $Ti = 23,376t^{-0,147}$  | 0,16 | 15,52 |
| ER         | $Ti = 39,085t^{-0,543}$  | 0,54 | 10,63 |
| R          | $Ti = 7,1492t^{-0,618}$  | 0,6  | 2,98  |
| Rolo faca  |                          |      |       |
| LPC        | $Ti = 20,768t^{-0,169}$  | 0,33 | 12,62 |
| ER         | $Ti = 9,4728t^{-0,398}$  | 0,7  | 4,34  |
| R          | $Ti = 5,7942t^{-0,415}$  | 0,8  | 2,15  |
| Testemunha |                          |      |       |
|            | $Ti = 5,6722t^{-0,2999}$ | 0,42 | 3,05  |

Nota: LPC = linha de projeção da copa; ER = entre rodados; R = rodado esquerdo do trator.

Os dados da Tabela 7 mostram as equações ajustadas para cada  $Ti$  em função do tempo nas diferentes entrelinhas de manejo, bem como o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) do ajuste e a taxa de infiltração de água no solo após 90 min. Os coeficientes de determinação foram baixos, mostrando que ocorre uma relação inversa entre a taxa de infiltração em função do tempo, que é estabilizada devido à saturação dos poros do solo.

Após a saturação, pode ocorrer erosão superficial e o transporte de partículas e nutrientes do solo, que no Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico (PVAd), é favorecido pela grande presença de partículas de areia. Por isso, a necessidade da manutenção controlada da vegetação espontânea nas entrelinhas do pomar, visando evitar perdas de solo por erosão e perdas na produtividade das bergamoteiras.

### 3.3.2.5. Resistência mecânica do solo à penetração

O teor de água do solo no momento da avaliação da resistência mecânica do solo à penetração ( $RP$ ) variou entre 0,088 e 0,122 g g<sup>-1</sup> em todos os tratamentos, tendo os maiores valores de  $RP$  do solo obtidos em pontos de menor umidade do solo (Tabela 8).

De acordo com Cunha et al. (2002), em solos cujas propriedades mecânicas dependem essencialmente das forças de coesão, a  $RP$  permanece praticamente constante ao longo da profundidade. Os mesmos autores afirmam que com o aumento do teor de água, ocorre um decréscimo nas forças de

coesão entre as partículas do solo e o atrito interno, promovendo a diminuição da *RP*.

Klein et al. (1998), Torres & Saraiva (1999) e Pereira et al. (2002), afirmam que em condições de campo, o teor de água dentro do intervalo plástico é mantida apenas por um curto período de tempo, de modo que a resistência aumenta com a secagem do solo, e em períodos de déficit hídrico poderão ocorrer impedimentos à penetração de raízes.

Tabela 8. Teor de umidade do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico (PVAd) em julho/2012 em pomar de citros

| Tratamento | Profundidade, cm                       |       |       |       |
|------------|--|-------|-------|-------|
|            | 0-15                                   | 15-30 | 30-45 | 45-60 |
|            | Umidade gravimétrica g g <sup>-1</sup> |       |       |       |
| Grade      | 0,088                                  | 0,092 | 0,113 | 0,131 |
| Tronco V   | 0,09                                   | 0,091 | 0,114 | 0,122 |
| Roçadora   | 0,102                                  | 0,102 | 0,112 | 0,121 |
| Rolo faca  | 0,093                                  | 0,104 | 0,121 | 0,115 |
| Testemunha | 0,108                                  | 0,09  | 0,096 | 0,114 |

Devido à diversidade na estrutura do solo, ocorreu uma acentuada heterogeneidade na *RP* nos três pontos de amostragens, principalmente aos 15,0-30,0 cm de profundidade, onde foram detectados os maiores picos de *RP*, principalmente na entrelinha de plantio manejada com a grade (Figura 16), apresentando valores de *RP* próximos a 3.000 kPa.

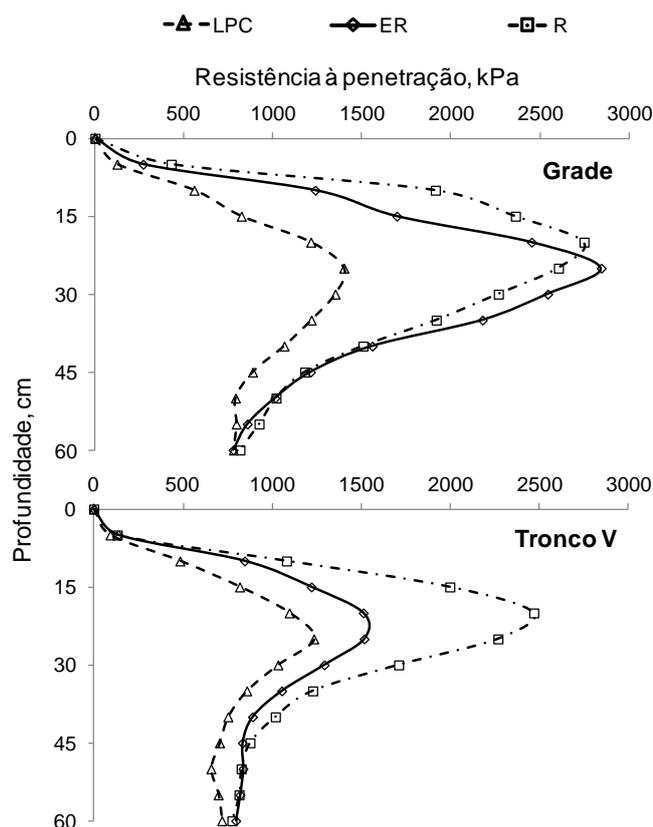


Figura 16. Curvas de resistência mecânica do solo à penetração nos locais de amostragens LPC (linha de projeção da copa), ER (entre rodado) e R (rodado esquerdo) das entrelinhas de manejo do solo com uso de grade e tronco V.

Os resultados encontrados no tratamento da grade refletem as alterações sofridas na densidade desse solo, que ao ser manejado tornou-se mais vulnerável à compactação em locais de tráfego de rodados.

O aumento da *RP* observado, em subsuperfície, nos locais de entre rodados do trator nos tratamentos, observados nas Figuras 16 e 17 pode ser atribuído à compactação gerada pelo tráfego ao solo. Trein (1995) explica que apesar de as tensões se propagarem quase que em sua totalidade de forma vertical no solo, parte dessas tensões também se propaga lateralmente.

Os tratamentos realizados com o uso do tronco V (Figura 16) da roçadora e do rolo faca (Figura 17) também apresentaram valores de *RP*, considerados altos.

A potencialização da intensidade de tráfego expresso no aumento da resistência à penetração também foi encontrada por Balbuena et al. (2003) em solo de textura franco argilosa sob semeadura direta, quando houve aumento

da intensidade de tráfego de rodados do trator. O solo sem ação do tráfego apresentou RP de 1.300 kPa, enquanto que o que teve 12 passadas com um trator de 3 Mg de peso total apresentou valor de 1.500 kPa, sendo que, em ambos os casos, o solo se encontrava com a consistência seca.

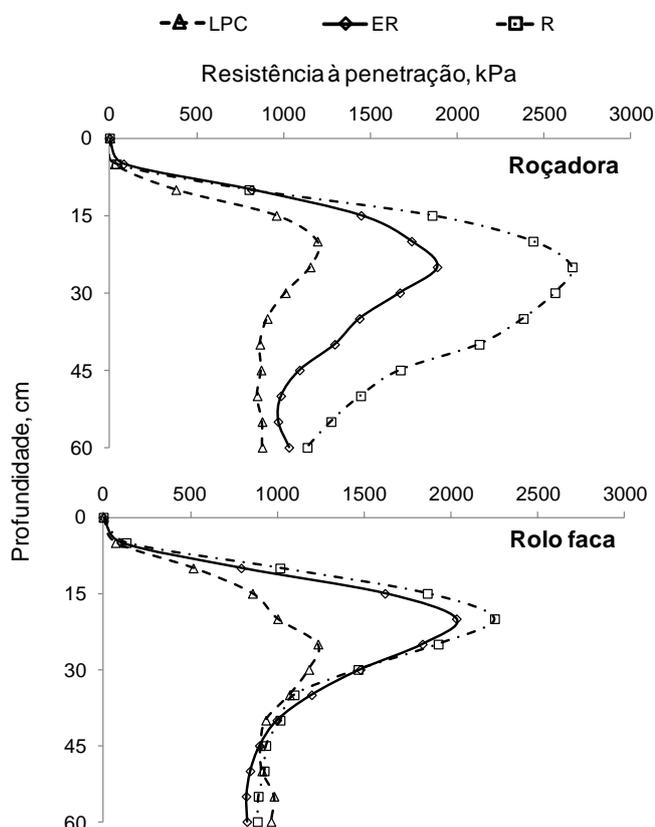


Figura 17. Curvas de resistência mecânica do solo à penetração nos pontos de amostragens LPC (linha de plantio), ER (entre rodado) e R (rodado esquerdo) das entrelinhas de manejo do solo com uso de roçadora e rolo faca.

Esses resultados são corroborados por Botta et al. (2002b), que concluíram que a compactação do solo nas áreas de entrelinha de rodados, em subsuperfície é induzida pela repetição do número de passadas dos rodados do trator e ou implemento no mesmo local.

Os impedimentos físicos do solo devido à compactação, refletidos na RP do solo, podem fazer com que o sistema radicular das plantas cítricas explore volumes reduzidos de solo, concentrando seu desenvolvimento até os 15 cm de profundidades e na projeção da copa, região que apresentou menores valores de RP em todos os tratamentos.

Souza et al. (2004b) afirmam que RP mantém o sistema radicular dos citros com aproximadamente 60% de seu volume na profundidade de 0-20 cm. Os valores de RP obtidos nos tratamentos realizados com uso de roçadora e o rolo faca devem-se, além do teor de água no solo no momento da avaliação, também aos resultados obtidos na pela textura (Tabela 3) e densidade do solo (Tabela 5) e corroboram com as afirmações de Canarache (1990).

No local do tratamento testemunha (Figura 18), os valores de RP atingem níveis considerados críticos ao crescimento das raízes ( $RP \geq 2.000$  kPa) somente para conteúdos de água muito baixos (Tabela 8) e em valores de Ds elevados (Tabela 5). Houve uma semelhança de valores obtidos na linha de manejo com uso da grade, atribuindo a isso a algum fator impeditivo no perfil do solo da área de testemunha.

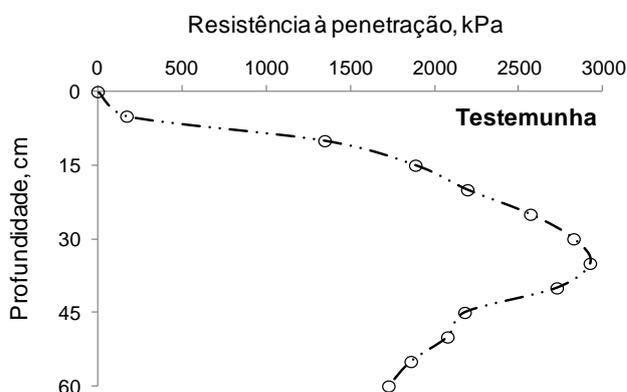


Figura 18. Resistência à penetração do solo na área de Testemunha.

Para Tormena et al. (1998) valores críticos de RP variam de 1.500 a 4.000 kPa sendo, de modo geral, o valor de 2.000 kPa aceito como impeditivo ao crescimento radicular. Beutler et al. (2006), encontraram valores de 2.000 a 3.000 kPa em estudos com soja, como sendo limitantes à sua produtividade.

### 3.4. Conclusões

O tráfego de máquinas ao longo dos anos no pomar orgânico contribuiu para alterações negativas nos atributos físicos do solo, com redução na porosidade e aumento na densidade do solo, principalmente na linha de tráfego dos rodados do trator (R) nas camadas subsuperficiais do solo.

Essas alterações interferiram na resistência mecânica do solo à penetração, que apresentou maiores valores na área de R, seguido do ER e LPC.

Houve uma variação na taxa constante de infiltração, em ordem decrescente nos locais de amostragem de LPC, ER e R.

O maior teor de matéria orgânica nas camadas superficiais do solo e a presença da vegetação espontânea nas entrelinhas do pomar minimizaram o efeito do uso de máquinas na camada superficial do solo (0-15 cm) nas entrelinhas do pomar em todos os tratamentos.

A entrelinha de plantio manejada com uso da grade de discos e roçadora mostraram feitos negativos nos atributos físicos do solo em relação aos tratamentos tronco V e rolo faca, podendo interferir na produção das tangerineiras.

## **4. ESTUDO II: COBERTURA VEGETAL DAS ENTRELINHAS E DESENVOLVIMENTO RADICULAR DE BERGAMOTEIRAS SUBMETIDAS A DIFERENTES TIPOS DE MANEJO DO SOLO**

### **4.1. Introdução**

As raízes das plantas têm por funções principais a realizam a síntese de compostos, como hormônios e substâncias alelopáticas, podem servir como órgãos de armazenamento, ancoragem das plantas ao solo e são responsáveis pela absorção da água e de nutrientes do solo (Nultsch, 2000).

Diante disto, a deficiência no controle das plantas de cobertura presentes nas entrelinhas dos pomares de bergamoteiras, torna-se um agravante, pois, de acordo com Ronchi et al. (2003) a maioria das vezes o suprimento dos recursos existentes no ambiente é limitado, estabelecendo a competição entre as plantas cultiváveis e as espécies espontâneas devido a grande demanda energética das espécies.

Para o manejo da comunidade infestante é fundamental o levantamento fitossociológico em pomares, pois a partir dele é possível definir o que, como e quando será feito no que se refere ao manejo das plantas espontâneas, pois as condições de infestação são variadas e as possibilidades de manejo, diversas (Oliveira & Freitas, 2008).

Além do uso de manejo da cobertura vegetal, a escolha de porta-enxertos com sistema radicular que explore maior volume de solo em profundidade pode reduzir a competição entre as bergamoteiras e as plantas espontâneas nas entrelinhas, favorecendo a produtividade do pomar.

Zaccheo et al. (2012) aponta que como características avaliadas com maior frequência nos porta-enxertos a influência sobre o crescimento vegetativo, a produtividade e a qualidade dos frutos das variedades-copa. O mesmo autor ainda salienta que existem poucos trabalhos a respeito do desenvolvimento e distribuição do sistema radicular de plantas cítricas enxertadas sobre diferentes porta-enxertos.

Quanto ao vigor, são bem conhecidas as vantagens do plantio de árvores frutíferas de pequeno porte para facilitar a colheita e alguns tratos

culturais. Daí a vantagem do uso de porta-enxertos menos vigorosos, como o *P. trifoliata* (Koller et al., 1985). Além deste aspecto, torna-se muito importante a busca de porta-enxertos que apresentem alta eficiência produtiva em relação à área ocupada pela copa da planta (Koller et al., 1985; Roberto et al., 1999).

No Brasil, foram realizadas pesquisas sobre o sistema radicular de porta-enxertos cítrico, para as condições de São Paulo (Vieira; Gomes, 1999), Rio de Janeiro (Pace; Araújo, 1986) e Sergipe (Cintra; Libardi; Jorge, 1999b), na tentativa de se encontrar materiais adaptados aos diferentes ecossistemas. Figueiredo et al. (1973), em estudos com 10 porta enxertos em pomares de tangerineiras Poncã realizados no estado de São Paulo, observaram que, até o sétimo ano após o plantio, o desenvolvimento das plantas foi maior sobre citrange 'Troyer' do que sobre *Poncirus trifoliata*.

No Rio Grande do Sul, os pomares comerciais são predominantemente formados por mudas enxertadas sobre *Poncirus trifoliata* (Schäfer, 2000; Schäfer & Dornelles, 2000) que, em geral, levam 36 meses para serem produzidas (Souza et al., 1995), sendo deficiente em estudos referentes ao desenvolvimento das plantas em função do porta enxerto utilizado na região.

Para Coelho et al. (2002) e Boni et al. (2008), avaliações com enfoque no desenvolvimento radicular se fazem necessários pela importância das raízes na sustentação da planta e na absorção de água e nutrientes e também pela sua importância em relação à determinação da localização de adubos e irrigação localizada.

Para estudos de arquitetura geral e de extensão do sistema radicular, tem sido utilizado os métodos da trincheira, do trado coletor, além da escavação por meio de agulhas, ar ou água pressurizada, para expor o sistema radicular inteiro da planta e obter informações por meio da extração de raízes sobre lâminas plásticas, fotografias, montagens (Taylor, 1986), massa de matéria seca e volume de raízes finas e grossas por monolito de 0,1 m<sup>3</sup> (Fracaro & Pereira, 2004).

Entretanto, como desvantagens dos métodos de análise de raízes, Taylor (1986) cita a perda de muitas raízes pequenas durante a lavagem em laboratório ou na escavação a campo. Também destaca, como dificuldade ao

estudo de raízes, o longo período exigido para sua realização e ao fato de ser um trabalho muito desgastante.

Os principais fatores que têm sido identificados como determinantes da distribuição e da quantidade das raízes das plantas cítricas são as características químicas e físicas do solo (Avilan et al., 1986), tipo de muda (Davoglio Júnior et al., 2006), tratos culturais e manejo do solo (Neves et al., 1998), potencial genético, tanto da copa quanto do porta-enxerto (Montenegro, 1960), a idade da planta e suas condições fitossanitárias (Castle, 1980).

O crescimento das raízes de plantas cítricas pode atingir de 1,2 a 1,5 m de profundidade em solos sem impedimentos físicos e dotados de aporte químico e biológico satisfatório ao desenvolvimento radicular. Porém, Moreira (1983), avaliar pomar de laranja 'Pêra' enxertada em limoeiro 'Cravo', em um pomar no interior de São Paulo, cultivado em um solo de transição entre Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Roxo, verificou que 80 % das raízes foram encontradas entre as profundidades de 0,60 a 0,90 m.

Neves et al. (1998), em um pomar de bergamoteira 'Poncã' enxertada em limoeiro 'Cravo', na cidade de Londrina-PR, encontraram a 80% das raízes entre as profundidades de 0,50 a 0,75 m.

Machado & Coelho (2000) em estudos realizados em um pomar de limeira ácida 'Tahiti', cultivado em Terra Roxa Estruturada, em Piracicaba-SP, verificaram que 80% das raízes do porta enxerto de limoeiro 'Cravo' em encontravam-se até 0,40 m de profundidade.

Em relação à distância efetiva, até onde se encontraram 80 % das raízes a partir do tronco, Neves et al. (1998); Neves et al. (2004) e Machado & Coelho (2000) relatam variações de 1,25 a 2,54 m na linha de plantio e de 3,12 a 3,48 m na entrelinha. Esses valores são considerados importantes no momento da tomada de decisão para a aplicação de adubos e irrigação, uma vez que a maior atividade das raízes das bergamoteiras está nos locais de sobreamento da copa da planta no solo, o que reduziria os custos de produção da cultura.

Uma característica importante na análise de raízes é em relação ao diâmetro das mesmas. Böhm (1979) aponta seis classes de diâmetros para o sistema radicular, em milímetros: diâmetro < 0,5 (raiz muito fina); 0,5-2,0 (raiz

fina); 2,0-5,0 (raiz pequena); 5,0-10,0 (raiz média); 10,0-20,0 (raiz grande); diâmetro > 20,0 (raiz muito grande).

Estas classes de diâmetro de raízes são responsáveis por atividades que vão desde a sustentação até a absorção de água e de nutrientes para as plantas. Com relação à funcionalidade das raízes de citros, Santos et al. (2005) observaram que as raízes das plantas cítricas com diâmetro entre 0,5 e 2 mm foram as que mais extraíram água do solo em solos de textura média.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do controle da vegetação espontânea e o desenvolvimento radicular do porta enxerto, em função dos tipos de manejo do solo nas entrelinhas do pomar. A hipótese do trabalho é que o uso de máquinas promove uma alteração na composição florística das espécies espontâneas comprometendo a absorção de água e nutrientes pelo sistema radicular do porta enxerto das bergamoteiras.

## 4.2. Material e métodos

### 4.3.2. Levantamento fitossociológico da vegetação espontânea

As informações referentes à localização, histórico da área e pontos de amostragens estão descritas nos itens do Estudo I.

A identificação da composição florística, presente nas entrelinhas do pomar, através de um estudo fitossociológico. Segundo Martins (1985) o estudo fitossociológico pode ser conceituado como “a ecologia da comunidade vegetal e envolve as inter-relações de espécies vegetais no espaço e, de certo modo, no tempo” e tem por finalidade identificar a diversidade de espécies e contribuir para recomendação de estratégias de manejo a serem empregadas nos sistemas agrícolas (ALBERTINO et al., 2004).

A realização desse estudo foi realizada em três períodos. O primeiro, no mês de fevereiro/2012 (época de seca na região), que correspondeu ao momento de manejo do pomar, visando apenas à identificação das plantas presentes em toda a área experimental do pomar de bergamoteiras.

Nos meses de maio/2012 e agosto/2012 (épocas de chuvas) foram realizados estudos por tratamento, com objetivo de identificar o efeito do manejo no controle das plantas espontâneas.

As amostragens foram realizadas com o uso de uma unidade amostral (um quadrado de ferro de 0,50 x 0,50m), que foi lançado duas vezes, aleatoriamente, em cada tratamento (Figura 19). Para cada amostragem, as plantas foram separadas e identificadas segundo o nome comum, espécie, família e classe, além da quantidade de cada uma.



Figura 19. Levantamento fitossociológico de plantas espontâneas presentes nas entrelinhas do pomar.

As plantas foram cortadas à altura do colo, separadas, identificadas e acondicionadas em sacolas de papel para posterior determinação da quantidade de matéria seca obtida após a secagem das plantas em estufa com circulação de ar forçada do Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia/UFRGS, a 60°C, por 72 horas (Pilleti, 2000) e também para a determinação dos índices fitossociológicos como:

- Densidades absolutas (DA<sub>t</sub>) = n° de indivíduos de um táxon/unidade de área;
- Frequência absoluta (FA) = (n° de parcelas em que determinado táxon ocorreu/n° total de parcelas amostradas) x 100;
- Densidade relativa (DR<sub>t</sub>) = (densidade absoluta de um determinado táxon/densidade absoluta de indivíduos de todos os táxons) x 100;
- Frequência relativa do táxon (FR<sub>t</sub>) = (somatório de todas as FA/frequência total) x 100;
- Dominância relativa (DoR<sub>t</sub>) = massa seca acumulada por uma determinada população/peso da matéria seca acumulada por toda a comunidade;
- Valor de importância (VI<sub>t</sub>) = DoR<sub>t</sub> + DR<sub>t</sub> + FR<sub>t</sub>;
- Importância Relativa (IR) = (valor de importância de uma determinada população/somatório dos IR de todas as espécies da comunidade) x 100.

Segundo Pitelli (2000) e Kuva et al. (2007), os índices fitossociológicos indicam as espécies mais importantes em termos de infestação das culturas, para as quais se devem determinar alternativas de manejo ou mesmo mudanças no sistema, a fim de viabilizar o seu controle (Marques et al., 2011).

#### 4.3.2. Avaliação do sistema radicular de *Poncirus trifoliata*

Foram realizadas amostragens de raízes, em uma planta por tratamento, nos locais de amostragens:

**LPC** - projeção da copa no sentido da entrelinha das plantas, a 50 cm do tronco;

**ER** - entrelinha de transito dos rodados do trator;

**R** - local de transito do rodado esquerdo do trator.

Para a realização das amostragens das raízes, foi utilizado um trado cilíndrico de aço de 1,20 m de comprimento por 0,10 m de diâmetro, que foi cravado verticalmente no solo com umidade próxima à capacidade de campo, com uso de uma marreta de 8 kg (Figura 20).



Figura 20. Amostragem do sistema radicular das bergamoteiras, variedade Montenegrina, pelo método do trado.

Foram coletadas amostras de raízes nas profundidades de 0-15, 15-30, 30-45, 45-60, 60-75 e 75-90 cm. Para a retirada das amostras do interior do cilindro, o mesmo era constituído por uma abertura lateral, aonde foi possível realizar a separação das amostras por profundidade, com o auxílio de uma faca.

No laboratório de Erosão da Faculdade de Agronomia da UFRGS as raízes foram lavadas com jato d'água para a separação do solo, utilizando peneiras de malha de 2,0 mm, colocadas em vasilhas plásticas de 100 e 250 mL com solução de álcool a 50 %, que foram identificados de acordo com os tratamentos, pontos de amostragem e profundidades de coleta e, em seguida, foram acondicionadas em geladeira para posterior avaliação.

Em seguida, as raízes foram distribuídas uniformemente com o auxílio de uma pinça em transparências utilizadas em retroprojetores, para serem digitalizadas por meio de um escaner de mesa (Figura 24).



Figura 21. Disposição de raízes de bergamoteiras para digitalização da imagem em scanner de mesa.

Essas imagens digitalizadas das raízes foram processadas no aplicativo de computador GSRoot (Guddanti & Chambers, 1993), que subdividiu o diâmetro das raízes em três classes:

$D_1 = 0,0$  a  $1,0$  mm;

$D_2 = 1,0 < D_2 < 2,0$ ;

$D_3 > 2$  mm,

Essas escalas de diâmetro foram utilizadas para determinar o somatório do comprimento das raízes, em cada classe diâmetro. O volume de solo foi calculado de acordo a equação:

$$V = (\pi R^2) \times H \quad \text{Eq. 6}$$

Onde:

V = volume de solo, em  $\text{cm}^3$ ;

R = raio do cilindro, cm;

H = espessura da camada amostrada, cm.

Os resultados das análises de diâmetro de raízes foram dados em comprimento de raízes cm por  $\text{cm}^{-3}$  de solo para cada classe de diâmetro estudado.

Também foi determinada a massa seca de raízes. Para isso as amostras foram colocadas em estufa a  $50^\circ\text{C}$  por 72 horas e com esse resultado foi possível determinar a densidade de raízes, em g por  $\text{cm}^{-3}$  de solo.

### 4.3. Resultados e discussão

#### 4.3.1. Levantamento fitossociológico da vegetação espontânea

O levantamento fitossociológico nas entrelinhas do pomar apresentou uma diversidade de espécies das classes *Liliopsida*<sup>6</sup> e *Magnoliopsida*<sup>7</sup> em todos os períodos de avaliação. Como demonstrado na Figura 14, de maneira geral, houve uma predominância da classe Magnoliopsida no período de seca, realizado no mês de fevereiro/2012.

Esse resultado é semelhante ao encontrado por Modesto Júnior e Mascarenhas (2001), em um levantamento de plantas infestantes no Nordeste Paraense, em que houve um grande percentual de ocorrência para as *Magnoliopsida* (em torno de 80%), enquanto que as *Liliopsidas* apresentaram apenas 20%. Em agroecossistemas de cupuaçuzeiro e pupunheira no Amazonas, Souza et al. (2003), também encontraram maior número de espécies pertencentes à classe das Magnoliopsida. O mesmo resultado foi verificado por Albertino et al. (2004), na cultura do guaraná no Estado do Amazonas, onde, ao avaliarem a composição florística das plantas infestantes, observaram uma maior ocorrência de espécies da classe *Magnoliopsida*.

De acordo com Nee (1995), o grande número de famílias de Magnoliopsida é atribuído à diversidade de plantas existentes desta classe. Estudos realizados por Deuber (1992) apontam mais de 40 famílias de importância econômica no Brasil, atribuindo a isso à predominância de Magnoliopsida sobre Liliopsida.

Sousa (1995) menciona que as famílias de plantas espontâneas da classe *Magnoliopsida* possuem muitas espécies agressivas e de difícil controle, o que prejudica a produção das culturas cítricas ao competirem por água e nutrientes.

---

<sup>(6)</sup> Monocotiledônea, pela classificação antiga.

<sup>(7)</sup> Dicotiledônea, pela classificação antiga.

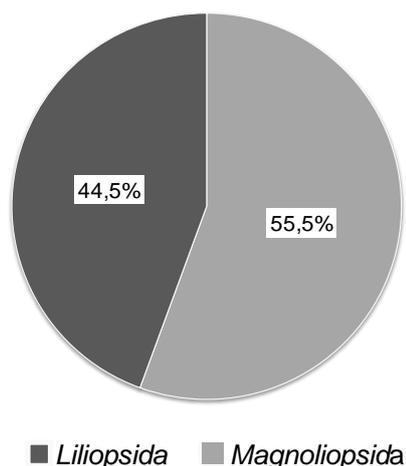


Figura 22. Importância relativa (%) das classes de plantas espontâneas identificadas no levantamento fitossociológico total da área realizado na época seca na região (fevereiro de 2012).

Nos estudos realizados no período chuvoso, maio/2012 a agosto/2012, ocorreu uma maior presença de espécies de *Liliopsida* em relação à *Magnoliopsida*, principalmente na entrelinha de plantio manejada com o uso da grade de discos e rolo faca (Figura 15), que foi favorecida pelo início do período das águas na região. Ball et al. (1992) afirma que a mobilização do solo, provocada por esse tipo de implemento promove o corte das partes vegetativas dessas espécies, favorecendo à propagação.

Em relação às entrelinhas de plantio manejadas com o uso do tronco V e roçadora, permaneceu a predominância de espécies *Magnoliopsida*. Entretanto, no levantamento realizado em agosto/2012, a entrelinha manejada com o uso do tronco V apresentou maior presença de espécies *Liliopsida* em relação à *Magnoliopsida*, isso pode ser atribuído à agressividade às *Liliopsidas*, que deve ter sido mais significativa nessa entrelinha, em relação às demais espécies. Os valores de *Magnoliopsidas* encontrados na entrelinha manejada com o uso da roçadora podem ser atribuídos à presença de sementes das espécies que cobriam o solo. Caetano (2000) afirma que após o corte e manutenção da vegetação, se existem sementes, estas podem germinar.

Nas demais entrelinhas, nos dois períodos, a maior presença de *Magnoliopsidas* é atribuída à maior número de espécies presentes nessa família em relação à *Liliopsida*. Além disso, o efeito alelopático entre as espécies pode ter contribuído para a variação da presença das infestantes nas

entrelinhas do pomar, que além de promover alteração na comunidade espontânea promove atrelada a outros fatores bióticos e abióticos, alterações na produtividade das plantas cítricas (Pitelli, 1985).

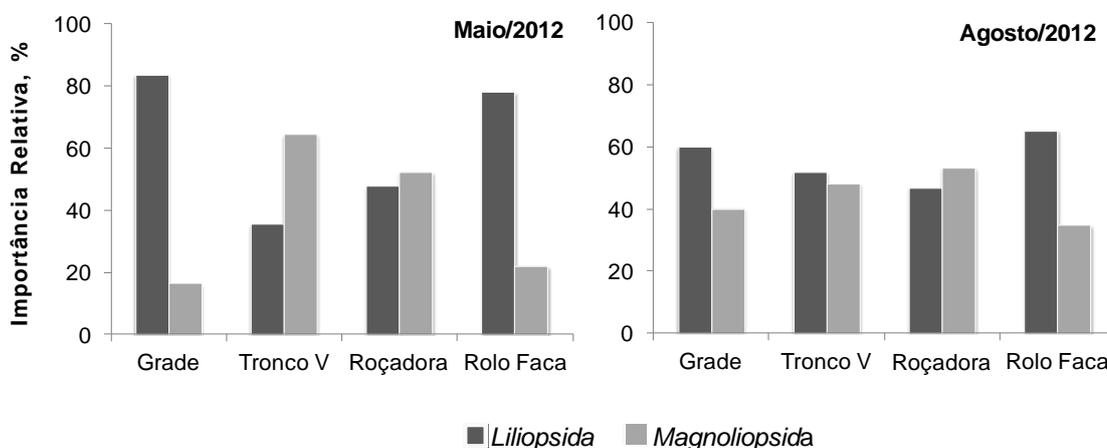


Figura 23. Importância relativa (%) das classes de plantas espontâneas identificadas no levantamento fitossociológico total da área realizado nas épocas chuvosas da região (maio e agosto de 2012).

Nos três períodos de avaliações foram identificadas 22 espécies distribuídas em 14 famílias, com destaque para as *Asteraceae* e *Poaceae*, sendo identificadas quatro espécies de cada. Foram identificadas duas espécies das famílias *Cyperaceae* e *Malvaceae*. As famílias *Amaranthaceae*, *Brassicaceae*, *Commelinaceae*, *Convolvulaceae*, *Euphorbiaceae*, *Fabaceae*, *Oxalidaceae*, *Polygonaceae*, *Portulacaceae*, *Rubiaceae* tiveram apenas uma espécie identificada (Tabela 1).

A grande presença das espécies pertencentes à *Asteraceae* resulta em uma preocupação aos produtores de citros, pois as plantas são de difícil controle, sendo que algumas espécies são as mais comuns em diversos ambientes do Brasil e são encontradas em vários tipos de ambientes, sejam eles de interesse humano ou não. Segundo Lorenzi (2000), as espécies de *Asteraceae* estão entre principais plantas espontâneas que surgem no campo após o preparo do solo.

Tabela 9. Espécies de plantas espontâneas identificadas no levantamento fitossociológico do pomar nos meses de fevereiro, maio e agosto de 2012

| Família | Nome científico | Nome comum |
|---------|-----------------|------------|
|---------|-----------------|------------|

|                |  |                       |
|----------------|--|-----------------------|
| Amaranthaceae  | <i>Amaranthus deflexu</i> L.             | Bredo                 |
| Asteraceae     | <i>Synedrellopsis grisebachii</i> Hieron | Agriãozinho           |
|                | <i>Youngia japonica</i> (L.) Benth       | Barba-de-falcão       |
|                | <i>Acanthospermum hispidum</i> DC        | Chifre-de-carneiro    |
|                | <i>Ageratum conizoides</i> L.            | Mentraso              |
| Brassicaceae   | <i>Cleome affinis</i> DC                 | Mussambê              |
| Commelinaceae  | <i>Commelina virginica</i> L.            | Maria-mole            |
| Convolvulaceae | <i>Ipoema cairica</i> (L.) Sweet         | Corda-de-viola        |
| Cyperaceae     | <i>Cyperus ferax</i> L.C. Rich           | Juquinho              |
| Euphorbiaceae  | <i>Cyperus rotundus</i> L.               | Tiririca              |
|                | <i>Phyllanthus niruri</i> L.             | Quebra-pedra          |
| Fabaceae       | <i>Cassia occidentalis</i> L             | Fedegoso              |
| Malvaceae      | <i>Sida rhombifolia</i> L.               | Guaxuma               |
|                | <i>Malva parviflora</i> L.               | Malva                 |
| Oxalidaceae    | <i>Oxalis refracta</i> St. Hil.          | Trevo                 |
| Poaceae        | <i>Lolium multiflorum</i> Lam            | Azevém                |
|                | <i>Panicum maximum</i> Jacq.             | Capim-guaçu           |
|                | <i>Brachiaria plantaginea</i> (Link)     | Capim-papuã           |
|                | <i>Eleusine indica</i>                   | Capim-pé-de-galinha   |
| Polygonaceae   | <i>Polygonum hydropiperoides</i> Mich    | Erva-de-bicho         |
| Portulacaceae  | <i>Talinum patens</i> (Jacq.) Willd      | Maria-gorda           |
| Rubiaceae      | <i>Manettia ignita</i> Schum             | Cipó-de-santo-antônio |

Além disso, as espécies pertencentes a este grupo de família identificada nas entrelinhas do pomar de bergamoteira apresentam diversas particularidades, como uma biologia generalista e a capacidade de disseminação por várias espécies de insetos (Grombone-Guaratini et al., 2004), o que favorecem o seu crescimento em lugares indesejáveis, principalmente pela sua alta agressividade. Além disso, essas plantas apresentam efeito alelopático, inibindo o desenvolvimento de outras plantas espontâneas (Kissmann e Groth, 1992).

Outra família de grande importância encontrada no estudo, a *Poaceae*, apresenta as espécies mais importantes economicamente no mundo e é, frequentemente, bastante representativa em termos de espécies de plantas espontâneas em vários ambientes (Holm et al., 1991; Lorenzi, 2000; Erasmo et al., 2004). De acordo com Holm et al. (1991), grande parte das espécies da família *Poaceae* é perene e produz grande quantidade de sementes, o que aumenta consideravelmente o seu poder de disseminação e a colonização de diversos tipos de ambientes, mesmo os mais inóspitos.

Em relação à importância relativa de cada espécie, pode-se observar que no levantamento florístico realizado em fevereiro/2012 o capim-papuã apresentou maior importância relativa (IR% = 14,29), seguido do chifre de carneiro (IR% = 13,03), plantas pertencentes às famílias Poaceae e Asteraceae, respectivamente.

Nos outros períodos de estudo, maio/2012 e agosto/2012, houve uma redução na importância relativa dessas plantas, em relação às demais, havendo uma modificação de espécies em função do manejo das entrelinhas do pomar. A Tiririca apresentou maiores valores de IR% na entrelinha manejada com o uso da grade e roçadora (IR% = 30,95 e 38,41 no estudo realizado em maio/2012 e IR% = 30,12 e 34,11 no estudo realizado em agosto/2012).

Esses valores podem ser atribuídos ao tipo de implemento utilizado, a mobilização do solo, provocado pelos discos da grade resulta em corte tubérculos e bulbos subterrâneos, facilitando a germinação. O corte da parte aérea das plantas, com o uso da roçadora, promove o contato das sementes no solo, que juntamente com o período úmido da época, favorece a germinação.

Já em relação às entrelinhas manejadas com o uso do tronco V, as espécies em destaque foram a corda de viola (IR% = 42,18 em maio/2012) e o agriãozinho (IR% = 24,62 em agosto/2012). Isso pode ser atribuído ao efeito alelopático dessas plantas que inibiu o desenvolvimento das demais espécies na entrelinha do pomar. Em relação à entrelinha manejada com o uso da roçadora, a grande importância relativa do azevém (IR% = 64,55 e 55,31, nos meses de maio/2012 e agosto/2012).

Esses valores estão relacionados à tentativa de implantar espécies de cobertura do solo, visando o controle biológico da vegetação nativa nas entrelinhas do pomar, que apresentou sucesso apenas nessa entrelinha. Isso pode ser atribuído à declividade do terreno, entre 0,08 a 0,12 m m<sup>-1</sup>, sendo que a área onde está alocada a entrelinha manejada com o uso do rolo faca está na parte mais inferior do terreno. Com isso, deve ter ocorrido um arraste de sementes das entrelinhas que estão na parte superior do terreno.

Para Durigan (1988), o número de espécies, bem como a densidade é um indicador da adaptação e da capacidade competitiva que estas espécies

podem exercer sobre o pomar, sendo que algumas podem estar mais adaptadas a ambientes sombreados em pomares adultos, ou então em pomares jovens em formação.

Tabela 10. Importância relativa (%) das principais espécies encontradas no levantamento fitossociológico do pomar

| Nome comum            | Fev/12* | Mai/12 |          |          |           | Ago/12 |          |          |           |
|-----------------------|---------|--------|----------|----------|-----------|--------|----------|----------|-----------|
|                       |         | Grade  | Tronco V | Roçadora | Rolo Faca | Grade  | Tronco V | Roçadora | Rolo Faca |
| Agriãozinho           |         |        | 11,1     |          |           |        | 24,6     |          | 10,0      |
| Azevém                |         |        |          |          | 64,6      |        |          |          | 55,3      |
| Barba-de-falcão       | 7,4     |        |          |          |           |        |          |          |           |
| Bredo                 | 9,3     |        |          |          |           |        | 20,3     |          |           |
| Capim-guaçu           |         |        |          |          |           |        | 15,4     |          |           |
| Capim-papuã           | 14,3    | 25,9   |          |          |           |        |          |          |           |
| Capim-pé-de-galinha   |         |        |          |          |           |        | 11,9     |          |           |
| Chifre-de-carneiro    | 13,0    |        |          |          |           |        |          |          |           |
| Cipó-de-santo-antônio | 2,8     |        |          |          |           |        |          |          |           |
| Corda-de-viola        | 4,2     | 16,4   | 42,2     |          |           |        | 16,1     |          |           |
| Tiririca              | 12,5    | 38,4   |          | 31,0     |           | 30,1   |          | 34,1     |           |
| Erva-de-bicho         | 3,3     |        |          | 21,6     |           |        |          |          |           |
| Fedegoso              |         |        |          |          |           | 11,5   |          |          |           |
| Guaxuma               | 9,2     |        | 22,3     | 30,8     |           |        | 15,3     | 32,8     |           |
| Juquinho              | 6,6     |        |          |          | 13,4      |        |          |          |           |
| Malva                 |         |        |          |          |           |        | 16,7     |          |           |
| Maria-mole            | 1,1     | 19,2   | 24,4     | 16,7     |           | 29,8   |          | 12,8     |           |
| Maria-gorda           | 10,1    |        |          |          |           |        |          |          |           |
| Mentrasto             | 3,2     |        |          |          |           |        |          |          |           |
| Mussambê              | 3,2     |        |          |          | 22,0      |        |          |          |           |
| Quebra-pedra          |         |        |          |          |           |        |          |          | 34,7      |
| Trevo                 |         |        |          |          |           | 28,6   |          |          |           |

\*coleta realizada em toda a área visando identificar as espécies espontâneas presentes na parcela experimental de bergamoteiras da variedade Montenegrina.

#### 4.3.2. Avaliação do sistema radicular de *Poncirus trifoliata*

De acordo com os resultados obtidos na avaliação e apresentados na Figura 15, o *Poncirus trifoliata* (porta enxerto utilizado nas bergamoteiras variedade Montenegrina) apresentou uma maior densidade de raízes nos primeiros 15 cm de profundidade do solo. Esse resultado pode ser atribuído à redução na porosidade e, conseqüente, aumento da densidade promovido pela compactação do solo em subsuperfície (Tabelas 4 e 5).

A acentuada predominância de microporos sobre macroporos, observadas no Estudo I, com a maioria dos valores de macroporos inferior a  $0,15 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-3}$ , que, segundo Demattê e Vitti (1992), Reichardt & Timm (2004) e Libardi (2005), é o limite crítico para o crescimento e desenvolvimento radicular, contribuiu para a variação de densidade de raízes nos locais de amostragens nas entrelinhas do pomar, em profundidade.

As entrelinhas manejadas com o uso da roçadora apresentaram maiores densidades de raízes, na profundidade de 0-15 cm, com valores chegando a  $0,12 \text{ g cm}^{-3}$ , o que corresponde a 44% de volume explorado no local de amostragem de projeção da copa no sentido da entrelinha das plantas, a 50 cm do tronco (LPC).

A grande densidade de raízes nos primeiros 15 cm, também pode estar relacionada ao alto teor de matéria orgânica nessa profundidade (Apêndice 4), devido a aplicação de compostos biodinâmicos pelo produtor.

A importância do maior crescimento e aprofundamento do sistema radicular do porta enxerto de citros em relação à produtividade também é enfatizada por Mazza et al. (1994), Carvalho et al. (1999) e Rezende et al. (2002). No entanto, Souza et al. (2004a) consideraram isso necessário, mas não suficiente, sendo também importante melhorar as condições químicas do solo, devido ao alto teor de alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) que restringe o desenvolvimento radicular, constatando que o aumento de produtividade não acompanhou o aprofundamento do sistema radicular.

Apesar de apresentar maior densidade de raízes, aos 15 cm de profundidade, essa entrelinha apresentou pouca produtividade e valores reduzidos do peso dos frutos, como demonstrado no Apêndice 3. Isso pode ser atribuído, à competição entre o sistema radicular das bergamoteiras com as

raízes das plantas espontâneas extremamente agressivas, como é o caso da guanxuma (IR% = 30,8) presentes nessa entrelinha (Tabela 8).

Na entrelinha manejada com a grade e o rolo faca apresentaram maiores valores de produtividade e peso de frutos (Apêndice 3), apesar da entrelinha manejada com o uso da grade apresentar uma maior compactação do solo, em relação aos demais tratamentos (Tabelas 4 e 5) e pouca densidade de raiz (Figura 25), que pode ser atribuído ao corte das raízes provocado por esses implementos no momento do manejo da vegetação espontânea.

Mazza et al. (1994) afirmam que os efeitos da compactação, que são semelhantes aos da coesão, promovem redução da macroporosidade, da água disponível e do desenvolvimento do sistema radicular em citros, promovendo também efeitos negativos na absorção de nutrientes e na produtividade.

Entretanto, serão necessários a realização de mais estudos nos porta-enxertos de *Poncirus trifoliata* para avaliar a relação entre o desenvolvimento radicular e a produtividade em pomares de bergamoteiras Montenegrina.

Em relação à distância efetiva, os resultados apontam que a densidade de raízes se concentrou a 50 cm do tronco da planta. Isso está relacionado à variação da porosidade do solo na entrelinha do pomar entre os locais de tráfego e os não trafegáveis pelos rodados do trator e equipamentos que, de acordo com as Tabelas 4 e 5, foram obtidos na linha de plantio do pomar.

Esse resultado é diferente ao obtido por Neves et al. (1998) em um solo de textura média e sem impedimento físico, onde os autores encontraram 80% das raízes a 2,0 m de distância em relação ao tronco. Machado & Coelho (2000), em um mesmo tipo de solo, encontraram raízes entre 1,69 a 2,54 m por m<sup>3</sup> de solo na linha de plantio e de 3,12 a 3,48 m por m<sup>3</sup> de solo na entrelinha.

Souza et al. (2006) enfatizam que as raízes das plantas cítricas dificilmente penetram em poros cujos diâmetros sejam menores que os seus. Por isso, se concentram em locais onde sofrem pouca restrição devido à compactação do solo.

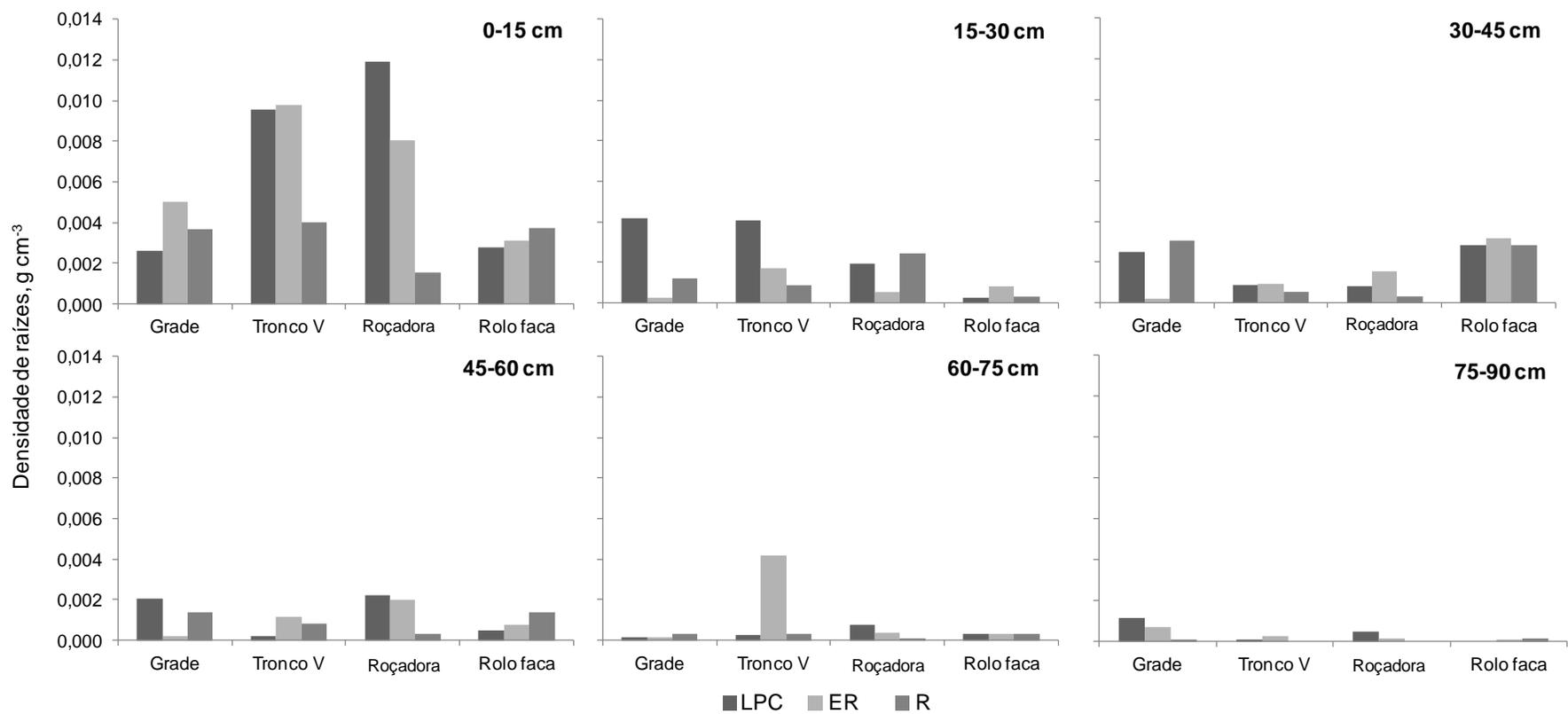


Figura 24. Densidade de raízes, g cm<sup>-3</sup> de *Poncirus trifoliata*, porta-enxertado em bergamoteiras da variedade Montenegrina, em função dos tratamentos e profundidade de amostragem nas entrelinhas do pomar.

Em relação à análise do diâmetro de raízes, observa-se que o maior somatório de comprimento de raízes (cm por  $\text{cm}^{-3}$  de solo) foi encontrado nas classes de diâmetro de raiz ( $D_1$ ) entre 0,0 a 1,0 mm (Tabela 11), com os maiores valores obtidos na projeção da copa no sentido da entrelinha das plantas, a 50 cm do tronco das bergamoteiras, nos primeiros 15 cm em todos os tratamentos, com valores de até 20 cm de raízes por  $\text{cm}^{-3}$  de solo.

A grande concentração desse tipo de diâmetro de raízes, sobretudo até os primeiros 15 cm, pode resultar em um prejuízo na produtividade do pomar, uma vez que nessa profundidade também se encontra a maioria das raízes das plantas espontâneas e sua atividade. Isso, em épocas de estresse hídrico, pode comprometer a formação e o tamanho dos frutos.

Tabela 11. Comprimento de raízes ( $\text{cm cm}^{-3}$  de solo) de *Poncirus trifoliata* porta-enxertado em bergamoteiras Montenegrina na classe de diâmetro de raízes entre 0,0 a 1,0 mm

| Tratamento                | Profundidade, cm |       |       |       |       |       |
|---------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                           | 0-15             | 15-30 | 30-45 | 45-60 | 60-75 | 75-90 |
| Linha de projeção da copa |                  |       |       |       |       |       |
| Grade                     | 14,2             | 10,7  | 5,4   | 3,0   | 0,3   | 0,2   |
| Tronco V                  | 19,8             | 6,7   | 2,3   | 0,2   | 1,2   | 0,06  |
| Roçadora                  | 2,0              | 2,0   | 3,0   | 1,5   | 2,1   | 0,9   |
| Rolo faca                 | 7,6              | 0,4   | 6,5   | 2,5   | 0,38  | --    |
| Entre rodado              |                  |       |       |       |       |       |
| Grade                     | 7,7              | 0,8   | 1,0   | 0,5   | 0,9   | 3,2   |
| Tronco V                  | 20,2             | 2,1   | 3,3   | 4,3   | 3,1   | 0,9   |
| Roçadora                  | 12,7             | 1,9   | 4,6   | 3,7   | 0,3   | 0,2   |
| Rolo faca                 | 9,7              | 1,5   | 2,6   | 3,0   | 0,5   | 0,1   |
| Rodado                    |                  |       |       |       |       |       |
| Grade                     | 13,4             | 3,1   | 4,3   | 4,9   | 2,6   | 0,3   |
| Tronco V                  | 6,0              | 3,3   | 2,5   | 4,0   | 0,1   | --    |
| Roçadora                  | 2,0              | 1,3   | 1,2   | 0,9   | 0,1   | --    |
| Rolo faca                 | 9,2              | 1,4   | 6,2   | 3,7   | 0,9   | 0,4   |

Para os diâmetros de raízes ( $D_2$ ), maiores que 1,0 e menor que 2,0 mm, os maiores valores de densidade de raízes por volume de solo foram observados também até os primeiros 15 cm, em todos os tratamentos por profundidade de solo (Tabela 12). Isso demonstra que as alterações nos atributos físicos do solo obtidos no Estudo I, atrelados às características químicas do solo observados no Apêndice 2, promoveram um impedimento no volume de solo explorado pelo sistema radicular do *Poncirus trifoliata* (porta enxerto utilizado nas

bergamoteiras variedade Montenegrina) submetido a diferentes manejos do solo.

Tabela 12. Comprimento de raízes ( $\text{cm cm}^{-3}$  de solo) de *Poncirus trifoliata* porta-enxertado em bergamoteiras Montenegrina na classe de diâmetro de raízes entre 1,0 a 2,0 mm

| Tratamento                | Profundidade, cm |       |       |       |       |       |
|---------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                           | 0-15             | 15-30 | 30-45 | 45-60 | 60-75 | 75-90 |
| Linha de projeção da copa |                  |       |       |       |       |       |
| Grade                     | 0,01             | 0,04  | 0,04  | 0,06  | 0,00  | 0,04  |
| Tronco V                  | 0,12             | 0,06  | 0,05  | 0,01  | 0,01  | 0,00  |
| Roçadora                  | 0,04             | 0,10  | 0,01  | 0,00  | 0,03  | 0,01  |
| Rolo faca                 | 0,06             | 0,00  | 0,06  | 0,01  | 0,00  | 0,00  |
| Entre rodado              |                  |       |       |       |       |       |
| Grade                     | 0,09             | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,07  |
| Tronco V                  | 0,09             | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 0,02  | 0,00  |
| Roçadora                  | 0,09             | 0,00  | 0,02  | 0,03  | 0,01  | 0,00  |
| Rolo faca                 | 0,05             | 0,06  | 0,02  | 0,03  | 0,00  | 0,00  |
| Rodado                    |                  |       |       |       |       |       |
| Grade                     | 0,011            | 0,106 | 0,059 | 0,010 | 0,01  | 0,00  |
| Tronco V                  | 0,024            | 0,005 | 0,007 | 0,026 | 0,00  | 0,00  |
| Roçadora                  | 0,053            | 0,054 | 0,007 | 0,006 | 0,00  | 0,00  |
| Rolo faca                 | 0,132            | 0,001 | 0,033 | 0,038 | 0,00  | 0,00  |

Os mesmos resultados apontam, na Tabela 13, que raízes de diâmetros ( $D_3$ ) maiores que 2,0 mm também demonstram maiores densidade até os 15 cm de profundidade.

A entrelinha de plantio manejada com o uso da roçadora apresentou os menores valores de comprimento de raízes em todas as classes de diâmetro, que foi refletido na produtividade das bergamoteiras nessa entrelinha. Isso, juntamente com a compactação sofrida nessa entrelinha (Tabela 4 e 5) e com fatores químicos e biológicos do solo (Apêndice 4), podem ter contribuído para os valores reduzidos de produtividade e peso de frutos nos tratamentos com o uso desse implemento.

Tabela 13. Comprimento de raízes ( $\text{cm cm}^{-3}$  de solo) de *Poncirus trifoliata* porta-enxertado em bergamoteiras Montenegrina na classe de diâmetro de raízes maiores que 2,0 mm

| Tratamento                | Profundidade, cm |       |       |       |       |       |
|---------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                           | 0-15             | 15-30 | 30-45 | 45-60 | 60-75 | 75-90 |
| Linha de projeção da copa |                  |       |       |       |       |       |
| Grade                     | 0,01             | 0,03  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |

|                       |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| Tronco V              | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Roçadora              | 0,00 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Rolo faca             | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| -----<br>Entre Rodado |      |      |      |      |      |      |
| Grade                 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Tronco V              | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Roçadora              | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Rolo faca             | 0,00 | 0,01 | 0,04 | 0,03 | 0,00 | 0,00 |
| -----<br>Rodado       |      |      |      |      |      |      |
| Grade                 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Tronco V              | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Roçadora              | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Rolo faca             | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

De acordo com Santos et al. (2005), as raízes de *Poncirus trifoliata* com diâmetros entre 0,5 e 2 mm são as que mais apresentam atividade nutricional nas plantas, sendo assim mais eficientes no suprimento de água e nutrientes para as plantas cítricas.

Trabalho desenvolvido por Souza et al. (2004a), no mesmo pomar estudado pelo autor acima, avaliando a parte aérea das plantas, demonstrou que, apesar das alterações significativas no sistema radicular do *Poncirus trifoliata*, não houve diferenças na altura de planta, diâmetro do caule e da copa e na produtividade de frutos, resultados similares aos obtidos por Prudente et al. (2004).

Por outro lado, nesse mesmo pomar, a correção apenas dos parâmetros químicos do solo, utilizando gesso e calcário para a correção da saturação por bases em profundidade, também não apresentou bons resultados (Quaggio et al., 1998).

Alterações no sistema radicular do *Poncirus trifoliata*, seguidas do aumento da produtividade de frutos, foram obtidas por Carvalho et al. (1999) e Rezende et al. (2002), que utilizaram, além da subsolagem e da cobertura vegetal do solo, a aplicação de corretivos do solo, como calcário e gesso, demonstrando que, para desenvolver as raízes e aumentar a produtividade, devem ser eliminadas as barreiras físicas e químicas do solo, de forma conjunta e na maior profundidade possível.

#### 4.4. CONCLUSÕES

Os diferentes manejos do solo promoveram alterações na densidade de raízes do *Poncirus trifoliata* porta-enxertado em bergamoteiras Montenegrina em todos os tratamentos.

Houve uma maior concentração de massa de raízes a 50 cm do tronco das bergamoteiras, na linha de plantio das plantas cítricas, principalmente até 15 cm de profundidade, com predomínio de raízes com diâmetros menores que 1,0 mm por m<sup>-3</sup> de solo em todos os tratamentos.

As bergamoteiras manejadas com o uso da roçadora apresentaram menores valores de comprimento de raízes por m<sup>-3</sup> de solo

Ocorreu uma menor exploração do volume de solo pelas raízes nas entrelinhas de plantio do pomar em todas as classes de diâmetro avaliadas, que juntamente com atributos químicos e biológicos do solo, podem comprometer a produtividade do pomar.

O manejo do solo com o uso da grade apresentou menores valores de densidade de raízes, devido à maior compactação e também ao corte de raízes causados pelos discos do implemento no momento de incorporação das espécies espontâneas no solo.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos estudos realizados, pode-se observar que os atributos físicos do solo não foram determinantes para avaliar o desenvolvimento radicular e a produtividade das bergamoteiras em função dos tratamentos realizados nas entrelinhas do pomar.

As respostas físicas, químicas e biológicas do solo ao uso de máquinas, bem como o desenvolvimento do sistema radicular do *Poncirus trifoliata* porta-enxertado nas bergamoteiras Montenegrina variaram ao longo do ano. Uma sugestão para trabalhos futuros é a realizar amostragens do solo para avaliar a Ds, Ma, Mi e Pt, bem como o ensaio de infiltração de água no solo em épocas de seca (primavera-verão) e épocas de chuva (outono-inverno), com repetições iguais para todos os atributos avaliados.

O teste de resistência mecânica do solo à penetração deve ser realizada de forma mensal, para analisar o efeito da umidade na RP ao longo do ano.

A amostragem das plantas de cobertura do solo deve ser realizada antes do manejo nas entrelinhas do pomar, visando identificar a composição florística, que deve ser repetido, de preferência em intervalos mensais.

Os atributos físicos do solo devem ser determinados de modo a avaliar a interação entre esses fatores, para a obtenção de respostas mais completas do efeito do uso de máquinas na compactação do solo, mesmo em pomares submetidos a manejo orgânico.

As amostragens do sistema radicular do *Poncirus trifoliata* porta-enxertado nas bergamoteiras Montenegrina devem ser realizadas juntamente com as amostragens e avaliação dos atributos físicos do solo com um número maior de repetições.

O sistema de amostragem de raízes deve sofrer adaptações que facilite a realização do trabalho no tipo de solo onde estão cultivadas as bergamoteiras do Estado do Rio Grande do Sul.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, P. U. R. Efeito de sistemas de prepare do solo sobre características de Latossolo Roxo Distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 3, n. 3, p.169-172, 1979.

ALBERTINO, S. M. F. et al. Composição florística das plantas daninhas na cultura do guaraná (*Paullinia cupana*), no Estado do Amazonas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 351-358, 2004.

AMARAL, J. D. **Os citrinos**. 3. ed. Lisboa: Livraria Clássica, 1982. 781 p.

ARVIDSSON, J.; HÄKANSSON, I. A model for estimating crop yield losses caused by soil compaction. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 20, p. 319- 332, 1991.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS – ASAE. **Soil cone penetrometer – ASAE S 313.3**. Saint Joseph, 2004.

ANDRADE, R. S. **Efeitos de culturas de cobertura na qualidade física do solo sob plantio direto**. 2008. 75 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós - Graduação em Solo e Água, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Nova Veneza, 2008.

ARAGÓN, A. et al. Maximum compactibility of Argentine soils from the Proctor test: the relationship with organic carbon and water content. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 56, n. 3, p. 197-204, 2000.

ARSHAD, M. A.; COEN, G. M. Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 7, n. 1/2, p. 25-32, 1992.

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

ARAÚJO, E. A. **Qualidade do solo em ecossistemas de mata nativa e pastagens na região leste do Acre, Amazônia Ocidental**. 2008. 233 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

AVILAN, L. et al. Distribución del sistema radical de las cítricas em algunos suelos de Venezuela. **Fruits**, Paris, v. 41, n. 11, p. 655-668, 1986.

BALBUENA, R. et al. . Compactación de suelos. Efectos del tránsito del tractor en sistemas de siembra directa. **Spanish Journal of Agricultural Research**, Madrid, v. 1, n. 2, p. 75-80, 2003.

BALL, D. A. Weed seed bank response to tillage, herbicides, and crop rotation sequence. **Weed Science**, Champaign, v. 40, n. 4, p. 654-659, 1992.

BEUTLER, A. N. et al. Intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 639-45, 2006.

BELLÉ C. **Citricultura**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2008. 52 p.

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M. **Agroclima da Estação Experimental Agrônômica da UFRGS**. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia da UFRGS, 1990. 60 p.

BERGAMASCHI, H. et al. **Clima da Estação Experimental da UFRGS (e região de abrangência)**. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia da UFRGS, 2003. 78 p.

BERNARDO, S.; SOARES A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: UFV, 2005. 611 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

BETTIOL, W. et al. Soil organisms in organic and conventional cropping systems. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, p. 656-572, 2002.

BEUTLER, A. N. et al. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produção de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 843-849, 2005.

BLANCO, H. G.; ARAÚJO, J. B. M.; OLIVEIRA, D. A. Estudo sobre competição das plantas daninhas na cultura do milho (*Zea mays* L.): determinação do período de competição. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 43, p. 105-114, 1976.

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

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14th ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2008. 975 p.

BRAIDA, J. A. et al. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio de Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 605-614, 2006.

BRANDÃO, V. S. et al. **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2006. 120 p.

BRASIL. Lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 24 dez. 2003. Seção 1, p. 8. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/2003/L10.831.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/L10.831.htm)>. Acesso em: 13 jan. 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 431 p. (Boletim técnico, 30).

BRITO, R. B. F. et al. Umidade de máxima compactação de um Latossolo Amarelo Distrocoeso, em função da aplicação de diferentes doses de carvão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2011. 1 CD-ROM.

BOTTA, G.; JORAJURIA, C. D.; DRAGHI, L. Influence of the axle load, tire size and configuration, on the compaction of a freshly tilled clayey soil. **Journal Terramechanics**, Oxford, v. 39, n. 1, p. 47-54, jan. 2002b.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2008.

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

CANELLAS, L.P; SANTOS, G.A. & AMARAL, N.B.M. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. 508p.

CARTER, M. R. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 70, n. 3, p. 425-433, 1990.

CARVALHO, S. L.; PITELLI, R. A. Levantamento e análise fitossociológica das principais espécies de plantas daninhas de pastagens da região de Selvíria - MS. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 10, n. 1/2, p. 25-32, 1992.

CARVALHO, J. E. B.; SOUZA, L. da S.; SOUZA, L. D. Manejo de cobertura vegetal com leguminosas en el control integrado de malezas em cítricos. In: SEMINÁRIO INTEGRADO DE COBERTURA DE LEGUMINOSAS EM CULTIVOS PERMANENTES, 1., Santa Barbara del Zulia, Venezuela. **Compendio...** Santa Barbara del Zulia, Venezuel: Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia, 1998. p. 108-130.

CARVALHO, J. E. B. et al. Manejo de coberturas do solo e sua interferência no desenvolvimento do sistema radicular da laranja "Pêra". **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 21, n. 2, p. 140-5, 1999.

CARVALHO, J. E. B. de. Manejo do solo em pomares. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS - PRODUÇÃO INTEGRADA, 6., 2000, Bebedouro. **Anais...** Bebedouro: Fundação Cargill, 2000. p. 107-145.

CARVALHO, J. E. B. de. et al. Leguminosa no controle integrado de plantas daninhas para aumentar a produtividade da laranja-'Pêra'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 82-85, 2002.

CARVALHO, L. A. **Condutividade hidráulica do solo no campo**: as implicações do método do perfil instantâneo. 2002. 86 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CASTLE, W. S. Fibrous root distribution of 'pineapple' orange trees on rough lemon rootstock at three spacings. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 105, n. 3, p. 478-480, 1980.

CINTRA, F. L. D. et al. Caracterização física do solo submetido a práticas de manejo em pomar de laranja baianinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 2, p. 173-179, 1983.

CINTRA, F. L. D. **Disponibilidade de água no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro**. 1997. 90 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L.; JORGE, L. A. C. Distribuição do sistema radicular de porta-enxertos de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 21, n. 3, p. 313-317, 1999.

CULLEY, J. L. B.; LARSON, W. E. Susceptibility to compression of a clay loam Haplaquoll. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 51, p. 562-567, 1987.

CUNHA, L. H.; BRANDÃO, M. Plantas daninhas em culturas em áreas de várzea no município de Governador Valadares, MG. **Daphne**, Belo Horizonte, v. 7, n.1, p.60-68, 1997.

CUNHA, J. P. A. R.; VIEIRA, L. B.; MAGALHÃES, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 10, n. 1-4, p. 1-7, 2002.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle size analysis. In: BLACK, C. A. et al. (Ed.). **Methods of soil analysis**, Madison, v. 1, p. 545-567, 1965.

DAVOGLIO JÚNIOR, A. C.; BORDIN, I.; NEVES, C. S. V. J. Sistema radicular e desenvolvimento de plantas cítricas provenientes de viveiro telado e aberto. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, p. 172-175, 2006.

DEMATTÊ, J. L.; VITTI, G. C. Alguns aspectos relacionados ao manejo de solos para citrus. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS, 2., 1992, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 67-99.

DEUBER, R. **Ciência das plantas infestantes**: manejo. Campinas: Degaspari, 1997. 285 p.

DIAS JÚNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e a sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, n. 2, p. 175-182, 1996.

DIAS JÚNIOR, M. S.; MIRANDA, E. E. V. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de Lavras (MG), **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 2, p. 337-346, 2000.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (Estudos FAO: Irrigação e drenagem, 33).

DORNELLES, C. M. Panorama da citricultura. In: SIMPÓSIO DE CITRICULTURA, 1., Porto Alegre, 1967. **[Anais...]** Porto Alegre: CEASA/RS, 1967. p. 2-25.

DORNELLES, C. M. M. Manejo de solos em pomares de laranjeiras no Rio Grande do Sul. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 91-98, 1971.

DORNELLES, C. M. Citricultura no Rio Grande do Sul. In: RODRIGUES, O.; VIEGAS, F. **Citricultura brasileira**. Campinas: Fundação Cargill, 1980. p. 127-147 p.

DRAGHI, L. et al. Resistência específica do solo de um pomar frutícola relacionada ao manejo entrelinhas e intensidade de tráfego. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 385-394, 2005.

DURIGAN, J. C.; TIMOSSI, P. C. **Manejo de plantas daninhas em pomares cítricos**. Bebedouro: EECB, 2002. 53 p.

EMBRAPA. **Manual de métodos e análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

EMBRAPA. **Produção orgânica de citros no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2011. (Sistemas de produção, 20). Versão eletrônica dez./2011. Disponível em: <[http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/catalogo/tipo/sistemas/sistema20\\_novo/cap7\\_exigencias\\_nutricionais\\_dos\\_citros.htm](http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/catalogo/tipo/sistemas/sistema20_novo/cap7_exigencias_nutricionais_dos_citros.htm)>. Acesso em: 10 fev. 2013.

EMBRAPA. **Produção integrada de citros**. 2. ed. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2007. (Sistema de produção, 15). Versão eletrônica 2007. Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Citros/CitrosBahia\\_2ed/index.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Citros/CitrosBahia_2ed/index.htm)>. Acesso em: 10 de jan. 2013.

ERASMO, E. A. L.; PINHEIRO, L. L. A.; COSTA, N. V. Levantamento fitossociológico das comunidades de plantas infestantes em áreas de produção de arroz irrigado cultivado sob diferentes sistemas de manejo. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 195-201. 2004.

FAO. **Dados agrícolas de FAOSTAT**: crops. Cow peas, dry. 2009. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>. Acesso em: 13 jan. 2013.

FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, n. 1-4, p. 69-116, 1997.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; SCAPIM, C. A. Espacialização vertical e horizontal dos indicadores de qualidade para um Latossolo Vermelho cultivado com citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v. 31, n. 1, p. 9-19, 2007b.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Qualidade física do solo em pomar de laranjeira no noroeste do Paraná com manejo da cobertura permanente na entrelinha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 423-433, 2007a.

FIGUEIREDO, L. H. A.; DIAS JUNIOR, M. S.; FERREIRA, M. M. Umidade crítica de compactação e densidade do solo máxima em resposta a sistemas de manejo num Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 487-493, 2000.

FORSYTHE, W. **Física de suelos**. Costa Rica: IICA, 1975. 212 p.

FRACARO, A. A.; PEREIRA, F. M. Distribuição do sistema radicular da goiabeira 'Rica' produzida a partir de estaquia herbácea. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 183-185, 2004.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia**: processos ecológicos em agricultura sustentável. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2001. 653 p.

GLOVER, J. D; REGANOLD, J. P; ANDREWS, P. K, Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 80, n. 1/2, p. 29-45, 2000.

GOH, K. M.; PEARSON, D. R.; DALY, M. J. Effects of apple orchard production systems on some important soil physical, chemical and biological quality parameters. **Biological Agriculture and Horticulture**, Bicester, v. 18, n. 3, p. 269-292, 2000.

GROMBONE-GUARATINI, M. T.; SOLFERINI, V. N.; SEMIR, J. Reproductive biology in species of *Bidens* L. (Asteraceae). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 2, p. 185-189, 2004.

GUDDANTI, S.; CHAMBERS, J. L. **GSRoot**: automated root length measurement program, user's manual. Louisiana: Louisiana State University, 1993, 40 p. (Version 5.00).

GUERRA, H. O. C. **Física dos solos**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 2000. 173 p.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: a review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 82, n. 2, p. 121-145, 2005.

HÅKANSSON, I. A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 16, n. 1, p. 105-120, 1990.

HEAD, K. H. **Manual of soil laboratory testing**. London: Pentech Press, 1982. 412 p. v. 2.

HOLM, L. G.; et al. **The world's worst weeds – distribution and biology**. 2nd ed. Malabar, Flórida: Krieger Publishing Company, 1991. 609 p.

HORN, R. Compressibility of arable lands. In: DRESCHER, J.; HORN, R.; DE BOODT, M. (Ed.). **Impact of water and external forces on soil structure**. Catena: Cremligen-Destedt, 1988. p. 53-71. (Suplement, 11).

IBD. Instituto Biodinâmico (Botucatu, SP). **Diretrizes para o padrão de qualidade orgânico Instituto Biodinâmico**. 17. ed. Botucatu, 2009. 78 p. Doc. 812. Disponível em: <<http://www.ibd.com.br>>. Acesso em: 10 jan. 2013.

IBGE. **Dados da produção agrícola municipal**: culturas temporárias e permanentes. Brasília, 2011. v. 30. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Producao\\_Agricola\\_Municipal\\_\[anual\]/2011/pam2011.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Producao_Agricola_Municipal_[anual]/2011/pam2011.pdf)>. Acesso em: 10 jan. 2013.

IYENGAR, B. R. V.; SHIVANANDA, T. N. Root activity pattern in sweet orange (*Citrus sinensis*) during different seasons. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v. 60, n. 9, p. 605-608, 1990.

JACOMINE, P. K. T.; et al. **Levantamento exploratório e reconhecimento de solos do estado de Sergipe**. Recife: Embrapa/Sudene, 1975b. 506 p. (Boletim técnico, 36; Série recursos de solos, 6).

JONES, W. W.; EMBLETON, T. W. Soils, soil management, and cover crops. In: REUTHER, W. (Ed.). **The citrus industry**. Berkeley: University of California, 1973. v. 3, p. 98-121.

KARLEN, D. L.; ANDREWS, S. S.; DORAN, J. W. Soil quality: Current concepts and applications. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 74, p. 1-40, 2001.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 18, n. 2, p. 45-54, 1998.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26; p. 857-867, 2002.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo: EDIUPF, 2008. 212 p.

KÖEPPEN, W. **Climatologia**: con um estúdio de los climas de la Tierra. Ciudad de México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478 p.

KOLLER, O. C. **Citricultura**: laranja, limão e tangerina. Porto Alegre: Rigel, 1994. 446 p.

KOLLER, O. C. Clima e solo. In: KOLLER, O. C. (Coord.). **Citricultura**: cultura de tangerineiras. Porto Alegre: Rigel, 2009. p. 49-62 p.

KOLLER, O. C.; SCHÄFER, G. Origem da cultura da tangerineira, importância no mundo e no Brasil. In: KOLLER, O. C. (Coord.). **Citricultura**: cultura de tangerineiras. Porto Alegre: Rigel, 2009. p. 49-62.

KOZLOWSKI, L. A. Período crítico de interferência das plantas daninhas na cultura do milho baseado na fenologia da cultura. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 20, n. 3, p. 365-372. 2002.

KUHN, I.B.; et al. **Aproveitamento das frutas cítricas na alimentação**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER-RS, 2006. 67 p.

KULLI, B.; GYSI, M.; FLÜHLER, H. Visualizing soil compaction based on flow pattern analysis. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 70, n. 1, p. 29-40, 2003.

KUVA, M.; PITELLI, R. A.; SALGADO, T. P. Fitossociologia de comunidades de plantas daninhas em agroecossistema cana-crua. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 501-511, 2007.

LAL, R. Physical management of soils of the tropics: priorities for the 21st century. **Soil Science**, Baltimore, v. 165, n. 3, p. 191-207, 2000.

LARA, J. F. R.; MACEDO, J. F.; BRANDÃO, M. Plantas daninhas em pastagens de várzeas no Estado de Minas Gerais. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 11-20, 2003.

LEÃO, M. G. A. et al. Variabilidade espacial da textura de um Latossolo sob cultivo de citrus. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 121-131, 2010.

LEBERT, M.; HORN, R. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, n. 2/3, p. 274-286, 1991.

LERINK, P. Prediction of the immediate effects of traffic on field soil qualities. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 16, n. 1, p. 153-166, 1990.

LEVIEN, R.; LIER, Q. J. V.; ALVES, A. G. C. Influence of surface crust on water infiltration rates measured by a rotating-boom rainfall simulator and a double-cylinder device. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 479-486, 2000.

LI, Y. X.; TULLBERG, J. N.; FREEBAIRN, D. M. Wheel traffic and tillage effects on runoff and crop yield. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 97, n. 2, p. 282-292, 2007.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001. 497 p.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005. 335 p.

LIMA, C. I. R. et al. Heterogeneidade da compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 409-414, 2004.

LIMA, H. V. et al. Physical behavior of a gray cohesive argisol in Ceara State. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 33-40, 2005.

LIMA, H. V. et al. Tráfego de máquinas agrícolas e alterações de bioporos em área sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 677-684, 2005.

LINDSTRON, M. J.; VOORHEES, W.B. Response of temperate crops to soil compaction. In: SOANE, B. D.; VAN OUWERKERK, C. (Ed.). **Soil compaction in crop production**. London: Elsevier, 1994. p. 265-286.

LIPIEC, J. et al. Soil physical properties and growth of spring barley as related to the degree of compactness of two soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, p. 307-317, 1991.

LIPP P. J. A citricultura no Rio Grande do Sul. In: CICLO DE PALESTRAS SOBRE CITRICULTURA DO RS, 15., Porto Alegre, 2008. **[Anais...]** Porto Alegre: Editora Jadeditora Ltda, 2008.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil**: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. 3. ed. Nova Odessa: Plantarum, 2000. 620 p.

MACHADO, C. C.; COELHO, R. D. Estudo da distribuição espacial do sistema radicular do limão 'Cravo' enxertado com lima ácida 'Tahiti'. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 21, p. 359-380, 2000.

MAIMONI-RODELLA, R. C. S. et al. Levantamento da comunidade de plantas daninhas ocorrentes em áreas de gramado em Botucatu-SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 19., 1993. **Resumos...** Londrina: SBHED, 1993. p. 79.

MALAVOLTA, E.; VIOLANTE NETTO, A. A. **Nutrição mineral, calagem, gessagem e adubação dos citros.** Piracicaba: Potafós, 1989. 153 p.

MARQUES, L. J. P. et al. Dinâmica de populações e fitossociologia de plantas daninhas no cultivo do feijão-caupi e mandioca no sistema corte e queima com o uso de arado. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, p. 981-989, 2011. Número especial.

MARTINS, V. M. **Caracterização morfológica e da circulação hídrica dos solos da cabeceira de drenagem do córrego Bom Jesus no município de Cidade Gaúcha-PR.** 2000. 135 f. Dissertação (Mestrado em Geografia/FFLCH) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MATHEIS, H. A. S. M.; AZEVEDO, F. A.; VICTÓRIA, R. F. Adubação verde no manejo de plantas daninhas na cultura dos citros. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 27, n. 1, p. 101-110, 2006.

MATOS JUNIOR, D. et al. **Citros.** São Paulo: Centro APTA Citros Sylvio Moreira, 2005. 929 p.

MAZZA, J. A. et al. Influência da compactação no desenvolvimento do sistema radicular de citros: sugestão de método qualitativo de avaliação e recomendações de manejo. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 15, p. 263-275, 1994.

MENDES, F. G.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo não estado da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá / MG. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 211-220, 2006.

MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1149-1159, 2003.

MEURER, E. J.; RHENHEIMER, D.; BISSANI, C. A. Fenômenos de superfície. In: MEURER, E.J., (ed.). **Fundamentos de química do solo.** Porto Alegre: Gênese, 2000. 174 p.

MINATEL, A. L. G.; et al. Efeito da subsolagem e da adubação verde nas propriedades físicas do solo em pomar de citros. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 86-95, 2006.

MONTENEGRO, H. W. S. **Contribuição ao estudo do sistema radicular das plantas cítricas.** 1960. 143 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1960.

MODESTO JUNIOR, M. S.; MASCARENHAS, R. E. B. Levantamento da infestação de plantas daninhas associada a uma pastagem cultivada de baixa produtividade no Nordeste Paraense. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 19, n. 1, p. 11-21, 2001.

MONTENEGRO. Prefeitura Municipal. **[Informações sobre importância econômica]**. Disponível em: <<https://www.montenegro.rs.gov.br/home/>>. Acesso em: 13 jan. 2013.

MOREIRA, C. S. **Estudo da distribuição do sistema radicular da laranjeira 'Pera' *Citrus sinensis* (L.) Osbeck, com diferentes manejos de solos**. 1983. 97 f. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1983.

MOREIRA, C. S.; MOREIRA, S. História da citricultura no Brasil. In: RODRIGUEZ, O.; POMPEU JUNIOR, J.; VIEGAS, F. P. (Ed.). **Citricultura brasileira**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1991. v. 1, p. 1-18.

MORENO, J. H. N.; GASCON, B.V. Effect of soil condition on orange trees. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Philadelphia, v. 25, n. 9/10, p. 1747-1753, 1994.

NASCIMENTO, J. T. et al. Efeito de leguminosas nos atributos físicos e carbono orgânico de um Luvissole. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 825-831, 2005.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRCC. **Soil and water quality: and agenda for agriculture**. Washington: National Academy Press, 1993. 542 p.

NEE, M. **Flora preliminar do projeto dinâmica biológica de fragmentos florestais (PDBFF)**. Manaus: New York Botanical Garden: INPA/Smithsonian, 1995. 264 p.

NEVES, C. S. V. J. et al. Influência de sistemas de manejo de solo em pomar de tangerina 'Ponkan' sobre limão 'Cravo' em um latossolo roxo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 20, n. 3, p. 367-374, 1998.

NEVES, C. S. V. J. et al. Root distribution of rootstocks for 'Tahiti' lime. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 1, p. 94-99, 2004.

NHANTUMBO, A. B. J. C.; CAMBULE, A. H. Bulk density by proctor test as a function of texture for agricultural soils in Maputo province of Mozambique. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 87, n. 2, p. 231-239, 2006.

NIENOW, A. A. Manejo do solo In: KOLLER, O. C. (Coord.). **Citricultura: cultura de tangerineiras**. Porto Alegre: Rígel, 2009. p. 49-62.

NOGUEIRA, J. B. **Mecânica dos solos: ensaios de laboratório**. São Carlos: USP/EESC, 1998. 248 p.

NULTSCH, W. **Botânica geral**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2000. p. 203-211.

OLIVEIRA, J. B. Solos para citros. In: RODRIGUEZ, O. et al. (Ed.). **Citricultura brasileira**. Campinas: Fundação Cargill, 1991. v. 1, p. 196-227.

OLIVEIRA, F. C. H. et al. Estudo do sistema radicular da tangerineira Cleopatra com copa de laranjeira 'Pera'. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 19, n. 1, p. 117-131, 1998.

OLIVEIRA, M. T.; MERWIN, I. A. Soil physical conditions in a New York orchard after eight years under different groundcover management systems. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 234, p. 233-237, 2001.

OLIVEIRA, R. P. et al. **Produção orgânica de citros no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010. 296 p.

ORTOLANI, A. A.; PEDRO JUNIOR, M.; ALFONSI, R. R. Agroclimatologia e o cultivo dos citros. In: RODRIGUEZ, O. et al. (Ed.). **Citricultura brasileira**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1991. v. 1, p. 153-185.

PACHECO, E. B. et al. Efeito do manejo de um Latossolo Vermelho Amarelo, fase cerrado, sobre o crescimento e produção da laranjeira *Citrus sinensis* Osbeck cv baianinha. **Experimentiae**, Viçosa, v. 19, n. 10, p. 211-238, 1975.

PANACHUKI, E. et al. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada em área de integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 261-268, 2006.

PASCHOAL, A. D. **Produção orgânica de alimentos**: agricultura sustentável para os séculos XX e XXI. Piracicaba: ESALQ/USP, 1994. 191 p.

PASSOS, O. S.; CUNHA SOBRINHO, A. P.; COELHO, Y. S. Manejo do solo em pomar de citros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2., Viçosa, 1973. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 1973. v. 1, p. 249-256.

PEIXOTO, A. L.; CARVALHO, S. M.; ROSA, M. M. T. Análise botânica de um campo de pastagem no Estado do Rio de Janeiro. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 5, n. 2, p. 1-7, 1982.

PEREIRA, J. O. et al. Resistência do solo à penetração em função do sistema de cultivo e teor de água do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 171-174, 2002.

PIETRZACKA, R. **Caracterização física e química de um Argissolo em área de citricultura orgânica com diferentes manejos da cobertura vegetal do solo**. 2009. 106 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

PITELLI, R. A. Estudos fitossociológicos em comunidades infestantes de agroecossistemas. **Jornal Conserb**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 1-7, 2000.

PRUDENTE, R. M.; SILVA, L. M. S.; CUNHA SOBRINHO, A. P. Comportamento da laranja 'Pêra' sobre cinco porta-enxertos em ecossistema de Tabuleiros Costeiros, Umbaúba - SE. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 101-112, 2004.

QUAGGIO, J. A. et al. Resposta de laranja 'Valência' à aplicação de calcário e gesso. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 19, n. 2, p. 383-398, 1998.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Manole, 2004. 478 p.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v. 5, p. 49-134.

REYNOLDS, W. D. et al. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v. 110, p. 131-146, 2002.

REZENDE, J. O. et al. Efeitos da subsolagem e da correção da acidez em Latossolo Amarelo Coeso e consequências no comportamento do cultivar tangor Murcott. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17., 2002, Belém. **Anais...** Belém, 2002.

RICHART, A. et al. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.

RODRIGUEZ, O. Manejo do solo em pomar cítrico. **O Agrônomo**, Campinas, v. 9, n. 11-12, p. 17-24, 1957.

RODRIGUEZ, O. Nutrição e adubação dos citros. In: RODRIGUES, O.; VIEGAS, F.; POMPEU JUNIOR, J. (Ed.). **Citricultura brasileira**. Campinas: Fundação Cargill, 1980. 739 p. v. 1.

ROQUE, W. R. et al. Correlação linear e espacial entre a resistência do solo ao penetrômetro e a produtividade do feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1827-1835, 2008.

ROSOLEM, C. A. et al. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 5, p. 821-828, 1999.

SÁ, M. A. C.; SANTOS JUNIOR, J. D. G. **Compactação do solo: consequências para o desenvolvimento vegetal**. Planaltina: Embrapa-Cerrados, 2005. 26 p.

SALVO FILHO, A. Notas sobre o tratamento fitossanitário em citros. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 18, n. 1, p. 155-163, 1997.

SANCHES, A. C. et al. Impacto do cultivo de citros em propriedades químicas, densidade do solo e atividade microbiana de um Podzólico Vermelho- Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n. 1, p. 91-9, 1999.

SANCHEZ, R.B. et al. Variabilidade espacial de propriedades de Latossolo e da produção de café em diferentes superfícies geomórficas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 489-495, 2005.

SANTOS, D. B.; COELHO, E. F.; AZEVEDO, C. A. V. Absorção de água pelas raízes do limoeiro sob distintas frequências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 327-333, 2005.

SANTOS, G. A. et al. Diferentes graus de compactação e fornecimento de fósforo influenciando no crescimento de plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivado em solos distintos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 740-750, 2005.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT user's guide: version 8.2**. Cary: Statistical Analysis System Institute, 2001. 943 p.

SECCO, D. et al. Atributos físicos e produtividades de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 407-414, 2005.

SCHÄFFER, B.; ATTINGER, W.; SCHULIN, R. Compaction of restored soil by heavy agricultural machinery - soil physical and mechanical aspects. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 93, n. 1, p. 28-43, 2007.

SCOTT, H. D.; WOOD, L. S. Impact of crop production on the physical status of a Typic Albaqualf. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 53, n. 6, p. 1819-1825, 1989.

SECCO, D. et al. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 797-804, 2004.

SERVADIO, P. et al. Effects on some soil qualities in central Italy following the passage of four wheel drive tractor fitted with single and dual tires. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 84, n. 1, p. 87-100, 2005.

SILVA, M. F.; LISBÔA, P. L. B.; LISBÔA, R. C. L. **Nome vulgares de plantas amazônicas**. Belém: INPA, 1977. 222 p.

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

SILVA, R. B. et al. Tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um Latossolo dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 973-983, 2003.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Management versus inherent soil properties effects on bulk density and relative compaction. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 44, n. 1, p. 81-93, 1997.

SOANE, B. D.; BLACKWELL, P. S.; DICKSON, J. W. Compaction by agricultural vehicles: a review. II - compaction under yres and other running gear. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 1, p. 373-400, 1981.

SOBRINHO, T. A. et al. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, p. 191-196, 2003.

SOUZA FILHO, A. P. S. **Potencialidades alelopáticas envolvendo gramíneas e leguminosas forrageiras e plantas invasoras de pastagens**. 1995. 137 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1995.

SOUZA L. D. et al. Distribuição das raízes dos citros em função da profundidade da cova de plantio em Latossolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros, **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 87-91, 2006.

SOUZA, L. S. Uso e manejo dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Cruz das Almas, 1996. **Anais...** Aracaju: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1996. p. 36-75.

SOUZA, L. S. A.; SILVA, J. F.; SOUZA, M. D. B. Composição florística de plantas daninhas em agrossistemas de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) e pupunheira (*Bactris gasipaes*). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 249-255, 2003.

SOUZA, C. K. et al. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um Latossolo em Jaboticabal (SP). **Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1067-1074, 2003.

SOUZA, L. D.; SOUZA, L. S.; LEDO, C. A. S. Disponibilidade de água em pomar de citros submetido à poda e subsolagem em Latossolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, p. 69-73, 2004a.

SOUZA, L. D. et al. Avaliação de plantas cítricas, em diferentes profundidades de plantio, em Latossolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 241-244, 2004b.

SOUZA, L. D. et al. Distribuição das raízes dos citros em função da profundidade da cova de plantio em Latossolo Amarelo dos Tabuleiros

Costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, p. 87-91, 2006.

STOLF, R. A compactação do solo e perspectivas da subsolagem em citros. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 8, n. 2, p. 283-308, 1987.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. Penetrômetro de impacto IAA/PLANALSUCAR-Stolf: recomendação para seu uso. **Revista STAB**, Piracicaba, v. 1, n. 3, p. 18-23, 1983.

TAYLOR, H. M. Methods of studying root systems in the field. **HortScience**, Alexandria, v. 21, n. 4, p. 952-956, 1986.

TARAWALLY, M. A. et al. Field compaction at different soil-water status: effects on pore size distribution and soil water characteristics of a Rhodic Ferralsol in Western Cuba. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 2, p. 95-103, 2004.

TAVARES FILHO, J. et al. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 393-399, 1999.

TERSI, F. E. A.; ROSA, S. M. A subsolagem no manejo de solo para os pomares de citros. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 16, n. 2, p. 289-298, 1995.

TINKER, P. B. Root distribution and nutrient uptake. In.: RUSSEL, R. S.; IGUE, K.; MEHTA, Y. R. (Ed.). **The soil/root system in relation to Brazilian Agriculture**. Londrina: IAPAR, 1981. p. 115-136.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 301-309, 1998.

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

TOY, T. J.; FOSTER, G. R.; RENARD, K. G. **Soil erosion**: processes, prediction, measurement, and control. New York: John Wiley & Sons, 2002. 337 p.

TREIN, C. R. **The mechanics of soil compaction under wheels**. 1995. 132 f. Tese (Doutorado) – Cranfield University, Silsoe, 1995.

TUFFI S, L. D. et al. Levantamento fitossociológico em pastagens degradadas sob condições de várzea. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 22, n. 3, p. 343-349, 2004.

USDA-NRCS. Soil Quality Institute, Ames, IA. Disponível em: <<http://soils.usda.gov/sqi/>>. Acesso em: 10 fev. 2013.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977. 509 p.

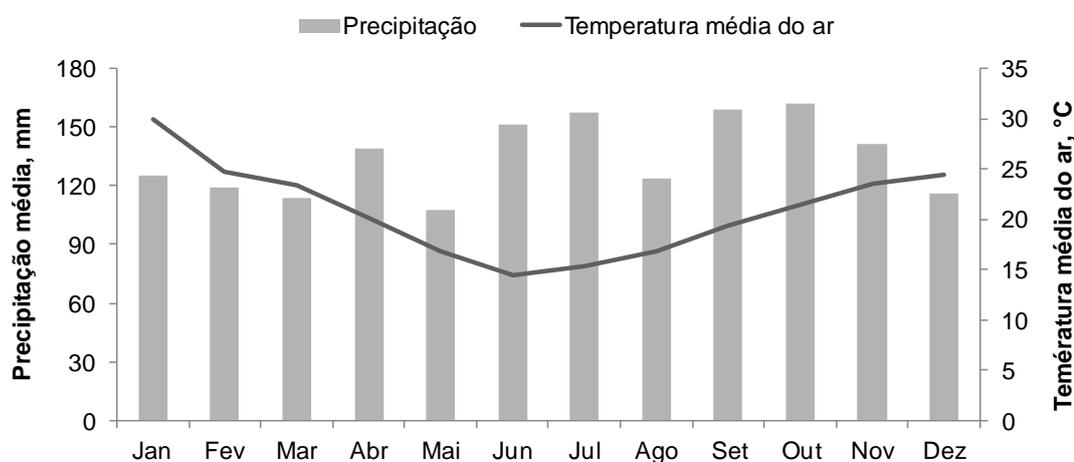
VASCONCELLOS, H. O.; ARAÚJO, C. M.; BRITTO, D. P. P. S. Manejo do solo em pomar de laranja Pêra (*Citrus sinensis*). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 11, p. 43-48, 1976.

VEIGA, M. et al. Soil compressibility and penetrability of an Oxisol from southern Brazil, as affected by long-term tillage systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 92, n. 1-2, p. 104- 113, 2007.

WEBBER, J. H.; REUTHER, W.; LAWTON, H. W. History and development of the citrus industry. In: REUTHER, W.; WEBBER, J. H.; BATCHELOR, L. D. (Ed.). **The citrus industry**. Riverside: University of California Press, 1967. v. 1, p. 1-39.

ZHANG, M. A. et al. Root distribution of grapefruit trees under dry granular broadcast vs. fertigation method. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 183, n. 1, p. 79-84, 1996.

## 7. APÊNDICE



Apêndice 1. Precipitação média anual e temperatura média anual da região do Vale do Caí no ano de 2012 (FEPAGRO, 2013).

Apêndice 2. Rendimento médio do pomar, expresso em números de frutos, peso de frutos (kg) e produtividade ( $t\ ha^{-1}$ ) sob diferentes manejos orgânico

| Tratamento | Rendimento médio/planta |                    | Produtividade<br>$t\ ha^{-1}$ |
|------------|-------------------------|--------------------|-------------------------------|
|            | Nº de frutos            | Peso de frutos, kg |                               |
| Grade      | 671                     | 62,90              | 31,45                         |
| Tronco V   | 670                     | 68,65              | 34,32                         |
| Roçadora   | 492                     | 48,31              | 24,16                         |
| Rolo faca  | 679                     | 71,29              | 35,64                         |

Nota: produtividade estimada tomando como base as 500 plantas presentes na parcela experimental.

Apêndice 3. Atributos químicos do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico (PVAd) do pomar, em três profundidades

| Tratamentos  | pH | SMP | V (%) | CTC pH7,0 | M.O.<br>% | Ca <sub>troc.</sub><br>--- cmolc/dm <sup>3</sup> --- | Mg <sub>troc.</sub><br>--- | P <sub>disp.</sub><br>----- | K <sub>disp.</sub><br>----- | Mn <sub>disp.</sub><br>mg/dm <sup>3</sup> ----- | Zn <sub>disp.</sub><br>----- | Cu <sub>disp.</sub><br>----- |
|--------------|----|-----|-------|-----------|-----------|--|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|------------------------------|------------------------------|
| 0,0-10,0 cm  |    |     |       |           |           |  |                            |                             |                             |   |                              |                              |
| Grade        | 7  | 7   | 99    | 15        | 69        | 14   | 1                          | 238                         | 72                          | 5   | 14                           | 7                            |
| Tronco V     | 7  | 7   | 99    | 13        | 49        | 11   | 1                          | 210                         | 77                          | 6   | 20                           | 11                           |
| Roçadora     | 7  | 7   | 99    | 11        | 42        | 10   | 1                          | 183                         | 68                          | 8   | 22                           | 19                           |
| Rolo faca    | 7  | 7   | 99    | 11        | 40        | 10   | 1                          | 180                         | 70                          | 11  | 18                           | 14                           |
| 10,0-20,0 cm |    |     |       |           |           |  |                            |                             |                             |   |                              |                              |
| Tronco V     | 7  | 7   | 98    | 5         | 8         | 4  | 1                          | 30                          | 31                          | 7   | 3                            | 4                            |
| Grade        | 7  | 7   | 98    | 5         | 11        | 4  | 0                          | 38                          | 22                          | 5   | 3                            | 5                            |
| Roçadora     | 7  | 7   | 98    | 5         | 8         | 4  | 1                          | 31                          | 32                          | 10  | 4                            | 5                            |
| Rolo faca    | 7  | 7   | 98    | 5         | 9         | 4  | 1                          | 22                          | 31                          | 13  | 3                            | 5                            |
| 20,0-40,0 cm |    |     |       |           |           |  |                            |                             |                             |   |                              |                              |
| Grade        | 6  | 7   | 97    | 3         | 1         | 2  | 0                          | 14                          | 11                          | 9   | 1                            | 2                            |
| Tronco V     | 7  | 7   | 97    | 4         | 1         | 3  | 1                          | 16                          | 21                          | 8   | 4                            | 7                            |
| Roçadora     | 7  | 7   | 97    | 4         | 1         | 3  | 1                          | 11                          | 21                          | 11  | 1                            | 2                            |
| Rolo faca    | 6  | 7   | 97    | 4         | 1         | 3  | 1                          | 9                           | 25                          | 14  | 1                            | 3                            |

Nota: Al<sup>3+</sup> trocável: nulo em todos os tratamentos