

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**SISTEMA RADICULAR E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO  
SOB DIFERENTES PREPAROS EM CITROS**

**RONNY SOBREIRA BARBOSA**

CAMPINAS  
FEVEREIRO DE 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**SISTEMA RADICULAR E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO  
SOB DIFERENTES PREPAROS EM CITROS**

Dissertação submetida à banca  
examinadora para a obtenção do  
título de Mestre em Engenharia  
Agrícola, na Área de Concentração  
em Água e Solo.

**RONNY SOBREIRA BARBOSA**

**Orientador: Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza**

CAMPINAS

FEVEREIRO DE 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

B234s      Barbosa, Ronny Sobreira  
             Sistema radicular e atributos físicos do solo sob  
             diferentes preparos em citros / Ronny Sobreira Barbosa.  
             --Campinas, SP: [s.n.], 2011.

             Orientador: Zigomar Menezes de Souza.  
             Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de  
             Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

             1. Solos - Estrutura. 2. Sistema radicular. 3. Solos -  
             Compactação. I. Souza, Zigomar Menezes de. II.  
             Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de  
             Engenharia Agrícola. III. Título.

Título em Inglês: Root system and soil physical properties under different  
                                 tillage in citrus

Palavras-chave em Inglês: Soil - Structure, Roots systems, Soil - Compaction

Área de concentração: Água e Solo

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Marlene Cristina Alves, Edson Eiji Matsura

Data da defesa: 24/02/2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Ronny Sobreira Barbosa**, aprovado pela Comissão Julgadora em 24 de fevereiro de 2011, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

**FEAGRI**

  
Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza – Presidente e Orientador  
Feagri/Unicamp



Prof. Dr. Marlene Cristina Alyes - Membro Titular  
FEIS/Unesp

  
Prof. Dr. Edson Eiji Matsura – Membro Titular  
Feagri/Unicamp

Faculdade de  
**Engenharia Agrícola**  
**Unicamp**

*“O homem é feito visivelmente para pensar; é toda a sua dignidade e todo o seu mérito; e todo o seu dever é pensar bem.”.*

***Blaise Pascal.***

*Aos meus grandiosos pais, Antonio e Rosalba, queridos irmãos, Ramon, Bárbara, Suéllen e Dayse, e sobrinhos, Ana Clara, Raiza, Lana, Rebeca, David Matheus e Davi Artur por sempre serem meu incentivo e minha razão.*

**DEDICO**

*A Deus, pela magnitude de sua presença em minha vida.*

**OFEREÇO**

## **AGRADECIMENTOS**

*A Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, pela estrutura oferecida.*

*Ao meu Orientador e amigo, Professor Dr. Zigomar Menezes de Souza, por me orientar com dedicação e muito esforço. Obrigado pelos seus domingos, sábados e feriados oferecidos para a construção deste trabalho. Obrigado também pela confiança, pelas ótimas condições de trabalho oferecidas e por ser um exemplo de profissional, sempre agindo juntamente com os valores éticos e morais.*

*Às pessoas que mais amo nesse mundo, minha família. Obrigado principalmente a Pai e Mãe, vocês são os principais responsáveis pela pessoa que sou hoje. Obrigado por me educar, por sempre me aconselhar e sempre me dar todas as condições para que eu pudesse seguir com meus estudos. Se hoje estou aqui, tudo é mérito de vocês.*

*A minha querida e amada namorada, Milla Reis de Alcântara, não só pelo carinho e pelo afeto que você me concedeu, mais por todos os dias que você esteve do meu lado durante essa árdua jornada.*

*A todos os professores da Pós-Graduação da FEAGRI, em especial ao Professor Dr. Edson Eiji Matsura, pela orientação dada e, a Professora Dra. Mara de Andrade Marinho Weil, pela dedicação e transferência de conhecimento.*

*Aos Professores da UNESP-Jaboticabal, Dr. José Marques Júnior e Dr. Gener Tadeu Pereira, o primeiro pelas grandes considerações feitas no exame de qualificação e, o segundo pela imensa ajuda no processo de análises estatísticas que me ajudaram muito na confecção de um trabalho conciso e de qualidade.*

*À pesquisadora do IAC, Isabella Clerici de Maria, pela constante ajuda dada no decorrer da confecção deste trabalho.*

*Ao pesquisador da EMBRAPA INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, Lúcio André de Jorge Castro, pela consagrada ajuda na análise com o software SIARCS no decorrer da minha pesquisa.*

*Aos técnicos laboratoriais, Célia, Júnior e Lucarelli, pelo perceptível auxílio, muitas vezes bem maior que suas obrigações.*

*Aos funcionários da FEAGRI, Célia, Marta, Sidnei, Alexandre, Fábio, Jurandir e Valdir, pelo empenho em sempre me ajudar em qualquer que fosse a situação.*

*Aos queridos amigos da Pós-Graduação: Gustavo, Gilka, Rose, Lorena, Fernando, Gerson, Atílio, Adriana, Franciana, Leonardo, Allan, Marcelo, Henrique, Carmel, Conan, Rojane, Laura, Poliana, Sabrina, Karla e todos os outros que convivi intensamente por todo esse tempo. Vocês são amigos para toda a vida....*

*Aos amigos da graduação da FEAGRI, Matheus, Mariana, Vicente, José Carneato, Gustavo, André e Tomaz, pela amizade e o respeito.*

*Aos amigos de UNICAMP Elson, Castro, Clívia, Moraes, Danilo, Félix e Gustavo, pelos sorrisos, conselhos e peripécias compartilhadas.*

*Aos meus amigos, Izabel, Maykon e Thiago, que mesmo distantes continuam mantendo nosso vínculo e amizade desde os tempos de UFPI.*

*Aos queridos professores da UFPI, responsáveis pela minha formação profissional. Em especial a Professora Dra. Regina Lúcia Ferreira Gomes e aos Professores Dr. Max César de Araújo e Dr. Francisco Edinaldo Pinto Mousinho, pelos ensinamentos, pelos conselhos, pelas portas abertas e pela amizade.*

*À Capes, pela concessão de bolsa, que possibilitou melhores condições para a realização deste trabalho.*

*Ao Grupo Fischer e parceiros, pelo apoio logístico fornecido, essencial para a realização desta pesquisa.*

*À todos,  
Muito Obrigado!*

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	x
LISTA DE FIGURAS .....	xii
RESUMO .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo geral .....	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. Importância da cultura da laranja .....	4
3.2. Desenvolvimento do sistema radicular de citros .....	5
3.3. Análises de raízes por imagens.....	9
3.4. Estrutura, aeração e compactação do solo.....	11
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4.1. Localização e Descrição da Área de Estudo.....	16
4.2. Coleta das Amostras de Solo.....	19
4.3. Avaliação do Sistema Radicular.....	20
4.4. Caracterização Física.....	22
4.5. Análises Estatísticas .....	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	26
5.1. Sistema radicular .....	26
5.2. Granulometria.....	29
5.3. Teor de água no solo e resistência do solo à penetração .....	30
5.4. Teor de carbono e agregação do solo .....	35
5.5. Porosidade do solo.....	39
1. Porosidade Total.....	39
5.6. Macroporosidade .....	41
5.7. Microporosidade.....	42
5.8. Densidade do solo.....	44
6. CONCLUSÕES.....	46
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	47
APÊNDICES .....	66

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Área ocupada com raízes de citros na linha e na entrelinha para os três sistemas de preparo em Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho.....	27
<b>Tabela 2.</b> Caracterização granulométrica para Argissolo Vermelho-Amarelo, em área cultivada com citros.....	29
<b>Tabela 3.</b> Caracterização granulométrica para Latossolo Vermelho, em área cultivada com citros. ....	30
<b>Tabela 2.</b> Teor de água no solo e resistência do solo à penetração nos quatro tratamentos e nas diferentes posições de coleta em Argissolo Vermelho-Amarelo.....	31
<b>Tabela 3.</b> Teor de água no solo e resistência do solo à penetração nos quatro tratamentos e nas diferentes posições de coleta em Latossolo Vermelho.....	33
<b>Tabela 4.</b> Diâmetro médio ponderado e teor de carbono no solo nos quatro tratamentos e três posições de coleta, em Argissolo Vermelho-Amarelo. ....	36
<b>Tabela 5.</b> Diâmetro médio ponderado e teor de carbono no solo nos quatro tratamentos e três posições de coleta, em Latossolo Vermelho.....	38
<b>Tabela 6.</b> Porosidade total de solos com textura arenosa e argilosa submetidos a diferentes sistemas de preparo, com amostragem em diferentes posições na trincheira.....	40
<b>Tabela 7.</b> Macroporosidade de solos com textura arenosa e argilosa submetidos a diferentes sistemas de preparo, com amostragem em diferentes posições na trincheira.....	42
<b>Tabela 8.</b> Microporosidade de solos com textura arenosa e argilosa submetidos a diferentes sistemas de preparo, com amostragem em diferentes posições na trincheira.....	43
<b>Tabela 9.</b> Densidade do solo em áreas com textura arenosa e argilosa submetidas a diferentes sistemas de preparo, com amostragem em diferentes posições na trincheira.....	45
<b>Tabela 10.</b> Valores de significância das variáveis do solo relativas ao Argissolo Vermelho-Amarelo na Linha de Plantio.....	67
<b>Tabela 11.</b> Valores de significância das variáveis do solo relativas ao Argissolo Vermelho-Amarelo na Projeção da Copa. ....	68
<b>Tabela 12.</b> Valores de significância das variáveis do solo relativas ao Argissolo Vermelho-Amarelo na Linha do Rodado.....	69

<b>Tabela 13.</b> Valores de significância das variáveis do solo relativas ao Latossolo Vermelho na Linha de Plantio.....	70
<b>Tabela 14.</b> Valores de significância das variáveis do solo relativas ao Latossolo Vermelho na Projeção da Copa. ....	71
<b>Tabela 15.</b> Valores de significância das variáveis do solo relativas ao Latossolo Vermelho na Linha do Rodado. ....	72
<b>Tabela 16.</b> Valores estatísticos relacionados à área de solo contendo raízes. ....	73

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Histórico pluviométrico e temperatura média da Microrregião de Avaré-SP, para o ano de 2010 (Fonte: INMET, 2010). .....	16
<b>Figura 2.</b> Implemento agrícola que realiza a tríplice operação para a cultura do citros.....	18
<b>Figura 3.</b> Trincheira com as posições de coletas de amostras de solo.....	19
<b>Figura 4.</b> Posição e dimensões das trincheiras utilizadas para as coletas.....	20
Figura 5. Rolo utilizado para a exposição de raízes para avaliação por meio de imagem digital. ....	21
<b>Figura 6.</b> Processo de pintura das raízes para avaliação por meio de imagem digital. ....	21
<b>Figura 7.</b> Lavagem das raízes para a obtenção das imagens digitais. ....	22

## RESUMO

As plantas cítricas possuem fácil adaptabilidade a vários tipos de solos, desde que os mesmos apresentem, principalmente, boas condições físicas. Um grave problema encontrado em pomares refere-se ao sistema de implantação da cultura, pois o seu caráter perene determina que o sistema de preparo do solo seja o mais eficaz possível para favorecer a formação de um ambiente favorável ao desenvolvimento do sistema radicular da cultura ao longo dos anos. Portanto, o objetivo desse trabalho foi identificar o efeito de diferentes sistemas de preparo do solo em áreas cultivadas com laranja, por meio da correlação entre atributos físicos e o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, em Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho. O experimento foi conduzido na microregião de Avaré em pomares da variedade “Valência” enxertada em “Swingle” com aproximadamente 3 anos de idade. Os sistemas de preparo avaliados foram: preparo reduzido, preparo com subsolagem e tríplice operação. Foram avaliados o sistema radicular por meio do SIARCS® e os atributos físicos: granulometria, teor de água no solo, porosidade do solo (total, macro e microporosidade), densidade do solo e estabilidade de agregados em água. As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 m, 0,30-0,40 m, 0,40-0,50 m, 0,50-0,75 m e 0,75-1,00 m. Foram avaliadas as relações entre o desenvolvimento do sistema radicular e os atributos físicos do solo, sendo que foram criados dois modelos lineares específicos, um para as análises estatísticas de raiz e o outro para avaliar os demais atributos, com o auxílio do *software* SAS. O sistema de preparo com o uso da tríplice operação promoveu boas condições para o desenvolvimento do sistema radicular da cultura da laranja, tanto em solos arenosos como em solos muito argilosos.

**Palavras-chaves:** tríplice operação, estrutura do solo, sistema radicular, compactação do solo.

## ABSTRACT

Citrus trees are adapted to different soil types, mainly if the soil conditions are good enough for their growing. A concern about citrus orchards is related to their growing system assembling because of their perennial characteristics is responsible to determine what kind of tillage system is most effective to promote the environment required for their root development over the years. Therefore the aim of this study was to identify the effect of different tillage systems in areas cultivated with orange through the correlation between physical development and the root systems of plants in Ultisol and Red Latosol. The experiment was conducted in the microregion of Avaré in orchards of the variety 'Valencia' grafted on 'Swingle' with about 3 years old. The tillage systems evaluated are reduced tillage, tillage with subsoiling, triple operation. The root system (area in cm<sup>2</sup>) through SIARCS<sup>®</sup> and physical attributes: texture, water content in soil, soil porosity (total, macro and micro), bulk density and aggregate stability in water were evaluated. Samples were collected at depths of 0.00-0.10 m, 0.10-0.20 m, 0.20-0.30 m, 0.30-0.40 m, 0.40-0.50 m, 0.50-0.75 m, 0.75-1.00 m. The relationship between the performance of the root system and soil physical properties were evaluated in order to develop two specific linear models where the first one was developed to statistical analysis related to the roots performance and the second one was developed to evaluate the other parameters. All statistical analyses were made through SAS statistical software. It is concluded that the kind of tillage system named the triple operation promotes good conditions for root system development of orange trees in both sandy soils and clayey soils.

**Keywords:** Triple operation, soil structure, roots systems, soil compaction.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de laranja para uso industrial, produz mais da metade do suco congelado e concentrado do mundo e suas vendas respondem por mais de 80% do comércio internacional. O estado São Paulo produz cerca de 80% da laranja utilizada pela indústria no Brasil, que está oficialmente estimada em 319 milhões de caixas na safra de 2009/10 (DIEESE, 2010). A produção de suco de laranja é uma das três primeiras atividades agrícolas, em termos de receita bruta, do Estado de São Paulo, onde existem 20 indústrias processadoras de suco e 13 mil citricultores. Gera US\$ 1,5 a US\$ 2,5 bilhões de dólares em divisas e emprega mais de 11.000 pessoas na indústria e 150 mil pessoas no campo, nos 400 municípios citrícolas presentes no Estado de São Paulo.

As plantas cítricas possuem vida útil entre 20 a 30 anos, sendo que algumas variedades começam a produzir em torno dos 4 anos de idade e o manejo que acontece nesse período provoca modificações na estrutura do solo. Os reflexos dessas modificações se prolongam por todo o ciclo da cultura e o impacto do ciclo anterior é refletido no próximo ciclo. Uma vez que, qualquer que seja a atividade que vise à mitigação desses efeitos, englobe o uso de implementos agrícolas que penetrem no solo, estes podem atingir o sistema radicular da cultura e comprometer o pomar. Portanto, o preparo do solo visando promover o ambiente favorável para um bom desenvolvimento do sistema radicular é essencial.

A não utilização de sistemas de preparo do solo que promovam revolvimento do solo em profundidade tem contribuído para o surgimento de danos nos atributos físicos do solo e o prolongamento destes para os ciclos posteriores, que tem por consequência a formação de ambiente pouco propício para o desenvolvimento do sistema radicular. O estudo sobre a distribuição e densidade do sistema radicular é essencial na citricultura, devido a sua importância na nutrição mineral e absorção de água, uma vez que a maior parte dos investimentos feitos na implantação e na condução de um pomar cítrico, como o preparo do solo e a adubação são realizados com o objetivo de fornecer um ambiente favorável ao desenvolvimento das raízes e, o conhecimento da sua distribuição no perfil do solo permite o uso mais racional das práticas agrícolas.

No Estado de São Paulo existem vários sistemas de preparo e manejo do solo em áreas cultivadas com citros, sendo utilizados por diferentes agricultores. Sabe-se que alguns possuem bons resultados no que diz respeito à produtividade, porém, requerem altos

investimentos. Por outro lado, também possuem produtores que utilizam sistemas acessíveis para grande maioria, no entanto, não possuem bom resultado no que diz respeito à qualidade física do solo e à produtividade das áreas. Portanto, é fundamental estudos de preparo do solo para implantação da cultura de citros.

Ainda não existe um sistema de preparo e manejo do solo estabelecido no Estado de São Paulo para o setor de citros, bem como estudos que garantam boa sustentabilidade ao sistema. Portanto, avaliar um novo sistema de preparo que vem sendo adotado pela empresa Fischer/Citrosuco e empresas parceiras (tríplice operação) aliado a mensuração do desenvolvimento do sistema radicular e produtividade da cultura pode garantir a sustentabilidade do sistema.

Pretende-se, avaliar neste trabalho, diversos métodos e técnicas para a caracterização dos atributos físicos do solo em laboratório e campo, bem como medidas da distribuição das raízes, visando estabelecer uma relação clara entre diferentes sistemas de preparo do solo e a formação de um ambiente favorável ao crescimento do sistema radicular.

## **1.1. HIPÓTESE**

O preparo do solo denominado tríplice operação proporciona melhores condições físicas do solo para o desenvolvimento radicular da variedade Valência em Argissolo e Latossolo quando comparado com os métodos tradicionais como o preparo reduzido e com subsolador.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Determinar a influência de diferentes sistemas de preparo do solo sobre o desenvolvimento do sistema radicular da cultura do citros, por meio de correlações entre os atributos físicos em Argissolo Vermelho-Amarelo e em Latossolo Vermelho.

### **2.2. Objetivos específicos**

1. Caracterizar por meio de processamentos de imagens digitais o desenvolvimento do sistema radicular da cultura, sob três sistemas de preparo do solo em Argissolo Vermelho-Amarelo e em Latossolo Vermelho, para a cultura do citros.
2. Avaliar a estabilidade de agregados em água, densidade do solo, porosidade do solo, resistência do solo à penetração e teor de carbono no solo sob três sistemas de preparo do solo em Argissolo Vermelho-Amarelo e em Latossolo Vermelho, para a cultura do citros.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Importância da cultura da laranja**

A citricultura está mais que consolidada na balança comercial brasileira, tendo como sua principal representante a cultura da laranja, sendo a fruta processada o maior produto derivado. Segundo dados divulgados pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior/Secretaria de Comércio Exterior (MDIC/SECEX, 2009), as exportações de suco de laranja foram de aproximadamente US\$ 1,6 bilhão.

O consumo mundial de laranjas vem aumentando constantemente. O alto consumo de suco de laranja congelado concentrado (FCOJ) na Europa foi uma das principais forças de apoio que ajudaram a provocar a expansão do consumo mundial. O consumo per capita de laranjas processadas também cresceu no Canadá e nos Estados Unidos, em compensação diminui o consumo de laranja in natura (SPREEN, 2010).

Os maiores produtores de laranja no mundo são Brasil, Estados Unidos, Índia, México e China (FAO, 2008). Porém, a citricultura brasileira está mais consolidada no cenário internacional, uma vez que ele é de longe, o maior produtor de laranja, sendo responsável por cerca de 80% do comércio mundial de FCOJ (GONZALEZ, 2008). A indústria citrícola brasileira movimenta cerca de R\$ 9 bilhões por ano e gera mais de 400 mil empregos diretos e indiretos, sendo cerca de 106 milhões de dólares gastos anualmente pelos produtores somente com a colheita manual. A eficiência e liderança do Brasil nesse mercado se devem a inovações em pesquisa, tecnologia e logística (NEVES e JANK, 2006).

No ano de 2009, o Brasil gerou por exportação do fruto da laranja cerca de US\$ 12 milhões e no ano de 2010, até agosto, o Brasil já havia gerado cerca de US\$ 14 milhões. Porém, a modalidade que mais rende ao país, que é o FCOJ gerou em 2009 cerca de US\$ 707 milhões e até o mês de agosto do ano de 2010, já havia gerado cerca de US\$ 441 milhões (SECEX, 2010).

O Estado de São Paulo é o maior responsável pelo destaque da citricultura brasileira no cenário do agronegócio mundial. Ele é o maior parque citrícola do mundo, onde estão localizadas as principais indústrias responsáveis pelo suco de laranja exportado pelo Brasil e possui uma área de aproximadamente 593 mil ha, o que corresponde a 71% da área plantada

total do país (IBGE, 2008) e foi responsável por 97% das exportações brasileiras de FCOJ, movimentando 3,2 bilhões de dólares (IEA, 2008). Na safra agrícola 2005/06 (safra industrial 2006/07), quatro Estados produziram 92,1% da produção total, estimada em 442,0 milhões de caixas: São Paulo (79,7%), Bahia (5,1%), Sergipe (4,2%) e Minas Gerais (3,2%) (IBGE, 2008).

Segundo Neves et al. (2007), a atividade citrícola proporciona aos municípios produtores condições de índices de desenvolvimento (IDH) superiores à média nacional, devido a geração de impostos e benefícios diretos em empregos, investimentos e consumo, sendo responsável pela geração de aproximadamente 64 mil empregos formais no campo, o que corresponde a cerca de 17% da força de trabalho rural total no Estado de São Paulo (MTE, 2008).

No que diz respeito à receita bruta da produção de laranja para os citricultores, pode-se dizer que essa atividade é de suma importância para a economia agrícola paulista. Uma pesquisa do Instituto de Economia Agrícola (IEA) mostra que, na safra agrícola 2006/07, o valor da produção de laranja (indústria e mesa) foi de R\$ 4,2 bilhões, o que significou 13,3% do valor bruto da produção agropecuária no Estado de São Paulo (TSUNECHIRO et al., 2008).

Segundo Sobrinho (2010), o preço da laranja subiu 44% na safra 2010, valor em dólar. A caixa de laranja está sendo negociada a US\$ 6,67, a maior média anual registrada pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) desde que a instituição iniciou o acompanhamento do valor dos contratos, em 2001. Os produtores vão receber entre R\$ 9,0 e R\$ 15,0 das indústrias por caixa de 40,8 quilos para a matéria prima a ser entregue nesta safra. Portanto, estes valores vêm comprovando a relevância da citricultura no âmbito do agronegócio nacional e internacional.

### **3.2. Desenvolvimento do sistema radicular de citros**

O processo de preparo do solo é uma etapa muito importante no processo produtivo de qualquer cultura. É ele que vai gerar no solo, as condições físicas iniciais para o desenvolvimento do sistema radicular da planta. Pode-se dizer que este processo, quando realizado de forma inadequada em culturas perenes, pode gerar prejuízos irremediáveis para a planta durante o seu ciclo.

A importância dos estudos sobre a condição física do solo e sua relação com o crescimento do sistema radicular das plantas é justificado pela representatividade que esse órgão possui na vida da planta, pois este é a sede de alguns dos principais processos físicos e metabólicos que atuam no funcionamento geral da planta (FIDALSKI et al., 2007; TESTEZLAF et al., 2007).

Os citros são espécies de origem asiática e são encontrados em várias regiões do mundo como uma cultura importante. A vida útil dessa planta varia em torno de 20 a 30 anos, no entanto elas podem viver por mais de um século (MALAVOLTA e VIOLANTE NETTO, 1989). No estado de São Paulo, é possível encontrar pomares comerciais com mais de 40 anos de idade e plantas com mais de 70 anos de idade em produção e com boas condições fitossanitárias, sendo estas isoladas ou enxertadas (TUBÉLIS, 1995).

As plantas cítricas apresentam uma grande massa foliar produzida no âmbito do seu crescimento, essas espécies apresentam consequentemente uma alta densidade de estômatos, sendo que uma planta adulta apresenta entre 50.000 a 100.000 folhas, que podem persistir durante 1 a 3 anos (MALAVOLTA e VIOLANTE NETTO, 1989). Essa característica os enquadra num grande grupo de plantas que não conseguem se desenvolver bem quando existem limitações ao acesso a oxigênio e solução do solo pelo sistema radicular. Uma vez que existe alguma resistência ao crescimento do sistema radicular e/ou ocorre um desarranjo na arquitetura das raízes, assim os pêlos absorventes atrofiam e isso está associado a uma baixa porosidade do solo e baixa condutividade hidráulica do solo, produzindo um desbalanço entre a absorção de água e a transpiração, o que resulta numa baixa qualidade da planta (KIEDEMANN e BARRS, 1981; PACE e ARAÚJO, 1986; LYNCH, 1995; MACHADO et al., 1999; MEDINA et al., 1999; BERGAMIN et al., 2010).

Por outro lado, quando essas plantas se encontram em solos soltos e bem estruturados, apresentam um vigoroso sistema radicular (MALAVOLTA e VIOLANTE NETTO, 1989). Jones e Embleton (1973) relatam a presença de raízes de citros a 10,2 metros de profundidade e estendendo-se até uma distância de aproximadamente 7,5 metros do tronco e, a maior concentração de raízes se encontra na profundidade de 0,40 a 0,60 m (RODRIGUEZ, 1980). Para Paiva et al. (1998), a disponibilidade de água no solo é mais importante para o crescimento do sistema radicular da cultura da laranja do que a disponibilidade de nutrientes.

Existem estudos que demonstram a variabilidade entre as variedades de citros no que diz respeito à forma, quantidade, profundidade do sistema radicular e, susceptibilidade à compactação do solo (KEMPER, 1981; MACHADO e COELHO, 2000; REZENDE et al., 2002; ABRÊU e SALVIANO, 2007). Os sistemas radiculares podem ser restritos tanto em solos compactados como em solos ácidos, como resultado da diminuição da absorção de nutrientes, causada por elementos tóxicos como alumínio, ou deficiência de nutrientes, principalmente fósforo e cálcio (ANGHINONI e MEURER, 1999).

O bom desenvolvimento da cultura citrícola ocorre em solos com ampla faixa de variação textural, porém, são os que apresentam em torno de 20% de argila (textura média) os mais adequados. O crescimento do sistema radicular dessa cultura está intimamente ligado à estrutura do solo. Para que isso ocorra, o solo deve estar com boa porosidade, boa permeabilidade e conseqüentemente boa drenagem, de forma que não existam limitações físicas ao crescimento do sistema radicular da planta, uma vez que, raramente são encontrados bons pomares com plantas desenvolvendo-se satisfatoriamente em menos de 100 centímetros de solo bem drenado, pois são plantas de folhas persistentes o ano todo, requerendo água continuamente (MALAVOLTA e VIOLANTE NETTO, 1989; OLIVEIRA, 1991).

O impedimento mecânico do solo à movimentação de água resulta na deficiência hídrica das plantas e diminui a sua capacidade fotossintética e, a redução do potencial da água nas plantas sob estresse hídrico contribuiu para o abaixamento da fotossíntese, condutância estomática, transpiração e eficiência de carboxilação, o que afeta diretamente o rendimento da cultura (MAGALHÃES FILHO et al., 2008).

Os autores Tersi e Rosa (1995) relatam que a baixa aeração do solo e a alta resistência do solo à penetração configuram um cenário de alta densidade do solo, o que é, segundo eles, um grave problema encontrado em pomares cítricos e que se dá devido ao preparo ineficaz do solo e ao tráfego excessivo, representado pelo elevado número de operações para realização de adubações, pulverizações e controle de plantas daninhas nessas áreas. Essa compactação 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).

Para a reutilização de uma área plantada anteriormente com citros, utilizando a mesma cultura, deve-se fazer uso da subsolagem para o plantio, com o objetivo de se romper à

camada compactada que se formou durante seu uso anterior. Esse processo modifica a estrutura do solo, reduzindo a resistência do solo à penetração, contribuindo na melhoria da circulação de ar, água e nutrientes e aumentando o volume de solo explorado pelas raízes, como foi observado em limão ‘Cravo’ sob laranja ‘Pêra’ (BORDIN et al., 2005). Segundo Camargo (1983) o sucesso desse processo está relacionado com a classe de solo e o nível de compactação e umidade que o mesmo se encontra, do tipo de implemento utilizado e da permanência do efeito descompactador da operação nas condições estruturais do solo.

Alguns autores são contrários ao uso de subsolador em áreas com a cultura implantada. Segundo Stolf (1987) a subsolagem é fonte de controvérsias, pois os benefícios advindos das melhorias dos atributos físicos do solo podem ser anulados ou mesmo tornados negativos pelos prejuízos causados ao sistema radicular. Os autores Castro e Lombardi Neto (1992) afirmam que o processo de descompactação mecânica deve ser realizado na instalação ou no manejo da cultura, porém, não há um critério definido em relação à distância mínima das plantas cítricas para passar o implemento sem causar danos ao sistema radicular.

Em estudo envolvendo a distribuição do sistema radicular de citros realizado no Estado de São Paulo, Montenegro (1960), observou em solo com horizonte de impedimento temporário à drenagem, a 0,90 m de profundidade, restrição ao crescimento de raízes até esta profundidade, com a maior concentração (85%) do sistema radicular na profundidade de 0,00-0,30 m. Em outro solo, sem qualquer impedimento, o sistema radicular distribuiu-se mais uniformemente no perfil, atingindo até 1,50 m de profundidade. Resultados semelhantes foram observados por Castle et al. (1993), obtidos na Flórida (EUA).

De acordo com o trabalho desenvolvido por Souza et al. (2008) no qual estudaram a distribuição do sistema radicular de citros em uma topossequência de solos de tabuleiro costeiro do Estado da Bahia, verificaram que as raízes de laranjeira ‘Hamlin’, enxertada em limoeiro ‘Cravo”, apresentaram grande sensibilidade à presença da coesão, com a densidade de raízes sendo 3,4 a 4,1 vezes maior no Argissolo Acinzentado (PAC) não coeso em relação ao Latossolo Amarelo Argissólico (LAX) e Argissolo Amarelo (PAX), ambos coesos. A profundidade efetiva do sistema radicular, até onde se encontraram 80% das raízes, foi maior no PAC, não coeso. Nos três solos, houve predominância de raízes com diâmetros < 1 mm, seguidas daquelas com diâmetros entre 1 e 2 mm e > 2 mm.

Apesar da importância do sistema radicular na absorção de água e nutrientes, a influência de sistemas de preparo na melhoria das condições físicas do solo para o plantio relacionado ao crescimento das raízes dos citros tem sido pouco estudada, portanto, não se tem informações suficientes na literatura para se determinar um sistema de preparo padrão para determinadas condições de solo no Estado de São Paulo.

### **3.3. Análises de raízes por imagens**

Para se compreender melhor o efeito da aplicação de um novo sistema de preparo no desenvolvimento de uma determinada cultura, não basta apenas se ter a compreensão de como estão configurados os atributos do solo. Para isso, é necessária a compreensão do que ocorre com a parte da planta que esta abaixo da superfície do solo, principalmente com relação ao crescimento e à distribuição de raízes no perfil, apesar desse estudo ser de grande dificuldade.

Vários trabalhos têm demonstrado a importância do estudo do sistema radicular de diferentes plantas cultivadas, apresentando também várias metodologias para caracterização de raízes, levando em conta custo, precisão e tempo de análise (RUSSEL e ELLIS, 1968; WILLAT et al., 1978; BÖHM, 1979; KÖPKE, 1981; CRESTANA et al., 1994; VASCONCELOS et al., 2003). Böhm (1979) relatou vários métodos de análises de raízes, sendo que os principais são os métodos de escavação, métodos do monólito, métodos da verruma ou trado e métodos da parede como perfil.

O método da escavação é o mais velho e consiste basicamente em expor o sistema radicular da planta "in situ", removendo o solo que cerca as raízes, pois têm que ser uma retirada muito cuidadosa com instrumentos especiais e jatos de ar ou água. Já o método do monólito consiste basicamente na retirada de um volume conhecido de solo, na forma de um "bloco" de volume conhecido, no qual as raízes são separadas por meio de lavagem com água, visando a avaliação da densidade de raízes. Apesar de ser eficiente, o método do monólito pode subestimar a quantidade de raízes na camada superficial do solo (VASCONCELOS et al., 2003).

O método da verruma ou trado, por sua vez, tem como objetivo principal a retirada de uma porção de solo com raiz a partir da introdução de coluna em forma de tubo metálico no solo para depois, se fazer o fracionamento de pequenos pedaços, para avaliações posteriores. Este é um método que pode superestimar a quantidade de raízes (VASCONCELOS et al., 2003). O método da parede como perfil, também chamado de método de perfil de trincheira

ocorre na medida em que uma trincheira é cavada ao lado das plantas de estudo e as raízes de planta são expostas nas paredes da trincheira.

Nesse contexto, pesquisadores desenvolveram uma ferramenta para a avaliação da distribuição de raízes no solo auxiliada por processamento de imagens digitais (CRESTANA et al., 1994). Para isso, desenvolveram o *software* SIARCS®, que é capaz de analisar essas imagens a partir de raízes lavadas ou do perfil do solo. Os resultados deste trabalho mostram a viabilidade desta ferramenta na avaliação da distribuição do sistema radicular de plantas cultivadas, por conta do seu custo, sua precisão e o seu tempo de análise. A partir daí foram desencadeados vários trabalhos com diferentes culturas e sistemas de manejo (BASSOI et al., 1994; FANTE JÚNIOR et al., 1994; ABI SAAB et al., 1996; BASSOI e ASSIS, 1996; CINTRA e NEVES, 1996; GUIMARÃES et al., 1996a; JORGE et al. 1996a; ROCHA FILHO et al., 1996).

Para a utilização do SIARCS®, as imagens são obtidas de duas formas: por meio de raízes lavadas e escaneadas. Estas imagens são analisadas e fornecem informações como área, comprimento e porcentagem das raízes presentes em cada quadrante (CRESTANA et al., 1994; JORGE et al., 1996a). O SIARCS®, por meio da análise de imagens digitais, pode ser considerado um avanço nas técnicas de estudo do sistema radicular, pois é efetuado de forma mais rápida e precisa.

Por meio do SIARCS® pode-se avaliar qualitativa e quantitativamente a distribuição de raízes, eliminando-se grande parte da subjetividade encontrada nos métodos de perfil e melhorando a precisão na análise (CRESTANA et al., 1994; CRUVINEL et al., 1996; GUIMARÃES et al., 1996b; JORGE e CRESTANA, 1996). A partir de imagens digitalizadas dos perfis pode-se determinar o comprimento, a distribuição e a área ocupada pelas raízes. Para amostras de raízes lavadas, o SIARCS® também pode ser utilizado na determinação do comprimento total das raízes.

O *software* SIARCS® foi usado por Abrêu e Salviano (2007) com a finalidade de avaliar o sistema radicular de três porta-enxerto para lima ácida ‘tahiti’ no estado do Piauí e, observaram que o sistema radicular do porta-enxerto limão Cravo apresentou melhor desempenho do que o sistema radicular dos outros dois porta-enxertos estudados, trifoliata Flying Dragon e citrumelo Swingle. A utilização desse programa possibilitou observar que a concentração do sistema radicular em todos os porta-enxertos foi maior na profundidade até

0,50 m, cerca de 90%, sendo que nos primeiros 0,2 m concentraram-se cerca de 60% das raízes.

Portanto, o SIARCS® surgiu como uma ferramenta avançada que facilita a determinação do comprimento, da área superficial, do volume e da análise da distribuição radicular ao longo do perfil de solo, uma vez que, estes parâmetros, quando calculados manualmente, são extremamente trabalhosos.

### **3.4. Estrutura, aeração e compactação do solo**

A estrutura do solo é considerada como uma de suas mais importantes propriedades do ponto de vista agrícola, já que está relacionada com outras propriedades fundamentais nas relações solo-planta, sendo que os diferentes sistemas de manejo do solo podem afetar significativamente a sua estrutura.

A estrutura do solo desempenha um papel importante na retenção de água, capacidade de infiltração, porosidade do solo e resistência do solo à penetração. Porém, alguns autores relatam que os resultados são contraditórios quando os atributos físicos do solo estão relacionados com o desempenho das plantas (NEVES et al., 2003). Uma das principais dificuldades advém do fato de que os atributos físicos do solo variam no que diz respeito ao tempo e posição no perfil do solo (LETEY, 1985).

Com relação à porosidade de aeração do solo, ela se torna limitante para o desenvolvimento da maioria das plantas quando for menor que 10 a 15% (STOLZY, 1974), podendo variar com a espécie vegetal. Independentemente da espécie vegetal, a maximização da produção é alcançada quando há disponibilidades adequadas de água, nutrientes e oxigênio, que são, direta ou indiretamente, influenciadas pela estrutura do solo.

A estrutura do solo ou microestrutura pode ser conceituada como o tamanho, forma e arranjo das partículas primárias e poros em ambos os materiais agregados ou não, e o tamanho, forma e arranjo de quaisquer agregados presentes (BULLOCK et al., 1985). Estes agregados do solo são oriundos do resultado de flocculação, cimentação e arranjo das partículas do solo e são importantes unidades básicas da estrutura do solo (OADES, 1984), além de terem grande impacto sobre a fertilidade, sustentabilidade e qualidade dos solos (LIU et al., 2010).

Os agregados do solo são ideais para a troca de ar de água e para a retenção e liberação de nutrientes, uma vez que o carbono (C), o nitrogênio (N) e o fósforo (P) existem

em diferentes componentes do solo com diferentes características de estabilidade (GUGGENBERGER et al., 1995). Além da estrutura, Southorn (2000) considerou também a textura do solo entre os diversos fatores de variação da porosidade do solo e da distribuição do tamanho de macro e microporos.

A estabilidade estrutural envolve estudos de resistência à alteração natural ou induzida na arquitetura do solo e de continuidade dos poros (CORSINI e FERRAUDO, 1999). Esta, por sua vez, envolve estudos de dispersibilidade, migração e obstrução de poros por partículas finas e sua relação com a permeabilidade do solo à água e ao ar. A porosidade total e a distribuição dos poros pelo tamanho, características físicas do solo indiretamente relacionadas à estrutura, podem ser avaliadas em termos de densidade e macroporosidade do solo.

Segundo Dexter (2004) existe dois tipos de porosidade do solo, porosidade textural e estrutural. Os poros que são drenados apenas a inflexão do ponto da curva de retenção de água podem ser na maioria classificadas como estruturais ou microporos que pode ser visto como alongamento de secções dos poros em duas dimensões. A porosidade textural é pouco afetada pela alteração dos atributos físicos do solo, enquanto a porosidade estrutural é sensível a fatores, tais como a compactação. Curmi et al. (1994) estudando a degradação da estrutura e das propriedades hídricas em solos cultivados, chegaram a conclusão que os poros texturais não são afetados pelo processo de compactação e que os poros estruturais têm seu tamanho e formato reduzido quando submetidos a processos de compactação.

De acordo com Bartholomeus et al. (2008) a observação da presença desses poros é de suma importância, uma vez que, eles são diretamente relacionados com a aeração do solo. A porosidade do solo interfere no crescimento das raízes, de forma direta pela determinação do volume de solo preenchido com ar e água. Além disso, as observações da distribuição e do tamanho dos poros possibilitam a determinação da capacidade de transporte de oxigênio para as raízes das plantas em todo o solo (LIPIEC e HATANO, 2003).

Na cultura da laranja, a observação da estrutura do solo é ainda de maior importância, uma vez que, o uso de maquinário para as operações de manejo, como adubações e pulverizações, provocam degradação da estrutura do solo nas áreas citrícolas, sendo que o maquinário chega a entrar na área quinze vezes por ano (STOLF, 1987; TERSI e ROSA, 1995). Baseando-se nisso, Soares et al. (2005) estudaram as alterações físicas e morfológicas

em solos cultivados com citros e verificaram que houve alteração da estrutura do solo em subsuperfície no pomar de laranjeira submetido ao cultivo convencional e intensivo do solo durante vários anos.

Um grave problema encontrado em pomares cítricos refere-se justamente à compactação do solo, que tem como fator determinante o tráfego de máquinas agrícolas (VEIGA et al., 2007) representado pelo elevado número de operações como adubações, pulverizações e controle de plantas daninhas, que tendem a se agravar na colheita das variedades tardias, que coincide com o período chuvoso, facilitando a compactação pela passagem das carretas e caminhões (TERSI e ROSA, 1995). E isso é um agravante, pois um dos fatores decisivos na compactação do solo é a realização das operações agrícolas com teores inadequados de água no solo (REICHERT et al., 2007; KLEIN et al., 2008). A compactação nos pomares cítricos pode ocorrer por toda área ou em locais determinados, que nem sempre são no centro das ruas, devido a distribuição do peso dos implementos pelos rodados (STOLF, 1987).

Os autores Dias Júnior e Pierce (1996) definem a compactação do solo como a compressão do solo não saturado. Segundo os autores, este evento acontece ao mesmo tempo em que ocorre uma reorganização estrutural das partículas e de seus agregados, resultando em aumento da densidade do solo e redução da macroporosidade e, conseqüentemente, na porosidade total que, por sua vez, ocorre em consequência da diminuição de volume do solo pela expulsão do ar. E segundo Stone et al. (2002) isso resulta em restrição ao crescimento da raiz, a qual afeta o crescimento da planta.

A compactação do solo está sendo muito pesquisada com o objetivo de se demonstrar claramente o seu efeito nos atributos físicos do solo. Essas pesquisas geraram mais de 3.000 referências no último quarto de século (ISI Web of Knowledge, 2009). A compactação aumenta a densidade do solo e a resistência do solo à penetração e diminui a porosidade total, o tamanho e a continuidade dos poros (HILLEL, 1982; MARSCHNER, 1995; LINQUIST et al., 1997).

Existem pesquisadores que afirmam que a compactação do solo pode ter efeitos benéficos, estes seriam atribuídos à melhoria do contato solo-semente e ao aumento da disponibilidade de água em anos secos (DIAS JÚNIOR, 2000). Porém, em altos níveis pode limitar a adsorção e/ou absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição de água e trocas

gasosas (SOANE, 1990). Isto pode determinar situações de déficit de água no solo e, caso as plantas tenham uma proporção menor do sistema radicular ou raízes mais curtas, como as plantas de citros, elas podem sofrer uma limitação severa do desenvolvimento do sistema radicular e, conseqüentemente, a sobrevivência da cultura (ALAMEDA e VILLAR, 2009). Segundo Hakansson e Voorhees (1997) sistemas que proporcionam pouco revolvimento do solo e apresentam tráfego de máquinas pesadas, pode promover compactação do solo acima de 0,4 m, como no sistema de citros.

Conforme Topp et al. (1997), Schoenholtz et al. (2000) e Singer e Ewing (2000) os atributos mais amplamente utilizados como indicadores de qualidade física do solo são aqueles que levam em conta a profundidade efetiva de enraizamento, como a porosidade total e a distribuição e tamanho dos poros, a distribuição do tamanho das partículas, a densidade do solo, a resistência do solo à penetração das raízes e a estabilidade dos agregados.

A identificação das camadas compactadas ocorre com a utilização de penetrômetros, que segundo Stolf (1991), são aparelhos que ajudam a identificar se uma área está ou não compactada. Suas determinações apresentam como principais vantagens, a facilidade e a rapidez na obtenção dos resultados (BENGHOUGH e MULLINS, 1990). Geralmente, a resistência do solo à penetração aumenta com o aumento da compactação ou densidade do solo e diminui de acordo com o aumento no teor de água no solo e, com o aumento da porcentagem de areia (PUPPALA et al., 1995). Aggarwal et al. (2006) consideram a resistência de 2,0 MPa, suficiente para impedir o crescimento do sistema radicular das plantas.

Segundo Camargo e Alleoni (1997), alguns cuidados devem ser tomados para evitar a invalidação das leituras desse equipamento, como por exemplo, a influência da textura, do teor de água no solo e, do tipo de equipamento na medida da resistência do solo à penetração, uma vez que, penetrômetros diferentes em solos iguais resultam em medidas diferentes de resistência do solo à penetração.

Os atributos físicos do solo, que passam por inúmeras mudanças provocadas pela compactação, indicam a sensibilidade do solo aos impactos dos sistemas de preparo do solo, e fornecem informação sobre a sua capacidade em manter determinada função (McQUEEN e SHEPHERD, 2002), assim, avaliações como a estabilidade de agregados (SILVA et al., 2000; BEUTLER et al., 2001; GONTIJO et al., 2008), a densidade e porosidade do solo (MARSILI et al., 1998; ISHAQ et al., 2001; McQUEEN e SHEPHERD, 2002; FIGUEIREDO et al.,

2009), têm sido utilizadas como indicadores físicos da qualidade do solo, viabilizando estratégias para avaliar alterações em diferentes sistemas de manejo.

De acordo com o trabalho desenvolvido por Bordin et al. (2005) no qual estudaram o desenvolvimento do sistema radicular de plantas cítricas e atributos físicos do solo em um Latossolo argiloso submetido à escarificação, verificaram que a escarificação não alterou a densidade do solo e a porosidade total do solo nas entrelinhas do pomar e a quantidade de raízes, independentemente da profundidade e posição em relação à planta. Ressaltando a importância de iniciar o plantio desta cultura com excelente qualidade no preparo do solo para garantir o bom desenvolvimento do sistema radicular e alta produtividade da cultura.

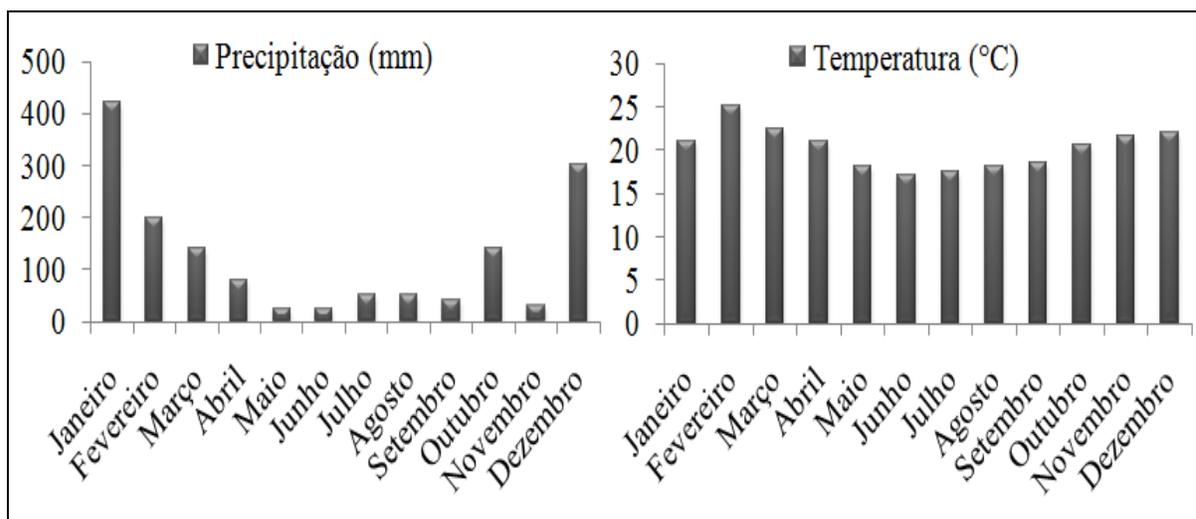
Os efeitos dos sistemas de preparo sobre os atributos físicos do solo podem ser manifestados diferentemente em relação à linha de cultivo. Sanches et al. (1999) avaliando o impacto do cultivo de citros em atributos físicos do solo, observaram maiores valores de densidade do solo na entrelinha. Lima et al. (2004) avaliando a heterogeneidade da compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pomar de laranja, verificaram que a compactação do solo aumentou no sentido das posições de amostragem como linha de plantio, enterrado, rodado das máquinas e implementos agrícolas e projeção da copa das plantas cítricas.

A compreensão e a quantificação do impacto dos sistemas de preparo do solo na sua qualidade física são fundamentais no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis, ainda mais em áreas com plantio de citros que tem sido pouco explorada na área de Ciência do Solo.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Localização e Descrição da Área de Estudo

As amostragens foram realizadas em áreas da empresa Fischer Citrosuco e de parceiros, situadas na microrregião de Avaré (SP), com coordenadas geográficas de 23° 05'56" de latitude sul e 48°55'33" de longitude oeste. Segundo a classificação de Köppen, o local onde foram realizadas as coletas situa-se numa região de clima subtropical (Cfa). Dentro dessa região, as coletas foram realizadas em fazendas situadas nos municípios de Pratânia, Iaras, Santa Cruz do Rio Pardo, Itai e Taquarituba. Os solos das áreas experimentais, conforme CAMARGO et al. (1987), pertencem à duas classes distintas, Argissolo Vermelho-Amarelo arenoso e Latossolo Vermelho argiloso. O período de coleta foi concentrado no primeiro semestre de 2010. Segue abaixo o histórico pluviométrico de temperatura média da Microrregião de Avaré no ano de 2010.



**Figura 1.** Histórico pluviométrico e temperatura média da Microrregião de Avaré-SP, para o ano de 2010 (Fonte: INMET, 2010).

Para cada classe de solo, foram selecionadas 4 áreas distintas, sendo 3 áreas agrícolas que foram submetidas a diferentes sistemas de preparo de solo e 1 área controle (mata nativa), somando um total de 8 áreas. As áreas agrícolas escolhidas para o experimento são povoadas pela variedade “Valência” enxertada em “Swingle”, com espaçamento de 7,0 m entre linhas e

3,0 m entre plantas e, com aproximadamente 3,0 anos de plantio e com gramíneas plantadas nas entrelinhas. As áreas agrícolas utilizadas neste experimento foram utilizadas anteriormente com a cultura da laranja, sendo que atualmente estão no segundo ciclo e o sistema de preparo utilizado no primeiro ciclo foi o preparo reduzido. Os sistemas de preparo estudados foram os seguintes:

1. Preparo reduzido (PR): consiste no preparo do solo com grade aradora em área total, composta de 18 discos de 34 polegadas cada, seguido de escarificação das linhas de plantio, utilizando tratores de 100 a 120 cv (MF 292 ou MF 297) para estas operações;

2. Preparo com subsolador (PS): consiste nas mesmas operações anteriores com acréscimo da demarcação da linha de plantio com trator equipado com GPS e subsolagem com implemento Ast-Matic 550, com 5 hastes de 0,75 m de profundidade. A profundidade atingida é em média de 0,70 m. Essa operação foi realizada com trator de pneu de 215 cv (MF 6360) ou trator de esteira com 180 cv;

3. Preparo com a tríplice operação (TO): consiste nas operações contidas nos sistemas de preparo citados anteriormente mais a utilização do implemento tríplice, que foi realizada com um trator de 180 cv (MF 680), que realizam simultaneamente na linha de plantio as operações de adubação do sulco, subsolagem da linha e construção do canteiro de plantio (Figura 2). O implemento de tríplice operação um equipamento não comercial que foi desenvolvido pela Fischer Citrosuco. Ele é equipado com subsoladores em formato de aiveca e possuindo orifícios que possibilitam a saída de fertilizantes. Do reservatório a estes orifícios existem um conjunto de mangueiras que conduzem os fertilizantes, as quais possibilitam a distribuição do produto em diferentes profundidades em toda a linha de plantio.



**Figura 2.** Implemento agrícola que realiza a tríplice operação para a cultura do citros.

Para o Argissolo Vermelho-Amarelo, as áreas de preparo reduzido, preparo com subsolador e tríplice operação estão situadas em fazendas nos municípios de Pratânia, Santa Cruz do Rio Pardo e Iaras, respectivamente. Para o Latossolo Vermelho, as áreas de preparo reduzido, preparo com subsolador e tríplice operação estão situadas em fazendas nos municípios de Itaí, Taquarituba e Iaras, respectivamente. As áreas controle foram escolhidas nas mesmas fazendas que possuíam áreas submetidas à tríplice operação.

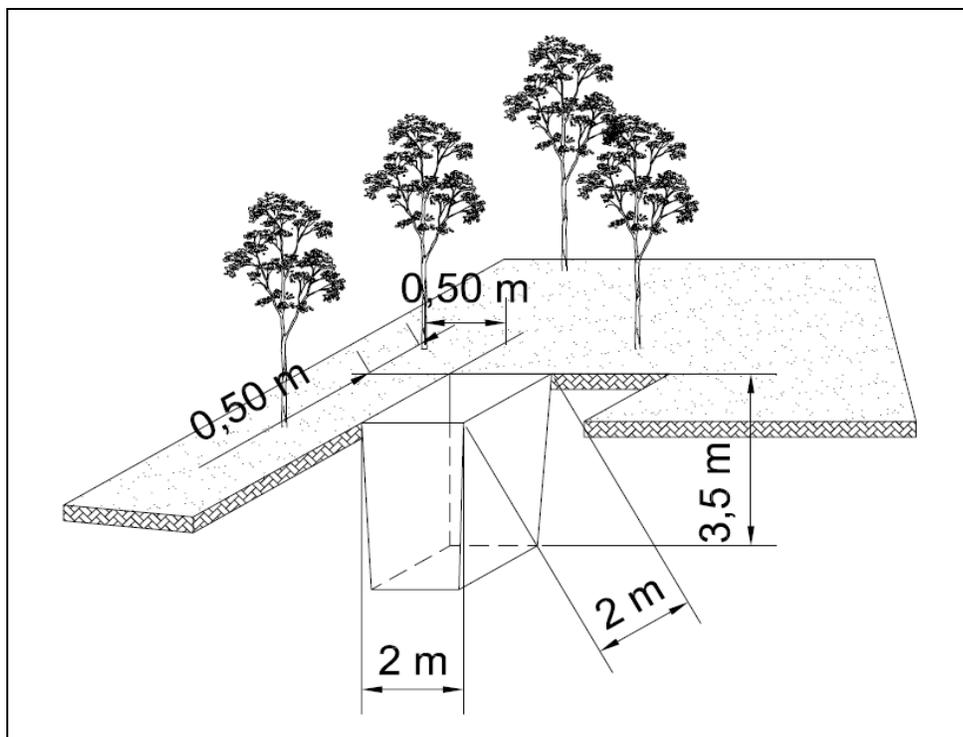
As amostragens foram efetuadas utilizando trincheiras como repetições, em número de 3 trincheiras por tratamento, resultando num total de 24 trincheiras. Estas trincheiras eram dispostas em locais escolhidos por sorteio dentro da área, obedecendo a uma distância mínima de 100 m das delimitações das áreas. Nas trincheiras, foram realizadas amostragens em 3 posições: 1) linha de plantio (LP); 2) projeção da copa das plantas (PC) e 3) linha do rodado (LR) (Figura 3).



**Figura 3.** Trincheira com as posições de coletas de amostras de solo.

#### **4.2. Coleta das Amostras de Solo**

Foram coletadas amostras deformadas para determinações de granulometria, teor de água no solo e teor de carbono orgânico no solo e indeformadas para porosidade do solo (total, macro e microporosidade), densidade do solo e estabilidade de agregados em água. Estas amostras foram coletadas em trincheiras de 3,5 m de profundidade, 2,0 m de comprimento e 2,0 m de largura (Figura 4). E foram avaliadas nas profundidades de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 m, 0,30-0,40 m, 0,40-0,50 m, 0,50-0,75 m e 0,75-1,00 m, nas três posições de coletas citadas anteriormente.



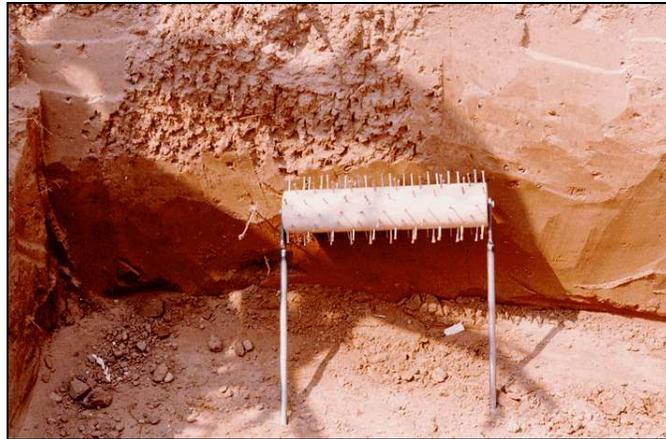
**Figura 4.** Posição e dimensões das trincheiras utilizadas para as coletas.

### 4.3. Avaliação do Sistema Radicular

Para a avaliação do sistema radicular, foram utilizadas as trincheiras mencionadas acima, de forma que  $\frac{1}{4}$  das raízes de cada planta fossem expostas para análise. As raízes foram expostas utilizando um rolo de madeira com pregos de 2,5 cm de comprimento (Figura 5) e posteriormente pintadas com tinta spray amarelo ou branco fosco (Figura 6). Depois de pintadas as raízes foram lavadas com jato d'água (Figura 7) e limpas cuidadosamente com a ponta de uma faca e lavadas para remoção de pequenos torrões de solo impregnados na raiz com a tinta (NEVES et al., 2000).

Foi utilizado um quadro de 1,40 x 1,40 m que corresponde a uma área de 19.600 cm<sup>2</sup> e, este foi subdividido em quatro quadrantes iguais. Este quadro foi utilizado para fornecer uma malha para possibilitar a realização das fotografias para compor a imagem total na linha e na entrelinha, sendo que a profundidade atingida foi de 2,80 m. Depois que as raízes foram devidamente pintadas e o quadro foi fixado na sua devida posição, iniciou-se o processo de obtenções de imagens com a utilização de câmara digital de 3.0 MPixel de resolução, em duas posições na trincheira, na linha de plantio e na entrelinha. Escalas verticais e horizontais foram utilizadas como referência espacial das imagens. As raízes foram quantificadas a partir das

imagens no laboratório pelo software SIARCS® desenvolvida pela Embrapa Instrumentação Agropecuária (JORGE et al., 1996b).



**Figura 5.** Rolo utilizado para a exposição de raízes para avaliação por meio de imagem digital.



**Figura 6.** Processo de pintura das raízes para avaliação por meio de imagem digital.



**Figura 7.** Lavagem das raízes para a obtenção das imagens digitais.

#### **4.4. Caracterização Física**

- a. **Análise granulométrica**, a análise granulométrica da terra fina foi realizada pelo método da pipeta, utilizando-se solução de NaOH 0,1N como dispersante químico e agitação com aparato de baixa rotação (CAMARGO et al., 1986). A areia grossa e fina foram separadas por tamisação e o silte foi calculado por diferença.
- b. **Densidade do solo e porosidade do solo**, amostras indeformadas foram coletadas com anéis volumétricos de 0,04 m de altura e 0,05 m de diâmetro, a microporosidade foi determinada em mesa de tensão e correspondeu à umidade volumétrica da amostra submetida a uma tensão de 0,006 MPa, após saturação (EMBRAPA, 1997). A porosidade total e a densidade do solo foram determinadas segundo metodologia descrita pela Embrapa (1997) e, a macroporosidade por diferença entre a porosidade total e a microporosidade.
- c. **Estabilidade de agregados**, foi determinada segundo metodologia de Kemper e Chepil (1965), no qual os agregados foram obtidos mediante manipulação com as mãos, aplicando força de tração, sendo usados para peneiramento em água os agregados que passaram na peneira de 9,52 mm e ficaram retidos na de 4,76 mm. Após secagem ao ar, os agregados foram colocados em contato com a água sobre a peneira de 4,76 mm por dez

minutos. Para peneiramento dos agregados em água, foram utilizadas as peneiras com diâmetros de malha 4,76, 2,0, 1,0, 0,5 e 0,25 mm.

d. **Teor de água no solo e resistência do solo à penetração**, o teor de água no solo foi obtido pelo método gravimétrico em amostras deformadas (EMBRAPA, 1997). Para determinação da resistência do solo à penetração, foi utilizado um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar com ângulo de cone de 30°. A transformação da penetração da haste do aparelho no solo (cm/impacto) em resistência à penetração foi obtida pela fórmula de Stolf (1991) (Equação 1):

$$R = \frac{Mg + mg + \left( \frac{M}{M + m} * \frac{Mg * h}{x} \right)}{A} \quad (1)$$

Onde: R é a resistência do solo à penetração em kgf cm<sup>-2</sup> (kgf cm<sup>-2</sup> \* 0,098 = MPa); M a massa do êmbolo, 4 kg (Mg – 4 kgf); m a massa do aparelho sem êmbolo, 3,2 kg (mg – 3,2 kgf); h a altura de queda do êmbolo, 40 cm; x a penetração da haste do aparelho, cm/impacto, e A a área do cone, 1,29 cm<sup>2</sup>.

Levando em consideração que a haste do penetrômetro de impacto possui 0,70 m, é importante ressaltar que para possibilitar esta avaliação a 1,0 m de profundidade a obtenção dos dados foi efetuada da seguinte forma:

1. A cada batida, anotavam-se quantos centímetros a haste penetrou.
2. Após a haste ultrapassar os 0,50 m, o penetrômetro de impacto era retirado do solo e a camada de solo referente à profundidade atingida pelo equipamento era também retirada.
3. Dessa forma era possível iniciar-se novamente a medição da resistência do solo à penetração abaixo da camada observada anteriormente, possibilitando assim, a medição até a profundidade desejada.

e. **Teor de carbono orgânico no solo**, foi utilizado o método de Walkley-Black para a leitura (EMBRAPA, 1997).

#### 4.5. Análises Estatísticas

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância com um fator pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade com o uso do *software* SAS (Statistical Analysis System Institute, 2008). Considerando o caráter subdividido deste experimento, foram criados dois modelos lineares para a análise estatística, sendo que um modelo foi para a análise de raízes e o outro para os demais atributos. Os modelos foram os seguintes:

##### 1. Área com raiz:

$$Y_{ijkl} =$$

$\mu + S_i + R_{l(i)}$      $\longrightarrow$  Parte do sistema de preparo;

$+ P_j + (PS)_{ij} + R_{l(ij)}$      $\longrightarrow$  Parte da posição da fotografia;

$+ Pr_k + (SPr)_{ij} + (PPr)_{jk} + (SPPr)_{ijk}$      $\longrightarrow$  Parte das profundidades analisadas;

$+ E_{ijkl}$      $\longrightarrow$  Parte do Erro;

Sendo que:

$\mu$  = Média geral comum a todos os fatores observados;

$S_i$  = Sendo o  $i$ -ésima sistema de repetições;

$R_{l(i)}$  = Repetição dentro do  $S_i$  (erro para  $S_i$ );

$i$ , variando de 1 a 3;

$j$ , variando de 1 a 2;

$k$ , variando de 1 a 11;

$l$ , variando de 1 a 3;

##### 2. Demais variáveis:

$$Y_{ijkl} =$$

$\mu + S_i + R_i$      $\longrightarrow$  Parte do sistema de preparo;

$+ Pr_k + (SPr)_{ij} + (PPr)_{jk} + (SPPr)_{ijk}$      $\longrightarrow$  Parte da profundidade de coleta;

$+ E_{ijk}$      $\longrightarrow$  Parte do Erro;

Sendo que:

$\mu$  = Média geral comum a todos os fatores observados;

$S_i$  = Sendo o  $i$ -ésima do sistema de repetições;

$R_{l(i)}$  = Repetição dentro do  $S_i$  (erro para  $S_i$ );

$i$ , variando de 1 a 4;

$j$ , variando de 1 a 3;

$k$ , variando de 1 a 7;

A aplicação destes modelos é indicada para situações em que não é possível a casualização dos fatores e, segundo Milliken e Johnson (1989) possibilita a avaliação dos fatores isolados e as interações entre eles.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1. Sistema radicular**

No Argissolo Vermelho-Amarelo, o sistema com tríplice operação apresentou maior área contendo raízes e diferiu dos demais tratamentos, para todas as profundidades (Tabela 1). Na linha de plantio a concentração de raízes na tríplice operação foi superior aos valores encontrados no preparo reduzido e com subsolador. Comparando os valores referentes aos sistemas de preparo reduzido e com subsolador, observa-se que não houve diferença significativa entre eles. Na profundidade de 1,40-2,10 m da linha de plantio verificou-se que as áreas com a tríplice operação apresentaram aproximadamente 75% das raízes, superior ao encontrado no preparo com subsolador. O mesmo ocorreu na profundidade de 2,10-2,80 m, onde a superioridade da área contendo raízes na tríplice operação em relação à observada no preparo reduzido foi próxima de 68%.

Na entrelinha, a configuração foi semelhante a que ocorreu na linha de plantio, sendo que houve diferença entre os tratamentos e profundidades estudadas (Tabela 1). A tríplice operação promoveu um ambiente mais favorável ao crescimento do sistema radicular, uma vez que possui maior área de solo com raiz do que os outros sistemas de preparo. Souza et al. (2007) obtiveram resultados semelhantes estudando o sistema radicular de citros em solos arenosos da Bahia.

Nas profundidades de 1,40-2,10 m e 2,10-2,80 m a tríplice operação foi superior ao preparo com subsolador em torno de 75% e 97%, respectivamente, na entrelinha (Tabela 1). Na linha e na entrelinha, a partir da profundidade de 0,75 m, não houve presença de raízes nos locais que foram submetidos ao preparo reduzido. As menores quantidades de raízes no perfil do solo ocorreram na entrelinha. Tanto na linha de plantio como na entrelinha, ocorreu maior concentração de raízes na profundidade de 0,00-0,10 m, concordando com os resultados obtidos por Bordin et al. (2005) que analisando o sistema radicular de plantas cítricas em solo submetido à escarificação, verificaram que a profundidade de maior concentração de raízes foi de 0,00-0,12 m. O mesmo foi confirmado por Zhang et al. (1996) e Carvalho et al. (1999) que encontraram 75% e 52% do total de raízes amostradas no perfil nas profundidades iniciais do solo para culturas de citros, respectivamente.

No solo argiloso, observa-se que existe diferença entre os sistemas de preparo na linha de plantio e na entrelinha (Tabela 1). Na linha de plantio, a tríplice operação apresentou cerca de 50% de área com raízes maior que o preparo com subsolador, para a profundidade de 1,40-2,10 m. Na profundidade de 2,10-2,80 m, a porcentagem de raízes apresentada na tríplice operação foi cerca de 63% maior que no preparo com subsolador. Nestas duas profundidades o preparo reduzido não apresentou raízes. A ocorrência de maior quantidade de raízes nas áreas que foram submetidas à tríplice operação pode ser atribuída às melhorias nas condições físicas do solo que este sistema proporciona. Montenegro (1960) estudando a distribuição do sistema radicular de citros no estado de São Paulo, observou para as parcelas que não apresentou compactação, o desenvolvimento do sistema radicular até cerca de 1,50 m de profundidade.

**Tabela 1.** Área ocupada com raízes de citros na linha e na entrelinha para os três sistemas de preparo em Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho.

Argissolo Vermelho-Amarelo							
Profundidades	Área Avaliada	Linha			Entrelinha		
		PR	PS	TO	PR	PS	TO
-----m-----	--cm <sup>2</sup> --	-----cm <sup>2</sup> -----					
0,00-0,10	1.400	80,12 Ab	102,96 Aab	198,00 Aa	35,36 Ab	36,08 Ab	50,63 Aa
0,10-0,20	1.400	51,81 Ab	46,90 Bb	91,71 ABa	23,68 ABb	19,72 Bb	28,56 ABa
0,20-0,30	1.400	30,45 Ab	19,63 Bb	46,28 Ba	16,10 ABb	17,80 Bb	27,70 ABa
0,30-0,40	1.400	18,16 Bb	20,72 Bb	41,14 Ba	13,73 ABb	16,59 Bb	23,80 ABa
0,40-0,50	1.400	10,15 Bb	15,05 Bb	31,71 Ba	13,42 ABb	12,99 Bb	26,61 ABa
0,50-0,75	3.500	6,71 Bb	16,87 Bb	60,00 Ba	10,89 Bc	30,84 Ab	55,85 Aa
0,75-1,00	3.500	0,91 Cb	18,46 Bb	59,63 Ba	0,84 Cc	29,99 ABb	54,69 Aa
1,00-1,40	5.600	1,69 BCb	26,72 Bb	44,73 Ba	0,56 Cc	23,90 ABb	43,60 Aa
1,40-2,10	9.800	0,00 Cb	7,49 BCb	28,95 Ba	0,00 Cc	5,24 BCb	20,90 Ba
2,10-2,80	9.800	0,00 Cb	2,74 Cb	8,67 Ca	0,00 Cc	0,16 Cb	6,47 Ba
Latossolo Vermelho							
Profundidades	Área Avaliada	Linha			Entrelinha		
		PR	PS	TO	PR	PS	TO
-----m-----	--cm <sup>2</sup> --	-----cm <sup>2</sup> -----					
0,00-0,10	1.400	16,71 Ab	22,27 Ab	98,66 Aa	9,73 Ab	9,81 Ab	18,92 Aa
0,10-0,20	1.400	10,80 ABb	10,14 Bb	45,70 ABa	6,51 Ab	5,36 Ab	10,67 Aa
0,20-0,30	1.400	6,35 Bb	4,25 Bb	23,06 Ba	4,43 Ab	4,84 Ab	10,35 Aa
0,30-0,40	1.400	3,79 BCb	4,48 Bb	20,50 Ba	3,78 Ab	4,51 Ab	8,90 Aa
0,40-0,50	1.400	2,12 BCb	3,26 BCb	15,80 BCa	3,69 Ab	3,53 Ab	9,95 Aa
0,50-0,75	3.500	5,57 Bc	28,78 Ab	54,95 ABa	3,00 Ac	14,58 Ab	38,17 Aa
0,75-1,00	3.500	5,57 Bc	26,81 Ab	57,65 ABa	2,45 Ac	14,82 Ab	34,15 Aa
1,00-1,40	5.600	1,06 Cc	18,63 ABb	43,24 ABa	0,30 Bc	11,82 Ab	27,22 Aa
1,40-2,10	9.800	0,00 Cc	7,49 Bb	28,95 Ba	0,00 Bc	5,24 Ab	20,90 Aa
2,10-2,80	9.800	0,00 Cc	2,74 Cb	8,67 Ca	0,00 Bc	0,16 Bc	6,47 Aa

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na profundidade de 1,40-2,10 m da entrelinha, o sistema com tríplice operação apresentou aproximadamente 33% a mais de raízes que o preparo com subsolador (Tabela 1). Na profundidade de 2,10-2,80 m, observa-se que a quantidade de raízes visualizadas na tríplice operação foi superior a encontrada no preparo com subsolador em torno de 70%. O preparo reduzido, por sua vez, não apresentou raízes a partir de 1,40 m na entrelinha. Melo Filho et al. (2009) observaram que o manejo tradicional de citros proporciona índice de qualidade regular, resultando em restrições do solo para permitir o crescimento e o aprofundamento do sistema radicular e prover o fornecimento e a disponibilidade de água para as plantas cítricas.

Observa-se que, para os solos arenosos e argilosos, as raízes ocorrem em menor quantidade na entrelinha, em relação à linha de plantio (Tabela 1). Isso pode ser atribuído ao impacto do tráfego de máquinas durante o período após o plantio, que de acordo com Flowers e Lal (1998) é o principal responsável pela compactação e, segundo Streck et al. (2004) esta compactação é responsável pela redução do crescimento e do desenvolvimento do sistema radicular das culturas. De Maria et al. (1999) afirmam que, o sistema radicular é reduzido em área compactadas, devido ao aumento da densidade do solo e da resistência do solo à penetração.

Em geral, a quantidade de raízes encontradas no solo de textura arenosa foi muito superior à observada no solo de textura argilosa, para todos os tratamentos estudados (Tabela 1). Concordando com os resultados obtidos por Malavolta e Violante Neto (1989), que afirmam, solos de textura arenosa apresentam melhor desenvolvimento do sistema radicular e produtividade para as plantas cítricas do que solos de textura argilosa.

Os resultados obtidos demonstram um grande desenvolvimento do sistema radicular abaixo de 1,0 m de profundidade para o sistema com tríplice operação (Tabela 1). Discordando dos resultados encontrados por Neves et al. (1998), Cintra et al. (1999) e Neves et al. (2004), os quais observaram grande concentração do sistema radicular das plantas cítricas na profundidade de 0,40 a 0,75 m. Portanto, a utilização da tríplice operação no sistema de preparo para a cultura da laranja no Estado de São Paulo é uma alternativa para a melhoria nas condições físicas do solo para essa cultura, resultando em um melhor desempenho fisiológico da planta, demonstrado no crescimento do sistema radicular.

## 5.2. Granulometria

Verifica-se diferença entre as profundidades para o teor de areia total, sendo que ocorreu maior concentração na profundidade de 0,00-0,20 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 m (Tabela 2). O inverso ocorreu com o teor de argila, que aumenta em profundidade. Analisando a Relação Textural (RT), podemos observar que o solo em questão é de fato da classe Argissolo, uma vez que apresenta RT de 1,82 que segundo a Embrapa (2006), é a RT de um Argissolo que apresenta menos de 15% no horizonte A. No entanto, as áreas em estudo pertencem a classe Argissolo.

**Tabela 2.** Caracterização granulométrica para Argissolo Vermelho-Amarelo, em área cultivada com citros.

Profundidades (m)	AREIA	ARGILA	SILTE
	-----g kg <sup>-1</sup> -----		
0,00-0,10	837 a	104 c	59 a
0,10-0,20	835 a	111 c	54 a
0,20-0,30	821 a	122 bc	57 a
0,30-0,40	812 ab	128 bc	59 a
0,40-0,50	800 b	139 b	61 a
0,50-0,75	789 bc	150 b	61 a
0,75-1,00	746 c	191 a	63 a

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A análise estatística mostrou ocorreu uma maior concentração de argila, em geral, nas profundidades de 0,50-0,75 m e 0,75-1,00 m (Tabela 3). Isso pode ocorrer devido a dispersão da argila com a realização do manejo intensivo do solo em condições de umidade inadequadas (HORN e LEBERT, 1994). Analisando a configuração da relação silte/argila, pode-se afirmar que estes solos estudados são bem intemperizados, apresenta uma relação silte/argila de aproximadamente 0,3 no horizonte B, o seu enquadramento em solos com horizonte B latossólico, ou seja, Latossolos (EMBRAPA, 2006).

**Tabela 3.** Caracterização granulométrica para Latossolo Vermelho, em área cultivada com citros.

Profundidades (m)	AREIA	ARGILA	SILTE
	g kg <sup>-1</sup>		
0,00-0,10	499 a	359 c	142 a
0,10-0,20	489 a	372 b	140 a
0,20-0,30	473 ab	395 ab	132 a
0,30-0,40	468 ab	409 ab	123 a
0,40-0,50	458 ab	410 ab	132 a
0,50-0,75	453 ab	421 a	126 a
0,75-1,00	442 b	421 a	138 a

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### 5.3. Teor de água no solo e resistência do solo à penetração

Comparando os valores estatísticos da resistência do solo à penetração, principalmente na linha de plantio, que é o local de maior importância para o desenvolvimento do sistema radicular da cultura da laranja, observa-se que os sistemas com tríplice operação e preparo com subsolador foram os que apresentaram uma resistência do solo à penetração mais próxima da área de mata nativa (Tabela 4). Porém, o sistema de preparo reduzido, a partir da profundidade de 0,30 m, não diferiu da mata nativa, devido ao maior teor de água no solo para este sistema. Utset e Cid (2001) afirmam que a resistência do solo à penetração apresenta forte correlação com o teor de água no solo, portanto, é fundamental a avaliação do teor de água no solo no momento da determinação da resistência do solo à penetração.

O baixo teor de água no solo no sistema com tríplice operação pode estar relacionada com o preparo do solo neste sistema, que promove uma ruptura dos agregados, aumentando a macroporosidade e o fluxo de água no perfil do solo e, conseqüentemente menor retenção de água (Tabela 4). Segundo Dias Júnior (2000) o não revolvimento do solo favorece a retenção de água, devido ao maior número de microporos, porém, esta água não está totalmente disponível para as plantas. O uso da tríplice operação propiciou um ambiente mais favorável ao desenvolvimento do sistema radicular da cultura em comparação aos outros sistemas. Bergamin et al. (2010) afirmam que o preparo do solo afeta a anatomia e o desenvolvimento do sistema radicular e, a resistência do solo à penetração é o indicador físico que melhor expressa esse efeito ao longo do perfil.

**Tabela 4.** Teor de água no solo e resistência do solo à penetração nos quatro tratamentos e nas diferentes posições de coleta em Argissolo Vermelho-Amarelo.

Profundidades (m)	Teor de água no solo				Resistência do solo à penetração			
	PR <sup>(1)</sup>	PS <sup>(2)</sup>	TO <sup>(3)</sup>	MN <sup>(4)</sup>	PR	PS	TO	MN
Linha de plantio								
	-----kg kg <sup>-1</sup> -----				-----MPa-----			
0,00-0,10	0,0833 Aa	0,0492 Ba	0,0473 Aa	0,0855 Aa	0,53 Ba	0,75 Aa	0,53 Aa	0,53 Ba
0,10-0,20	0,0819 Aa	0,0622 ABa	0,0466 Aa	0,0632 Aa	0,83 Ba	1,08 Aa	0,53 Aa	0,83 Ba
0,20-0,30	0,0948 Aab	0,1035 Aa	0,0584 Ab	0,0551 Ab	0,81 Bb	1,00 Aab	0,64 Ab	1,92 Aa
0,30-0,40	0,1075 Aa	0,079 Abab	0,0624 Ab	0,0509 Ab	2,00 Aa	0,79 Ab	0,65 Ab	1,97 Aa
0,40-0,50	0,116 Aa	0,089 Abab	0,0759 Aab	0,0509 Ab	2,21 Aa	1,00 Ab	0,75 Ab	1,50 ABab
0,50-0,75	0,1039 Aa	0,0916 ABa	0,0636 Aa	0,0632 Aa	2,24 Aa	1,01 Ab	1,07 Ab	1,49 ABab
0,75-1,00	0,1128 Aa	0,1042 Aa	0,0792 Aab	0,0473 Ab	1,28 ABa	1,10 Aa	1,10 Aa	1,51 ABa
Projecção de copa								
	-----kg kg <sup>-1</sup> -----				-----MPa-----			
0,00-0,10	0,0688 Ba	0,0697 Aa	0,0745 Aa	0,0855 Aa	0,87 Ca	0,96 Aa	0,53 Aa	0,53 Aa
0,10-0,20	0,0969 ABa	0,071 Aa	0,0881 Aa	0,0632 Aa	1,07 Ca	0,98 Aa	0,87 Aa	0,83 Aa
0,20-0,30	0,1059 Aa	0,083 Aab	0,0843 Aab	0,0551 Ab	1,12 Ca	0,85 Ab	0,96 Aab	1,92 Aa
0,30-0,40	0,1094 Aa	0,0957 Aa	0,0826 Aab	0,0509 Ab	2,48 Aa	1,28 Abc	0,95 Ac	1,97 Aab
0,40-0,50	0,1016 ABa	0,093 Aa	0,0773 Aab	0,0509 Ab	2,37 Aa	1,16 Ab	1,13 Ab	1,50 Aab
0,50-0,75	0,1057 Aa	0,1029 Aa	0,0865 Aab	0,0632 Ab	2,14 ABa	0,92 Ab	1,10 Ab	1,49 Aab
0,75-1,00	0,1107 Aa	0,1007 Aa	0,0885 Aa	0,0473 Ab	1,18 BCa	1,16 Aa	1,04 Aa	1,51 Aa
Linha do rodado								
	-----kg kg <sup>-1</sup> -----				-----MPa-----			
0,00-0,10	0,0978 Aa	0,0719 Aa	0,0658 Aa	0,0855 Aa	2,11 ABa	2,37 Aa	2,12 Aa	0,53 Ab
0,10-0,20	0,092 Aa	0,082 Aa	0,0791 Aa	0,0632 Aa	2,60 ABa	2,40 Aa	2,71 Aa	0,83 Ab
0,20-0,30	0,1123 Aa	0,0827 Aab	0,0701 Ab	0,0551 Ab	3,05 Aa	2,27 Aa	2,53 Aa	1,92 Aa
0,30-0,40	0,1169 Aa	0,0903 Aa	0,0735 Ab	0,0509 Ab	2,06 ABa	2,05 Aa	2,04 Aa	1,97 Aa
0,40-0,50	0,1128 Aa	0,1031 Aa	0,0721 Ab	0,0509 Ab	1,42 Ba	1,87 Aa	1,68 Aa	1,50 Aa
0,50-0,75	0,1106 Aa	0,111 Aa	0,071 Ab	0,0632 Ab	1,11 Ba	1,33 Aa	1,30 Aa	1,49 Aa
0,75-1,00	0,1156 Aa	0,1142 Aa	0,081 Ab	0,0473 Ab	1,22 Ba	1,02 Aa	1,09 Aa	1,51 Aa

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>(1)</sup>PR = preparo reduzido; <sup>(2)</sup>PS = preparo com subsolador; <sup>(3)</sup>TO = tríplice operação; <sup>(4)</sup>MN = mata nativa.

Não houve diferença para a resistência do solo à penetração entre as profundidades dentro de cada sistema de preparo isoladamente e em cada ponto de coleta (Tabela 4). Verifica-se que ocorreu um aumento da resistência do solo à penetração na profundidade de 0,20-0,30 m. Resultado semelhante foi observado por Roque et al. (2010) avaliando o controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em um latossolo cultivado com cana-de-açúcar, encontrando valores de resistência do solo à penetração considerados restritivos ao desenvolvimento do sistema radicular na profundidade de 0,10-0,30 m.

Na projeção da copa, observa-se que os valores de resistência do solo à penetração seguiram o mesmo comportamento da linha de plantio, assim como o teor de água no solo (Tabela 4). Os valores para o preparo reduzido, preparo com subsolador e tríplice operação até a profundidade de 0,20 m, foram iguais aos observados na mata nativa, demonstrando que os sistemas de preparo apresentam condições ideais para o desenvolvimento do sistema radicular nesta camada. O teor de água no solo não apresentou diferença nessa mesma profundidade entre os tratamentos.

A partir da profundidade de 0,20 m, observa-se maior teor de água no solo para o preparo reduzido em comparação aos sistemas com subsolador, tríplice operação e mata nativa (Tabela 4). Isso pode ser atribuído ao fato do preparo com subsolador e tríplice operação promover um maior revolvimento do solo em profundidade, que pode provocar condições que não propiciem uma maior retenção de água no solo arenoso. Na mata nativa, apesar de não haver revolvimento do solo, o fato de não haver tráfego de máquinas resulta na conservação das características adquiridas no processo de formação do solo, como alta permeabilidade, que possibilita grande movimentação de água e ar, promovendo menor teor de água no solo em comparação ao sistema de preparo reduzido. Resultados semelhantes foram observados por Costa et al. (2003), estudando os atributos físicos de um Latossolo Bruno afetados pelos sistemas semeadura direta e preparo convencional.

Na linha do rodado, o teor de água no solo se comportou de forma homogênea em entre as profundidades em todos os tratamentos estudados (Tabela 4). As médias referentes à resistência do solo à penetração não diferiu entre as profundidades de solo analisadas, com exceção da linha do rodado do preparo reduzido, que possui a partir da profundidade de 0,30 m, valor diferente dos observados nas demais profundidades. Isso pode ser atribuído ao “pé-de-grade”, que consiste na compactação provocada pelo uso de implementos como a grade pesada que foi utilizada em área total do preparo reduzido com a finalidade de nivelar o terreno.

A resistência do solo à penetração foi maior nos sistemas com preparo reduzido, preparo com subsolador e tríplice operação em relação a mata nativa, nas profundidades de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m (Tabela 4). Este fato ocorre devido ao intenso tráfego de veículos para as operações de manejo durante o ciclo da cultura, sendo mais agravante neste caso devido à cultura da laranja ser perene. Lima et al. (2004) estudando a heterogeneidade da

compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pomar de laranja, encontraram maior resistência do solo à penetração na camada superficial da linha do rodado.

**Tabela 5.** Teor de água no solo e resistência do solo à penetração nos quatro tratamentos e nas diferentes posições de coleta em Latossolo Vermelho.

Profundidades (m)	Teor de água no solo				Resistência do solo à penetração			
	PR <sup>(1)</sup>	PS <sup>(2)</sup>	TO <sup>(3)</sup>	MN <sup>(4)</sup>	PR	PS	TO	MN
Linha de plantio								
	-----kg kg <sup>-1</sup> -----				-----MPa-----			
0,00-0,10	0,2054 Aa	0,2617 Aa	0,0772 Ab	0,0859 Ab	1,14 Ca	1,10 Aa	1,02 Aa	1,07 Aa
0,10-0,20	0,2586 Aa	0,2291 Aa	0,0765 Ab	0,0906 Ab	1,16 Ca	1,18Aa	1,09 Aa	1,54 Aa
0,20-0,30	0,2414 Aa	0,2523 Aa	0,079 Ab	0,0937 Ab	1,47 BCa	1,22 Aa	1,15 Aa	1,53 Aa
0,30-0,40	0,2448 Aa	0,2506 Aa	0,0786 Ab	0,0906 Ab	2,94 Aa	1,32 Aa	1,18 Aa	1,16 Aa
0,40-0,50	0,2656 Aa	0,2703 Aa	0,0797 Ab	0,0916 Ab	2,52ABa	1,20 Ab	1,25 Ab	1,48 Aab
0,50-0,75	0,2279 Aa	0,2685 Aa	0,0873 Ab	0,0826 Ab	2,72 Aa	1,38 Ab	1,27 Ab	1,40 Ab
0,75-1,00	0,2472 Aa	0,2602 Aa	0,1038 Ab	0,0745 Ab	1,88 ABCa	1,79 Aa	1,70 Aa	1,66 Aa
Projecção de copa								
	-----kg kg <sup>-1</sup> -----				-----MPa-----			
0,00-0,10	0,3013 Aa	0,2136 Aa	0,0919 Ab	0,0859 Ab	1,41 Ba	1,25 Ba	1,18 Aa	1,07 Aa
0,10-0,20	0,2227 Aa	0,222 Aa	0,095 Ab	0,0906 Ab	1,26 Ba	1,21 Ba	1,17 Aa	1,54 Aa
0,20-0,30	0,2439 Aa	0,2341 Aa	0,1027 Ab	0,0937 Ab	1,22 Ba	1,27 Ba	1,16 Aa	1,53 Aa
0,30-0,40	0,2722 Aa	0,273 Aa	0,1041 Ab	0,0906 Ab	2,59 Aa	1,20 Bb	1,12 Ab	1,16 Ab
0,40-0,50	0,268 Aa	0,2548 Aa	0,1056 Ab	0,0916 Ab	2,64 Aa	1,20 Bb	1,18 Ab	1,48 Ab
0,50-0,75	0,2492 Aa	0,259 Aa	0,1141 Ab	0,0826 Ab	2,95 Aa	1,60 ABb	1,50 Ab	1,40 Ab
0,75-1,00	0,2621 Aa	0,2567 Aa	0,1245 Ab	0,0745 Ab	1,66 Ba	2,03 Aa	1,46 Aa	1,66 Aa
Linha do rodado								
	-----kg kg <sup>-1</sup> -----				-----MPa-----			
0,00-0,10	0,2207 Aa	0,2362 Aa	0,1039 Ab	0,0859 Ab	2,34 ABCa	2,62 ABa	2,20 ABa	1,07 Ab
0,10-0,20	0,2266 Aa	0,2357 Aa	0,0997 Ab	0,0906 Ab	2,58 ABCab	3,39 Aa	3,16 Aa	1,54 Ab
0,20-0,30	0,2209 Aa	0,242 Aa	0,1023 Ab	0,0937 Ab	3,51 Aa	3,39 Aa	3,30 Aa	1,53 Ab
0,30-0,40	0,2573 Aa	0,2585 Aa	0,0979 Ab	0,0906 Ab	3,18 ABa	2,16 ABab	2,66 ABa	1,16 Ab
0,40-0,50	0,2738 Aa	0,2591 Aa	0,0987 Ab	0,0916 Ab	2,71 ABCa	1,47 Ba	1,69 Ba	1,48 Aa
0,50-0,75	0,2744 Aa	0,2565 Aa	0,1125 Ab	0,0826 Ab	1,93 BCa	1,51 Ba	1,48 Ba	1,40 Aa
0,75-1,00	0,2554 Aa	0,2518Aa	0,1311 Ab	0,0745 Ab	1,56 Ca	1,85 Ba	1,55 Ba	1,66 Aa

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>(1)</sup>PR = preparo reduzido; <sup>(2)</sup>PS = preparo com subsolador; <sup>(3)</sup>TO = tríplice operação; <sup>(4)</sup>MN = mata nativa.

Observa-se que a concentração do teor de água no solo aumenta ao longo do perfil do solo analisado (Tabela 5). Nos três sistemas de preparo avaliados, verifica-se que na profundidade de 0,00-0,30 m, a retenção de água é menor que nas demais profundidades. Souza et al. (2004) analisaram a disponibilidade de água em pomar de citros submetido a poda e subsolagem em Latossolo Amarelo dos tabuleiros costeiros e, constataram que o maior

volume de água disponível às plantas ocorreu na profundidade de 0,90-1,50 m, devendo por isso ser viabilizado o acesso das raízes das plantas cítricas a esta profundidade, utilizando práticas que promovam o rompimento da camada coesa, como subsolagem e/ou o plantio de leguminosas nas entrelinhas.

Apesar de não haver diferença entre o teor de água no solo nos sistemas de preparo avaliados, foi nítido que no sistema de preparo com tríplex operação a retenção de água é menor que os demais tratamentos, uma vez que este sistema provoca um incremento do espaçamento entre as partículas de solo, causando maior percolação de água (Tabela 5). Resultados semelhantes foram obtidos por Tormena et al. (2004) estudando a influência de diferentes sistemas de preparo nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico.

A resistência do solo à penetração na linha de plantio não apresentou diferenças entre os tratamentos até a profundidade de 0,40 m (Tabela 5). A partir desta profundidade, apenas os sistemas de preparo com subsolador e tríplex operação apresentaram valores iguais aos observados na mata nativa. Carvalho Filho et al. (2006) estudando os efeitos de sistemas de preparo na cultura da soja, concluíram que os sistemas de preparo afetam o desenvolvimento da cultura e, que a grade proporciona condições inferiores para o desenvolvimento das plantas quando comparado com o ambiente proporcionado pelo escarificador.

Os valores de resistência do solo à penetração para os diferentes pontos de coleta atingiram o valor de 3,39 MPa para o preparo reduzido nas profundidades de 0,20-0,30 m e 0,30-0,40 m (Tabelas 3). Pesquisas têm demonstrado que valores de resistência do solo à penetração acima de 2,0 MPa comprometem o desenvolvimento do sistema radicular das culturas, com redução da produtividade (TAYLOR e BURNETT, 1964; GERARD et al., 1972; CANARACHE, 1990; MEROTTO e MUNDSTOCK, 1999; KAISER et al., 2009).

Observa-se que o uso do preparo reduzido, está promovendo a formação de uma camada compactada no solo e, provavelmente, deve estar afetando o desenvolvimento do sistema radicular (Tabela 5), uma vez que, em solos compactados, fica limitado o desenvolvimento do sistema radicular, a absorção de nutrientes, a infiltração e a distribuição de água (GREACEN e SANDS, 1980; LHOTSKÝ et al., 1991; FLOWERS e LAL, 1998; SILVA et al., 2006). Sanches et al. (1999) constataram que, independentemente da posição da amostragem, na linha ou na entrelinha da cultura da laranja, a resistência do solo à penetração foi maior do que no solo sob mata nativa.

Adotando o valor de 2,0 MPa como resistência do solo à penetração crítica ao desenvolvimento radicular das culturas (TORRES e SARAIVA, 1999), os resultados indicam que na linha de plantio e projeção da copa nos solos arenoso e argiloso os resultados estão abaixo deste valor para os sistema com tríplice operação e subsolador (Tabelas 2 e 3). Indicando que estes sistemas estão garantindo boa condição para implantação e desenvolvimento da cultura. Blainski et al. (2008) estudando diferentes sistemas de manejo do solo observaram valores superiores para a resistência do solo à penetração para a cultura do citros, sendo que os sistemas do solo que mantém o teor de água do solo promovem o desenvolvimento do sistema radicular mesmo com valores restritivos ao seu desenvolvimento.

#### **5.4. Teor de carbono e agregação do solo**

Observaram-se baixos teores de carbono orgânico do solo para áreas com textura arenosa (Tabela 6). Segundo Bayer et al.(2000) a areia proporciona pequena ligação dos componentes orgânicos com os constituintes coloidais minerais e, portanto, pequena proteção física, facilitando sua decomposição microbiana. De acordo com Trindade et al. (2009) a importância da manutenção da matéria orgânica em solos arenosos está vinculada à sua capacidade de melhorar o desenvolvimento das plantas, tendo em vista que ela segura grande quantidade de colóides e, ser a principal fonte de carga negativa nestes solos.

Nas áreas com solo arenoso o sistema com tríplice operação diferiu dos demais sistemas de preparo em todos os pontos de coleta para o diâmetro médio ponderado, sendo este sistema de preparo que mais se aproximou dos valores observados na área de mata nativa (Tabela 6). O valor de diâmetro médio ponderado na profundidade de 0,00-0,10 m foi de 2,47 mm na tríplice operação e de 1,19 mm na mata. Porém, em geral, os valores de diâmetro médio ponderado foram superiores aos outros tratamentos para as demais profundidades. Sá et al. (2003) observaram maiores valores de diâmetro médio ponderado em áreas de mata quando compararam áreas de diferentes coberturas vegetais em Argissolo Amarelo no Espírito Santo. Da Ros et al. (1997) em estudo comparativo entre sistemas de preparo após cinco anos de cultivo, verificaram que o diâmetro médio ponderado dos agregados no tratamento com semeadura direta foi estatisticamente equivalente ao do campo nativo.

**Tabela 6.** Diâmetro médio ponderado e teor de carbono no solo nos quatro tratamentos e três posições de coleta, em Argissolo Vermelho-Amarelo.

Profundidades (m)	DMP <sup>(1)</sup>				C <sup>(2)</sup>			
	PR <sup>(3)</sup>	PS <sup>(4)</sup>	TO <sup>(5)</sup>	MN <sup>(6)</sup>	PR	PS	TO	MN
Linha de plantio								
	-----mm-----				-----g kg <sup>-1</sup> -----			
0,00-0,10	0,89 Ab	0,39 Ab	2,47 Aa	1,19 Aab	0,88 Aa	0,76 Aa	1,03 Aa	0,79Aa
0,10-0,20	0,42 Aa	0,42 Aa	1,84 Aa	1,49 Aa	0,79 Aa	0,95 Aa	0,47 Aa	0,52 Aa
0,20-0,30	0,33 Ab	0,42 Aab	1,52 Aab	1,90 Aa	0,93 Aa	0,78 Aa	0,64 Aa	0,54 Aa
0,30-0,40	0,33 Aa	0,43 Aa	0,72 Ba	1,37 Aa	0,74 Aa	0,78 Aa	0,56 Aa	0,52 Aa
0,40-0,50	0,31 Ab	0,40 Aab	0,68 Bab	1,89 Aa	0,74 Aa	1,05 Aa	0,50 Aa	0,70 Aa
0,50-0,75	0,39 Ab	0,40 Ab	0,56 Bb	2,42 Aa	0,68 Aa	0,47 Aa	0,37 Aa	0,70 Aa
0,75-1,00	0,38 Ab	0,43 Ab	0,56 Bb	2,23 Aa	0,95 Aa	0,45 Aa	0,45 Aa	0,50 Aa
Projeção de copa								
	-----mm-----				-----g kg <sup>-1</sup> -----			
0,00-0,10	0,37 Aa	0,56 Aa	0,74 Aa	1,19 Aa	0,97 Aa	1,16 Aa	0,83 Aa	0,79 Aa
0,10-0,20	0,40 Aa	0,76 Aa	0,64 Aa	1,49 Aa	1,07 Aa	0,99 ABa	0,60 Aa	0,52 Aa
0,20-0,30	0,30 Ab	0,46 Ab	0,40 Ab	1,90 Aa	0,79 Aa	0,89 ABa	0,56 Aa	0,54 Aa
0,30-0,40	0,38 Aa	0,45 Aa	0,37 Aa	1,37 Aa	0,93 Aa	0,60 ABa	0,50 Aa	0,52 Aa
0,40-0,50	0,33 Ab	0,41 Ab	0,40 Ab	1,89 Aa	0,85 Aa	0,47 ABa	0,45 Aa	0,70 Aa
0,50-0,75	0,42 Ab	0,52 Ab	0,51 Ab	2,42 Aa	0,68 Aa	0,41 Ba	0,41 Aa	0,70 Aa
0,75-1,00	0,31 Ab	0,50 Ab	0,36 Ab	2,23 Aa	0,66 Aa	0,41 Ba	0,47 Aa	0,50 Aa
Linha do rodado								
	-----mm-----				-----g kg <sup>-1</sup> -----			
0,00-0,10	0,36 Aa	0,89 Aa	1,39 ABa	1,19 Aa	1,10 Aa	0,93 Aa	0,91 Aa	0,79 Aa
0,10-0,20	0,39 Ab	0,47 Ab	1,83 Aa	1,49 Aab	1,12 Aa	0,87 Aa	0,68 Aa	0,52 Aa
0,20-0,30	0,34 Ab	0,42 Ab	1,18 ABab	1,90 Aa	0,79 ABa	0,54 Aa	0,45 Aa	0,54 Aa
0,30-0,40	0,35 Aa	0,40 Aa	0,68 ABa	1,37 Aa	0,62 ABa	0,47 Aa	0,60 Aa	0,52 Aa
0,40-0,50	0,33 Ab	0,38 Ab	0,57 ABab	1,89 Aa	0,85 ABa	0,50 Aa	0,50 Aa	0,70 Aa
0,50-0,75	0,36 Ab	0,48 Ab	0,43 Bb	2,42 Aa	0,54 ABa	0,45 Aa	0,91 Aa	0,70 Aa
0,75-1,00	0,24 Aa	0,46 Aa	0,32 Ba	2,23 Ab	0,43 Ba	0,70 Aa	0,47 Aa	0,50 Aa

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>(1)</sup>DMP = diâmetro médio ponderado; <sup>(2)</sup>C = Teor de carbono no solo; <sup>(3)</sup>PR = preparo reduzido; <sup>(4)</sup>PS = preparo com subsolador; <sup>(5)</sup>TO = tríplice operação; <sup>(6)</sup>MN = mata nativa.

Os menores valores de diâmetro médio ponderado nas três posições de coleta de amostras nas áreas que foram submetidas ao preparo reduzido podem estar relacionados ao uso da grade niveladora (Tabela 6). Silva e Ribeiro (1992) estudando o cultivo contínuo de cana-de-açúcar em solos arenosos no Estado de Alagoas, observaram redução da agregação do solo nas profundidades de 0,00-0,20 m e 0,20-0,40 m e, isso foi atribuído, dentre outros, ao sistema de preparo com uso da grade niveladora, que contribuíram para a destruição dos agregados dos solos.

Outro fator que pode ser atribuído ao maior valor de diâmetro médio ponderado na tríplice operação é a ação mecânica das raízes, que promove a aproximação das partículas unitárias, contribuindo para a manutenção e o aumento da estabilidade dos agregados (Tabela 6). O mesmo comportamento foi observado por Maia e Ribeiro (2004) avaliando as modificações de atributos físicos de um Argissolo Amarelo em Alagoas, submetido a diferentes períodos de cultivo de cana-de-açúcar, constataram a influência do sistema radicular da cultura sobre a agregação do solo.

Para o solo argiloso, as análises estatísticas mostraram que o sistema com tríplice operação, em todos os pontos de coleta, diferiu do sistema de preparo reduzido e preparo com subsolador e da mata nativa (Tabela 7). Os valores de diâmetro médio ponderado variaram de 0,34 a 0,94 mm na tríplice operação para os pontos de coleta estudados e, isso pode estar relacionado ao baixo teor de carbono orgânico no solo, que foi baixo e diferiu dos valores observados nos sistemas de preparo reduzido e com subsolador e da mata nativa. Assis e Lanças (2005) avaliando os atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo, verificaram que a distribuição dos agregados dos solos sob semeadura direta com 12 anos foi a que mais se aproximou ao solo sob mata.

O sistema de preparo reduzido promove pouco revolvimento do solo e, esse deve ser provavelmente a principal razão dele ter apresentado valores de diâmetro médio ponderado maior que os outros dois sistemas (Tabela 7). Para Alvarenga et al. (1986) e Carpenedo e Mielniczuk (1990) sistemas que promovem pouco revolvimento no solo geram melhor condições de agregação. Resultados semelhantes foram observados por Corrêa (2002) analisando a interação de diferentes sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um latossolo, verificaram que sistemas de preparo com pouco revolvimento do solo propiciam um cenário de maior percentagem de agregados em relação aos sistemas que revolvem em profundidade.

Verificou altos valores de diâmetro médio ponderado na linha do rodado (Tabela 7). Isso pode estar relacionado à grande concentração de gramíneas que são utilizadas para manter o solo coberto nas entrelinhas, pois de acordo com Silva e Mielniczuk (1998), o sistema radicular das gramíneas possui efeito positivo nos fatores de agregação do solo. Segundo Oades (1978) as raízes estimulam a agregação tanto pela promoção de uma alta população microbiana, como pelo suprimento de resíduos orgânicos.

**Tabela 7.** Diâmetro médio ponderado e teor de carbono no solo nos quatro tratamentos e três posições de coleta, em Latossolo Vermelho.

Profundidades (m)	DMP <sup>(1)</sup>				C <sup>(2)</sup>			
	PR <sup>(3)</sup>	PS <sup>(4)</sup>	TO <sup>(5)</sup>	MN <sup>(6)</sup>	PR	PS	TO	MN
Linha de plantio								
	-----mm-----				-----g kg <sup>-1</sup> -----			
0,00-0,10	1,52 Aab	1,45 Aab	1,58 Ab	1,66 Aa	1,92 Aa	1,63 Aa	0,89 Ab	1,94 Aa
0,10-0,20	1,15 Aab	1,38 Aa	0,91 Ab	0,78 Bab	1,65 ABa	1,51 ABa	0,74 Ab	1,64 ABa
0,20-0,30	1,08 Aa	1,23 Aa	0,48 Aa	0,99 ABa	1,24 ABa	1,14 ABCa	0,60 Ab	1,28 BCa
0,30-0,40	1,25 Aa	1,39 Aa	0,56 Aa	0,57 Ba	1,20 BCa	1,07 BCab	0,66 Ab	1,20 BCa
0,40-0,50	1,50 Aa	1,35 Aab	0,49 Ab	0,48 Bb	1,16 BCa	0,72 CDab	0,58 Ab	0,85 CDab
0,50-0,75	1,40 Aa	1,06 Aab	0,43 Ab	0,63 Bab	0,70 CDa	0,54 Da	0,56 Aa	0,54 Da
0,75-1,00	0,90 Aa	0,84 Aa	0,44 Aa	0,64 Ba	0,47 Da	0,52 Da	0,50 Aa	0,52 Da
Projeção de copa								
	-----mm-----				-----g kg <sup>-1</sup> -----			
0,00-0,10	1,72 Aa	1,17 Aa	0,46 Ab	1,66 Aa	1,67 Aa	1,65 Aab	0,78 Ab	1,94 Aa
0,10-0,20	1,23 Aa	1,20 Aa	0,42 Aa	0,78 Ba	1,47 ABab	1,30 ABab	0,72 Ab	1,64 ABa
0,20-0,30	1,02 Aa	0,91 Aa	0,34 Aa	0,99 ABa	0,87 ABa	0,93 Ba	0,54 Aa	1,28B Ca
0,30-0,40	1,40 Aa	1,26 Aa	0,44 Aa	0,57 Ba	1,34 ABa	0,74 Ba	0,48 Aa	1,20 BCa
0,40-0,50	1,58 Aa	1,27 Aab	0,39 Ab	0,48 Bb	0,91 ABa	0,83 ABa	0,64 Aa	0,85 CDa
0,50-0,75	1,21 Aa	1,01 Aa	0,44 Aa	0,63 Ba	1,01 ABa	0,56 Ba	0,37 Aa	0,54 Da
0,75-1,00	0,90 Aa	0,43 Aa	0,46 Aa	0,64 Ba	0,74 Ba	0,41 Ba	0,33 Aa	0,52 Da
Linha do rodado								
	-----mm-----				-----g kg <sup>-1</sup> -----			
0,00-0,10	1,59 Aa	1,86 Aa	0,94 Aa	1,66 Aa	1,51 Aa	1,61 Aa	0,78 Ab	1,94 Aa
0,10-0,20	1,37 Aa	1,23 ABa	0,49 Aa	0,78 Ba	1,03 ABCab	1,34 ABa	0,56 Ab	1,64 ABa
0,20-0,30	1,33 Aa	1,12 ABa	0,71 Aa	0,99 ABa	0,89 ABCab	0,85 BCab	0,50 Ab	1,28 BCa
0,30-0,40	1,57 Aa	1,10 ABab	0,44 Ab	0,57 Bb	1,16 ABa	0,68 BCab	0,33 Ab	1,20 BCa
0,40-0,50	1,20 Aa	1,10 ABa	0,37 Aa	0,48 Ba	0,79 BCa	0,78 BCa	0,37 Aa	0,85 CDa
0,50-0,75	0,73 Aa	0,80 Ba	0,51 Aa	0,63 Ba	0,64 BCa	0,54 Ca	0,29 Aa	0,54 Da
0,75-1,00	1,11 Aa	0,53 Ba	0,39 Aa	0,64 Ba	0,50 Ca	0,60 Ca	0,29 Aa	0,52 Da

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>(1)</sup>DMP = diâmetro médio ponderado; <sup>(2)</sup>C = Teor de carbono no solo; <sup>(3)</sup>PR = preparo reduzido; <sup>(4)</sup>PS = preparo com subsolador; <sup>(5)</sup>TO = tríplice operação; <sup>(6)</sup>MN = mata nativa.

Os valores de carbono orgânico no solo observados no sistema de preparo reduzido foram, em geral, iguais aos da mata nativa (Tabela 7). Isso pode ser atribuído ao pouco revolvimento do solo que esse sistema de preparo proporciona. Resultados semelhantes foram observados por Ghani et al. (2003), quando compararam solos com e sem pastejo animal e, por Saviozzi et al. (2001), que verificaram que solos da Itália sob pastagem apresentaram maior quantidade de carbono orgânico que os solos sob floresta e cultivo agrícola.

Ocorreu uma redução do diâmetro médio ponderado em profundidade para o solo arenoso e argiloso em todos os pontos de coleta (Tabelas 6 e 7). Esta redução do diâmetro

médio ponderado em profundidade está provavelmente relacionada com o teor de carbono orgânico, pois este atributo do solo apresenta grande superfície específica e capacidade de troca de cátions, possibilitando maior número de ligações eletrostáticas entre esta e as partículas de solo. Além disso, a sua decomposição por microrganismos resulta na formação de inúmeros compostos importantes na cimentação e estabilização dos agregados (ANGERS, 1992).

O revolvimento do solo para o plantio aumenta o contato do ar com a matéria orgânica, acelerando a sua decomposição, refletindo em seu decréscimo ao longo dos anos e, conseqüentemente diminuindo a estabilidade de agregados (Tabelas 6 e 7). Segundo Silva et al. (2000) devido o preparo do solo com arado de disco e grade aradora ao longo dos anos, ocorre uma compressão das partículas do solo, sem, entretanto, afetar os mecanismos que contribuem para a estabilização desses torrões, não apresentando as qualidades positivas de um agregado. Esse tipo de agregado, segundo Horn et al. (1990), possui menor grau de resistência interna, o que causa a deterioração da estrutura do solo, formando agregados grandes, porém, densos e fracos, com poucos poros interagregados e de menor diâmetro.

## **5.5. Porosidade do solo**

### **1. Porosidade Total**

No solo de textura arenosa, observa-se que na linha de plantio não houve diferença entre o preparo reduzido, tríplice operação e a mata, em todas as profundidades estudadas (Tabela 8). O sistema de preparo reduzido chegou a apresentar valores 41% menores que os valores observados na mata nativa. O mesmo não ocorreu para o solo argiloso, que não mostrou diferenças significativas de porosidade total na linha de plantio entre os tratamentos e profundidades estudadas.

Na projeção de copa, foi o local onde se verificou maior diferença entre os valores de porosidade total para os dois solos estudados (Tabela 8). Houve uma diminuição na porosidade total na profundidade de 0,20-0,30 m e 0,30-0,40 m no preparo reduzido em relação aos demais tratamentos. Resultados semelhantes foram observados por Araújo et al. (2004) comparando solo cultivado com mata nativa, observaram que os valores de porosidade total do solo foram menores no solo cultivado.

**Tabela 8.** Porosidade total de solos com textura arenosa e argilosa submetidos a diferentes sistemas de preparo, com amostragem em diferentes posições na trincheira.

Profundidades (m)	Solo arenoso				Solo argiloso			
	PR <sup>(1)</sup>	PS <sup>(2)</sup>	TO <sup>(3)</sup>	MN <sup>(4)</sup>	PR	PS	TO	MN
	Linha de plantio							
	-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----				-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----			
0,00-0,10	0,423 Aa	0,414 Aa	0,420 Aa	0,422 Aa	0,593 Aa	0,606 Aa	0,599 Aa	0,601 Aa
0,10-0,20	0,408 Aa	0,405 Aa	0,397 Aa	0,399 Aa	0,644 Aa	0,647 Aa	0,645 Aa	0,649 Aa
0,20-0,30	0,230 Cb	0,390 Aa	0,392 Aa	0,393 Aa	0,478 Aa	0,592 Aa	0,601 Aa	0,598 Aa
0,30-0,40	0,279 BCa	0,392 Aa	0,391 Aa	0,394 Aa	0,484 Aa	0,613 Aa	0,610 Aa	0,617 Aa
0,40-0,50	0,247 BCb	0,412 Aa	0,407 Aa	0,404 Aa	0,473 Aa	0,607 Aa	0,604 Aa	0,610 Aa
0,50-0,75	0,349 ABa	0,352 Aa	0,357 Aa	0,356 Aa	0,471 Aa	0,370 Aa	0,570 Aa	0,590 Aa
0,75-1,00	0,322 ABCa	0,318 Aa	0,323 Aa	0,320 Aa	0,545 Aa	0,611 Aa	0,597 Aa	0,609 Aa
	Projeção de copa							
	-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----				-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----			
0,00-0,10	0,421 Aa	0,419 Aa	0,420 Aa	0,422 Aa	0,592 ABa	0,595 ABa	0,598 Aa	0,601 Aa
0,10-0,20	0,401 Aa	0,396 ABa	0,395 ABa	0,399 ABa	0,615 Aa	0,638 Aa	0,653 Aa	0,649 Aa
0,20-0,30	0,237 Db	0,383 ABa	0,387 ABa	0,393 ABa	0,435 Cb	0,595 ABa	0,592 Aa	0,598 Aa
0,30-0,40	0,259 CDb	0,389 ABa	0,390 ABa	0,394 ABa	0,492 BCb	0,610 Aa	0,607 Aa	0,617 Aa
0,40-0,50	0,272 BCDb	0,395 ABa	0,399 Aa	0,404 Aa	0,463 Cb	0,508 ABa	0,609 Aa	0,610 Aa
0,50-0,75	0,350 ABa	0,343 ABa	0,347 ABa	0,356 ABa	0,603 Aa	0,391 Ba	0,582 Aa	0,590 Aa
0,75-1,00	0,319 BCa	0,321 Ba	0,317 Ba	0,320 Ba	0,598 Aa	0,601 ABa	0,611 Aa	0,609 Aa
	Linha do rodado							
	-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----				-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----			
0,00-0,10	0,401Aab	0,256 Ab	0,331 Aab	0,422 Aa	0,586 Aa	0,576 Aa	0,523 Aa	0,601 Aa
0,10-0,20	0,397 Aa	0,270 Aa	0,276 Aa	0,399 Aa	0,576 Aa	0,577 Aa	0,584 Aa	0,649 Aa
0,20-0,30	0,299 Aa	0,281 Aa	0,288 Aa	0,393 Aa	0,475 Aa	0,475 Aa	0,467 Aa	0,598 Aa
0,30-0,40	0,325 Aa	0,314 Aa	0,312 Aa	0,394 Aa	0,526 Aa	0,528 Aa	0,539 Aa	0,617 Aa
0,40-0,50	0,318 Aa	0,314 Aa	0,353 Aa	0,404 Aa	0,511 Aa	0,517 Aa	0,514 Aa	0,610 Aa
0,50-0,75	0,321 Aa	0,366 Aa	0,350 Aa	0,356 Aa	0,581 Aa	0,389 Aa	0,587 Aa	0,590 Aa
0,75-1,00	0,318 Aa	0,326 Aa	0,324 Aa	0,320 Aa	0,600 Aa	0,606 Aa	0,602 Aa	0,609 Aa

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>(1)</sup>PR = preparo reduzido; <sup>(2)</sup>PS = preparo com subsolador; <sup>(3)</sup>TO = tríplex operação; <sup>(4)</sup>MN = mata nativa.

Na linha do rodado, não observou-se diferenças entre os sistemas de preparo, bem como entre as profundidades estudadas nas duas classes de solo (Tabela 8). Isso pode ser atribuído ao fato de que os implementos utilizados não atingem essa zona. O fato dos sistemas de preparo apresentarem valores iguais às médias obtidas na mata nativa pode ser devido ao manejo recente das áreas (3,5 anos), ou seja, o tráfego de máquinas ainda não apresentou seus efeitos. Bordin et al. (2005) avaliando o sistema radicular de plantas cítricas e atributos físicos

em um Latossolo argiloso submetido a escarificação, não verificaram diferença na porosidade total na projeção da copa e na entrelinha.

## 5.6. Macroporosidade

Não observou-se diferença para a macroporosidade na linha de plantio e na projeção de copa para os solos de textura arenosa e argilosa nas profundidades de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,50-0,75 m e 0,75-1,00 m, entre os tratamentos estudados (Tabela 9). A redução da macroporosidade nessas profundidades no preparo reduzido em relação a mata nativa foi em média de 50%, em concordância com as indicações de Dias Júnior e Pierce (1996), os quais verificaram que a macroporosidade é a variável mais afetada pelos sistemas de preparo do solo.

Na linha do rodado, os valores de macroporosidade dos sistemas de preparo se mostraram menores e diferentes aos observados na mata nativa (Tabela 9). Resultados semelhantes foram observados por Fidalski et al. (2009) estudando a qualidade física do solo sob sistemas de preparo do solo e cobertura morta em pomar de laranja. De acordo com Grable e Siemer (1968), a macroporosidade é uma medida diretamente relacionada com a difusão de oxigênio no solo pelas raízes, o que pode comprometer a disponibilidade de ar e o desenvolvimento do sistema radicular.

Segundo Thomasson (1978), a macroporosidade determina a capacidade de aeração do solo e, os resultados obtidos mostram que os sistemas de preparo com subsolador e com a tríplice operação sugerem uma boa configuração para o crescimento do sistema radicular e o preparo reduzido está promovendo condições inadequadas de porosidade de aeração (Tabela 9). Valores de porosidade de aeração abaixo de 10 a 15% são, geralmente, adotados como restritivos para o crescimento e produtividade da maioria das culturas, principalmente no caso dos citros, que possuem uma limitação natural devido sua grande quantidade de massa foliar e sua pequena quantidade de radículas (MALAVOLTA e VIOLANTE NETO, 1989).

De acordo com Grabe e Siemer (1968), o limite crítico de aeração que reduz sensivelmente o crescimento de raízes é de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  de macroporosidade. Nessa pesquisa foram encontrados valores inferiores a essa faixa nas duas classes de solo (Tabela 9). A situação mais crítica foi em relação ao preparo reduzido no solo com textura arenosa. Na linha

de plantio e na projeção da copa, os valores ficaram entre 0,04 a 0,07 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> nas profundidades de 0,20-0,30 m, 0,30-0,40 m e 0,40-0,50 m. Carvalho et al. (1991) afirmaram que a macroporosidade é o atributo físico mais afetado pelo cultivo contínuo.

**Tabela 9.** Macroporosidade de solos com textura arenosa e argilosa submetidos a diferentes sistemas de preparo, com amostragem em diferentes posições na trincheira.

Profundidades (m)	Solo arenoso				Solo argiloso			
	PR <sup>(1)</sup>	PS <sup>(2)</sup>	TO <sup>(3)</sup>	MN <sup>(4)</sup>	PR	PS	TO	MN
	Linha de plantio							
	-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----				-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----			
0,00-0,10	0,141 Aa	0,138 Aa	0,140Aa	0,141 Aa	0,198 Aa	0,202 Aa	0,200 Aa	0,200 Aa
0,10-0,20	0,136 Aa	0,135 Aa	0,132 Aa	0,133 Aa	0,215 Aa	0,216 Aa	0,215 Aa	0,216 Aa
0,20-0,30	0,046 Bb	0,130 Aa	0,131 Aa	0,131 Aa	0,096Bb	0,197 Aa	0,200 Aa	0,199 Aa
0,30-0,40	0,056 Bb	0,131 Aa	0,130 Aa	0,131 Aa	0,097Bb	0,204Aa	0,203 Aa	0,206Aa
0,40-0,50	0,049 Bb	0,137 Aa	0,136 Aa	0,135 Aa	0,095Bb	0,202 Aa	0,201 Aa	0,203 Aa
0,50-0,75	0,116 Aa	0,117 Aa	0,119 Aa	0,119 Aa	0,157 Aa	0,185 Aa	0,190Aa	0,197 Aa
0,75-1,00	0,107 Aa	0,106 Aa	0,108 Aa	0,107 Aa	0,182 Aa	0,204 Aa	0,199 Aa	0,203 Aa
	Projecção de copa							
	-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----				-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----			
0,00-0,10	0,120 Aa	0,120 Aa	0,120 Aa	0,141 Aa	0,169 ABa	0,170 Aa	0,171 Aa	0,200 Aa
0,10-0,20	0,115 ABa	0,113 ABa	0,113 ABa	0,133 ABa	0,176 Ab	0,182 Ab	0,187 Aab	0,216 Aa
0,20-0,30	0,068 Db	0,109 ABa	0,111 ABa	0,131 ABa	0,124 Cb	0,170 Aa	0,169 Aa	0,199 Aa
0,30-0,40	0,074 CDb	0,111 ABa	0,111 ABa	0,131 ABa	0,141 BCb	0,174 Aa	0,173 Aab	0,206 Aa
0,40-0,50	0,078 CDb	0,113 ABa	0,114 ABa	0,135 ABa	0,132 Cc	0,145 Abc	0,174 Aab	0,203 Aa
0,50-0,75	0,100 ABCa	0,098 ABa	0,099 ABa	0,119 ABa	0,172 ABa	0,168 Aa	0,166 Aa	0,197 Aa
0,75-1,00	0,091 BCDA	0,092 Ba	0,091 Ba	0,107 Ba	0,171 ABa	0,172 Aa	0,175 Aa	0,203 Aa
	Linha do rodado							
	-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----				-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----			
0,00-0,10	0,080 Ab	0,051 Ab	0,066 Ab	0,141 Aa	0,117 Ab	0,115 Ab	0,105 Ab	0,200 Aa
0,10-0,20	0,079 Ab	0,054 Ab	0,055 Ab	0,133 Aa	0,115 Ab	0,115 Ab	0,117 Ab	0,216 Aa
0,20-0,30	0,060 Ab	0,056 Ab	0,058 Ab	0,131 Aa	0,095 Ab	0,095 Ab	0,093 Ab	0,199 Aa
0,30-0,40	0,065 Ab	0,063 Ab	0,062 Ab	0,131 Aa	0,105 Ab	0,106 Ab	0,108 Ab	0,206 Aa
0,40-0,50	0,064 Ab	0,063 Ab	0,071 Ab	0,135 Aa	0,102 Ab	0,103 Ab	0,103 Ab	0,203 Aa
0,50-0,75	0,064 Ab	0,073 Ab	0,070 Ab	0,119 Aa	0,116 Ab	0,117 Ab	0,117 Ab	0,197 Aa
0,75-1,00	0,064 Ab	0,065 Ab	0,065 Ab	0,107 Aa	0,120 Ab	0,121 Ab	0,120 Ab	0,203 Aa

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>(1)</sup>PR = preparo reduzido; <sup>(2)</sup>PS = preparo com subsolador; <sup>(3)</sup>TO = tríplice operação; <sup>(4)</sup>MN = mata nativa.

## 5.7. Microporosidade

A microporosidade, em geral, não diferiu entre os tratamentos nas três posições de coleta (Tabela 10). Silva e Kay (1997) salientam que a microporosidade do solo pode ser mais influenciada pela textura e teor de carbono orgânico e muito pouco influenciada pelo aumento da densidade do solo, originada do tráfego de máquinas, implementos, etc. Alves (1992) e Veiga et al. (1994) observaram, em camadas compactadas, aumento da densidade do solo,

resultante do aumento da quantidade de sólidos em relação ao volume de poros e, nessa camada, predominam os microporos, nos quais o movimento da água e do ar é dificultado, diminuindo, dessa forma, a drenagem interna do solo comandada pela estrutura. Porém, deve-se observar a proporção entre a microporosidade e a macroporosidade, pois o comportamento relatado anteriormente ocorrerá, quando a macroporosidade estiver abaixo das condições ideais de  $0,10$  a  $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  (Kiehl, 1979).

**Tabela 10.** Microporosidade de solos com textura arenosa e argilosa submetidos a diferentes sistemas de preparo, com amostragem em diferentes posições na trincheira.

Profundidades (m)	Solo arenoso				Solo argiloso			
	PR <sup>(1)</sup>	PS <sup>(2)</sup>	TO <sup>(3)</sup>	MN <sup>(4)</sup>	PR	PS	TO	MN
	Linha de plantio							
	-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----				-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----			
0,00-0,10	0,282 Aa	0,276 Aa	0,280 Aa	0,281 Aa	0,395 Aa	0,404 Aa	0,399 Aa	0,401 Aa
0,10-0,20	0,272 ABa	0,270 Aa	0,265 Aa	0,266 Aa	0,429 Aa	0,431 Aa	0,430 Aa	0,433 Aa
0,20-0,30	0,184 Cb	0,260 Aab	0,261 Aab	0,262 Aa	0,383 Aa	0,395 Aa	0,401 Aa	0,399 Aa
0,30-0,40	0,224 ABa	0,26 1Aa	0,261 Aa	0,262 Aa	0,387 Aa	0,409 Aa	0,407 Aa	0,411 Aa
0,40-0,50	0,198 BCa	0,274 Aa	0,271 Aa	0,270 Aa	0,378Aa	0,405 Aa	0,403 Aa	0,407 Aa
0,50-0,75	0,233 ABCa	0,235 Aa	0,238 Aa	0,237 Aa	0,314 Aa	0,370 Aa	0,380 Aa	0,393 Aa
0,75-1,00	0,215 ABCa	0,212 Aa	0,215 Aa	0,213 Aa	0,363 Aa	0,407 Aa	0,398 Aa	0,406 Aa
	Projção de copa							
	-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----				-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----			
0,00-0,10	0,301 Aa	0,299 Aa	0,300 Aa	0,281 Aa	0,423 Aa	0,425 ABa	0,427 Aa	0,401 Aa
0,10-0,20	0,286 ABa	0,283 ABa	0,282 ABa	0,266 ABa	0,439 Aa	0,456 Aa	0,466 Aa	0,433 Aa
0,20-0,30	0,169 Db	0,274 ABCa	0,276 ABCa	0,262 ABa	0,311 Bb	0,425 ABa	0,423 Aa	0,399 Aa
0,30-0,40	0,185 Db	0,278 ABCa	0,279 ABa	0,262 ABa	0,352 Bb	0,436 ABa	0,434 Aa	0,411 Aab
0,40-0,50	0,194 Db	0,282 ABa	0,285 ABa	0,270 Aa	0,331 Bc	0,363 Bbc	0,435 Aa	0,407 Aab
0,50-0,75	0,250 BCa	0,245 BCa	0,248 BCa	0,237 ABa	0,431 Aa	0,419 ABa	0,416 Aa	0,393 Aa
0,75-1,00	0,228 CDa	0,229 Ca	0,226 Ca	0,217 Ba	0,427 Aa	0,429 ABa	0,436 Aa	0,406 Aa
	Linha do rodado							
	-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----				-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----			
0,00-0,10	0,321 Aa	0,205 Aa	0,264 Aa	0,281 Aa	0,469 Aa	0,461 Aa	0,418 Aa	0,401 Aa
0,10-0,20	0,318 Aa	0,216 Aa	0,221 Aa	0,266 Aa	0,461 Aa	0,462 Aa	0,467 Aa	0,433 Aa
0,20-0,30	0,239 Aa	0,225 Aa	0,230 Aa	0,262 Aa	0,380 Aa	0,380 Aa	0,374 Aa	0,399 A
0,30-0,40	0,260 Aa	0,251 Aa	0,250 Aa	0,262 Aa	0,421 Aa	0,422 Aa	0,431 Aa	0,411 Aa
0,40-0,50	0,254 Aa	0,251 Aa	0,282 Aa	0,270 Aa	0,409 Aa	0,414 Aa	0,411 Aa	0,407 Aa
0,50-0,75	0,257 Aa	0,292 Aa	0,280 Aa	0,237 Aa	0,465 Aa	0,467 Aa	0,470 Aa	0,393 Aa
0,75-1,00	0,254 Aa	0,261 Aa	0,259 Aa	0,213 Aa	0,480 Aa	0,485 Aa	0,482 Aa	0,406 Aa

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>(1)</sup>PR = preparo reduzido; <sup>(2)</sup>PS = preparo com subsolador; <sup>(3)</sup>TO = tríplice operação; <sup>(4)</sup>MN = mata nativa.

O espaço poroso do solo nos tratamentos estudados é composto predominantemente por microporos (Tabela 10). A proporção ideal da distribuição de poros por tamanho, segundo Kiehl (1979) é de 2:1 (micro/macroporo), garantindo suficiente aeração, permeabilidade e capacidade de retenção de água. Analisando os diferentes tratamentos e as profundidades, observa-se que os sistemas com subsolador e tríplice operação expressou melhor esta distribuição no solo argiloso. Segundo Camargo e Alleoni (1997) um solo ideal deve

apresentar  $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  de volume de poros que, na capacidade de campo, teria  $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  ocupado pela água e  $0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  ocupado pelo ar.

## 5.8. Densidade do solo

Os valores médios para a densidade do solo foram maiores para o preparo reduzido nas profundidades de 0,20-0,30 m, 0,30-0,40 m e 0,40-0,50 m na linha de plantio e na projeção da copa (Tabela 9). Estas médias foram diferentes dos demais tratamentos, tanto para o solo de textura arenosa como para o solo de textura argilosa. Nas demais profundidades, a densidade do solo foi igual entre os tratamentos estudados, para as duas classes de solo. Bordin et al. (2005) estudando o sistema radicular de plantas cítricas e atributos físicos em um latossolo argiloso submetido a escarificação, verificou que as áreas que sofrem tráfego de veículo apresentam maior densidade do solo, concordando com os resultados obtidos neste experimento.

A densidade do solo foi menor nos locais submetidos ao preparo com subsolador e com a tríplice operação e, estes foram iguais aos valores observados na mata nativa (Tabela 11). Concordando com os resultados obtidos por Lima et al. (2004) que analisando a heterogeneidade da compactação do solo em pomar de laranja em diferentes locais de amostragem, verificaram que a compactação foi superior na linha do rodado e na projeção da copa quando comparado com a linha de plantio. As condições de densidade provocadas pelo sistema de preparo reduzido e preparo com subsolador devem ser evitadas, pois segundo Culley e Larson (1987) essa situação gera um ambiente de compactação do solo, que de acordo com Oliveira e Merwin (2001) é um dos fatores limitantes para a produção de citros.

Os maiores valores de densidade do solo foram observados na linha do rodado. A partir da profundidade de 0,50 m a densidade do solo se iguala às demais profundidades estudadas (Tabela 11). Sanches et al. (1999) avaliando a interação entre o impacto do cultivo de citros nos atributos físicos do solo, observaram que os maiores valores de densidade do solo foram, de fato, na entrelinha/linha do rodado, este mesmo comportamento foi observado por Lima et al. (2004). Gomes et al. (2003) encontraram densidades do solo menores na linha de plantio em relação ao limite da copa na entrelinha de pomar cítrico. Isto se deve ao fato de

que, na linha de plantio a ocorrência da passagem de implementos acontece apenas no preparo do solo para instalação do pomar.

**Tabela 11.** Densidade do solo em áreas com textura arenosa e argilosa submetidas a diferentes sistemas de preparo, com amostragem em diferentes posições na trincheira.

Profundidades (m)	Solo arenoso				Solo argiloso			
	PR <sup>(1)</sup>	PS <sup>(2)</sup>	TO <sup>(3)</sup>	MN <sup>(4)</sup>	PR	PS	TO	MN
	Linha de plantio							
	-----kg dm <sup>-3</sup> -----				-----kg dm <sup>-3</sup> -----			
0,00-0,10	1,18 Ba	1,20 Aa	1,19 Aa	1,19 Aa	1,06 Ca	1,12 Aa	1,10 Aa	1,06 Aa
0,10-0,20	1,20 ABa	1,21 Aa	1,19 Aa	1,20 Aa	1,15 BCa	1,11 Aa	1,12 Aa	1,09 Aa
0,20-0,30	1,45 Aa	1,19 Aab	1,14 Ab	1,17 Ab	1,30 Aa	1,12 Ab	1,14 Ab	1,08 Ab
0,30-0,40	1,38 ABa	1,18 Aa	1,20 Aa	1,16 Aa	1,28 ABa	1,13 Ab	1,10 Ab	1,13 Ab
0,40-0,50	1,36 ABa	1,23 Aa	1,21 Aa	1,20 Aa	1,29 ABa	1,08 Ab	1,13 Ab	1,08 Ab
0,50-0,75	1,24 ABa	1,20 Aa	1,19 Aa	1,22 Aa	1,19 ABCa	1,13 Aa	1,11 Aa	1,06 Aa
0,75-1,00	1,20 ABa	1,17 Aa	1,21 Aa	1,18 Aa	1,16 ABC	1,13 Aa	1,12 Aa	1,12 Aa
	Projção de copa							
	-----kg dm <sup>-3</sup> -----				-----kg dm <sup>-3</sup> -----			
0,00-0,10	1,15 Da	1,20 Aa	1,20 Aa	1,19 Aa	1,12 Ca	1,09 Aa	1,10 Aa	1,06 Aa
0,10-0,20	1,22 CDa	1,19 Aa	1,22 Aa	1,20 Aa	1,19 BCa	1,15 Aa	1,16 Aa	1,09 Aa
0,20-0,30	1,39 ABCa	1,18 Ab	1,13 Ab	1,17 Ab	1,30 ABa	1,16 Ab	1,14 Ab	1,08 Ab
0,30-0,40	1,46 Aa	1,22 Ab	1,18 Ab	1,16 Ab	1,39 Aa	1,18 Ab	1,17 Ab	1,13 Ab
0,40-0,50	1,41 ABa	1,16 Ab	1,21 Ab	1,20 Ab	1,34 Aa	1,17 Ab	1,18 Ab	1,08 Ab
0,50-0,75	1,25 BCDA	1,19 Aa	1,16 Aa	1,22 Aa	1,32 Aa	1,14 Ab	1,17 Ab	1,06 Ab
0,75-1,00	1,21 CDa	1,19 Aa	1,20 Aa	1,18 Aa	1,15 Ca	1,14 Aa	1,19 Aa	1,12 Aa
	Linha do rodado							
	-----kg dm <sup>-3</sup> -----				-----kg dm <sup>-3</sup> -----			
0,00-0,10	1,25 BCa	1,28 ABa	1,27 Aa	1,19 Aa	1,15 Ba	1,20 ABa	1,21 ABa	1,06 Ab
0,10-0,20	1,28 ABCa	1,31 Aa	1,32 Aa	1,20 Aa	1,17 ABa	1,23 ABa	1,20 ABa	1,09 Ab
0,20-0,30	1,41 Aa	1,26 ABbc	1,33 Aab	1,17 Ac	1,20 ABa	1,22 ABa	1,21 ABa	1,08 Ab
0,30-0,40	1,37 ABa	1,29 ABab	1,30 Aa	1,16 Ab	1,23 Aa	1,25 Aa	1,26 Aa	1,13 Ab
0,40-0,50	1,35 ABCa	1,30 Aab	1,27 Aab	1,20 Ab	1,19 ABa	1,21 ABa	1,19 ABa	1,08 Ab
0,50-0,75	1,29 ABCa	1,21 ABa	1,25 Aa	1,22 Aa	1,16 ABa	1,19 ABa	1,22 Aa	1,06 Ab
0,75-1,00	1,23 Ca	1,16 Ba	1,22 Aa	1,18 Aa	1,15 Ba	1,17 Ba	1,14 Ba	1,12 Aa

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>(1)</sup>PR = preparo reduzido; <sup>(2)</sup>PS = preparo com subsolador; <sup>(3)</sup>TO = tríplice operação; <sup>(4)</sup>MN = mata nativa.

## **6. CONCLUSÕES**

1. A tríplice operação é o sistema de preparo que promoveu maior desenvolvimento do sistema radicular da laranja no Argissolo Vermelho-Amarelo e no Latossolo Vermelho.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABI SAAB, O.J.G.; RALISCH, R.; MEDINA, C.C.; JORGE, L.A.C.; TRIBULATTO, M.C.; SILVA JÚNIOR, D.A. Effect of four levels of liming on an alic soil on the root development of corn (*Zea mays* L.). 8p. In: International Symposium on Plant-Soil Interactions at Low pH, IV. Belo Horizonte, **Proceedings...**, Sete Lagoas. 1996.

ABRÊU, F.L.G.; SALVIANO, A.A.C. Sistema radicular de três porta-enxertos para lima ácida 'tahiti' no estado do Piauí. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.28, n.2, p.187-194, 2007.

AGGARWAL, P.; CHOUDHARY, K.K.; SINGH, A.K.; CHAKRABORTY, D. Variation in soil strength and rooting characteristics of wheat in relation to soil management. **Geoderma**, Amsterdam, v.136, n.1-2, p.353-363, 2006.

ALAMEDA, D.; VILLAR, R. Moderate soil compaction: Implications on growth and architecture in seedlings of 17 woody plant species. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam. v.103, n. 2, p.325-331, 2009.

ALVARENGA, R.C.; FERNANDES, B.; SILVA, T.C.A.; REZENDE, M. Estabilidade de agregados de um Latossolo sob diferentes métodos de preparo de solo e de manejo da palha do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.2, p.273-277, 1986.

ALVES, M.C. Sistemas de rotação de culturas com plantio em Latossolo Roxo: efeitos nas propriedades físicas e químicas. 1992. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1992.

ANGERS, D.A. Changes in soil aggregation and organic carbon under corn and alfafa. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.56, n.1, p.1244-1249, 1992.

ANGHINONI, I.; MEURER, E. J. Eficiência de absorção de nutrientes pelas raízes. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METOLOGIAS E ESTUDO DE CASOS, 1., Aracaju, 1999. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA, 1999.

ARAÚJO, A.M.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.2, p.337-345, 2004.

ASSIS, R.L.; LANÇAS, K.P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.4, p.515-522, 2005.

BARTHOLOMEUS, R.; WITTE, J.M.; van BODEGOM, P.M.; van DAM, J.C.; AERTS, R. Critical soil conditions for oxygen stress to plant roots: Substituting the Feddes-function by a process-based model. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.360, n.1-4, p.147-165, 2008.

BASSOI, L.H.; ASSIS, J.S. Considerações sobre a utilização dos métodos do perfil auxiliado pelo processamento de imagens digitais e do monolito, na análise da distribuição de raízes no solo. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA-SIAGRO, I, São Carlos-SP, 1996. **Anais...** São Carlos: EMBRAPA-CNPDI, 1996.

BASSOI, L.H.; FANTE JÚNIOR, L.; JORGE, L.A.C.; CRESTANA, S.; REICHARDT, K. Distribuição do sistema radicular do milho irrigado em terra roxa estruturada latossólica: II: comparação entre cultura irrigada e fertirrigada. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.51, n.3, p.541-548, 1994.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S.V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.54, n.1-2, p.101-109, 2000.

BENGHOUGH, A.G.; MULLINS, C.E. Mechanical impedance to root growth: A review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.41, n.3, p.341-358, 1990.

BERGAMIN, A.C.; VITORINO, A.C.T.; Lempp, B.; SOUZA, C.M.A.; SOUZA, F.R. Anatomia radicular de milho em solo compactado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.45, n.3, p.299-305, 2010.

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

BLAINSKI, É.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R.M.L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.3, p.975-983, 2008.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlin: Springer-Verlag, v.33, 1979. 188p.

BORDIN, I.; NEVES, C.S.V.J.; AINDA, F.T.; SOUZA, W.R.; JUNIOR, A.C.D.; FURLANETO, T.L.R.; TAVARES-FILHO, J. Sistema radicular de plantas cítricas e atributos físicos do solo em um Latossolo Argiloso submetido à escarificação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.4, p.820-825, 2005.

BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T. **Handbook for soil thin section description**. Woverhampton: Waine Research Publishers, 1985. 152p.

CAMARGO, M.N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J.H. Classificação de solos usado em levantamentos pedológicos no Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira do Solo**, Campinas, v.12, n.1, p.11-33, 1987.

CAMARGO, O.A. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas**. Campinas: Fundação Cargill, p.44, 1983.

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

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo, p.94, 1986.

CANARACHE, A. Penetration a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.16, n.2, p.51-70, 1990.

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

CARVALHO FILHO, A.; CARVALHO, L.C.C.; CENTURION, J.F.; SILVA, R.P.; FURLANI, C.E.A. Efeito de diferentes sistemas de preparo do solo na cultura da soja. (*Glycine Max* (L.) Merrill). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.3, p.777-786, 2006.

CARVALHO, S.R.; BRUAND, A.; HARDY, M.; LEPRUM, J.C.; JAMAGNE, M. Tassement des sols ferrallitiques Podzólico Vermelho Amarelo sous culture de canne à sucre (état de Rio de Janeiro, Brésil): apport d'une analyse de La porosité associée a une connaissance détaillée de la phase minérale. **Série Pedologie**, Cahiers Orstom, v.26, n.1, p.195-212, 1991.

CARVALHO, J.E.B.; SOUZA, L.S.; JORGE, L.A.C.; RAMOS, W.; COSTA NETO, A.O.; ARAÚJO, A.M.A.; LOPES, L.; JESUS, M. Manejo das coberturas do solo e sua interferência no desenvolvimento do sistema radicular da laranja pêra. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.21, n.2, p.140-145, 1999.

CASTLE, W.S.; TUCKER, D.P.H.; KREZDORN, A.H.; YOUTSEY, C.O. **Rootstocks for Florida citrus; rootstock selection, the first step to success**. 2 ed. Gainesville, University of Florida, 1993. 92p.

CASTRO, O.M.; LOMBARDI NETO, F. Manejo e conservação do solo em citrus. **Laranja**, Cordeirópolis, v.13, n.1, p.275-305, 1992.

CINTRA, F.L.D.; NEVES, C.S.V.J. Aspectos metodológicos do estudo do sistema radicular de plantas perenes através de imagens. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.3, 1996.

CINTRA, L.D.; LIBARDI, P.L.; JORGE, L.A. Distribuição do sistema radicular de porta-enxertos de citros em ecossistemas de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.212, n.3, p.313-317, 1999.

CORRÊA, J.C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.2, p.203-209, 2002.

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

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.3, p.527-535, 2003.

CRESTANA, S.; GUIMARÃES, M.F.; JORGE, L.A.C.; RALISH, R.; TOZZI, C.L.; TORRE, A.; VAZ, C.M.P. Avaliação da distribuição de raízes no solo auxiliada por processamento de imagens digitais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.3, p.365-371, 1994.

CRUVINEL, P.E.; CRESTANA, S.; JORGE, L.A.C. **Métodos e aplicações do processamento de imagens digitais**. In: CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; MASCARENHAS, S.; BISCEGLI, C.I.; MARTIN-NETO, L.; COLNAGO, L.A., ed. Instrumentação agropecuária: contribuições no limiar do novo século. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996. Cap.3, p.91-151.

CULLEY, J.L.B.; LARSON, W.E. Susceptibility to compression of a clay loam Haplaquoll. Soil Science Society of America. **Proceedings**, Madison, v.51, n.1, p.562-567, 1987.

CURMI, P.; KERTTZMAN, F.F.; QUEIROZ NETO, J.P. Degradation of structure and hydraulic properties in an Oxisol under cultivation (Brazil). In: RINGROSE-VOASE A.J.; HUMPHERYS G.S., eds. Soil micromorphology: studies in management and genesis. In: INTERNATIONAL WORKING MEETING ON SOIL MICROMORPHOLOGY, 9., Townsville, 1994. **Proceedings...**, Amsterdam: Elsevier, 1994. p.596-579. (Developments in Soil Science, 22).

DA ROS, C. O.; SECCO, D.; FIORIN, J. E.; PETRERE, C.; CADORE, M. A.; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.2, p.241-247, 1997.

DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.703-709, 1999.

DEXTER, A. R. Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v.120, n.3-4, p.201-214, 2004.

DIAS JÚNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.1, p.1-8, 1996.

DIAS JÚNIOR, M.S. Compactação do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.V.; SCHAEFER, C.E.G.R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2000. v.1, p.55-95.

DIEESE (Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos), **Fontes Rurais**. Disponível em < [www.dieese.org.br](http://www.dieese.org.br) >. Acesso em Março de 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FANTE JÚNIOR, L.; JORGE, L.A.C.; REICHARDT, K.; CRESTANA, S. Avaliação do sistema radicular por diferentes métodos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA: PEQUENA PROPRIEDADE X DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 10, Florianópolis, jul. 1994. **Resumos...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. p.318-319.

FAO - Food and Agriculture Organization of United Nations. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em 20 de nov. de 2008

FIDALSKI, J., TORMENA, C.A., SILVA, A.P. Qualidade física do solo em pomar de laranja 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, 2007.

FIDALSKI, J.; BARBOSA, G.M.C.; MARTINS AULER, P.A.M.; PAVAN, M.A.; BERALDO, J.M.G. Qualidade física do solo sob sistemas de preparo e cobertura morta em pomar de laranja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.44, n.1, p.76-83, 2009

FIGUEIREDO, C.C.; SANTOS, G.G.; PEREIRA, S.; NASCIMENTO, J.L.; ALVES JÚNIOR, J. Propriedades físico-hídricas em Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.2, p.146-151, 2009.

FLOWERS, M.D.; LAL, R. Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a Molic Ochraqualf in Northwest Ohio. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.48, n.1-2, p.21-35, 1998.

GERARD, C.J.; MEHTA, H.C.; HINOJOSA, F. Root growth in a clay soil. **Soil Science**, Oxford, v.114, n.1, p.37-49, 1972.

GHANI, A.; DEXTER, M.; PERROTT, K.W. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. **Soil and Biology Biochemistry**, Amsterdam, v.35, n.9, p.1231-1243, 2003.

GOMES, E.B. MINATEL, A.L.; BERALDO, J.M.; ANDRIOLI, I.; BUENO, C.R. Efeitos da subsolagem e aduba o verde nas propriedades físicas do solo cultivado com laranja Valência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2003, Ribeirão Preto, SP. **Anais...** Ribeirão Preto: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2003. CD-ROM.

GONTIJO, I.; DIAS JÚNIOR; M.S.; GUIMARÃES, P.T.G.; ARAUJO JÚNIOR, C.F. Atributos físico-hídricos de um latossolo de cerrado em diferentes posi es de amostragem na

lavoura cafeeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.6, p.2227-2234, 2008.

GONZALEZ, M. Brazil is orange juice king. A Food & Agriculture Research Report. **Rabobank**. Disponível em <http://www.rabobank.com>. Acesso em 7 de janeiro de 2008.

GRABLE, A.R.; SIEMER, E.G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.32, n.2, p.180-186, 1968.

GREACEN, E.L.; SANDS, R. Compaction of Forest soils. A review. **Australian Journal of Soil Research**, Gold Cast, v.18, n.2, p.163-189, 1980.

GUGGENBERGER, G.; ZECH; W.; THOMAS, R. J. Lignin and carbohydrate alteration in particle-size separates of an oxisol under tropical pastures following native savanna. **Soil Biology and Biochemistry**, New Jersey, v.27, n.12, p.1629-1638, 1995.

GUIMARÃES, C.M.; BRUNINI, O.; STONE, L.F. Adaptação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. I. Densidade e eficiência radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.6, p.393-399, 1996a.

GUIMARÃES, M.F.; JORGE, L.A.C.; DE MARIA, I.C.; TAVARES FILHO, J.; BICUDO, S.J.; CRESTANA, S. Três metodologias de avaliação de raízes: descrição, limitações e vantagens. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA-SIAGRO, I, São Carlos-SP, 1996. **Anais...** São Carlos:EMBRAPA-CNPDIA, 1996b.

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W.B. **Soil compaction**. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTIN, C. (Ed.). *Methods for assessment of soil degradation*. Boca Raton: Lewis, 1997. p.167-179.

HILLEL, D. **Introduction to Soil Physics**. Madison: Academic Press, 1982. 364p.

HORN, R. Aggregate characterization as compared to soil bulk properties. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.17, n.3-4, p.265-289, 1990.

HORN, R.; LEBERT, M. Soil compactability and compressibility. In: SOANE, B.D.; VAN OUWERKERK, C. (Ed.) **Soil compactation in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 45-69.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acessado em: 27 de jul. de 2008.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA – IEA. Disponível em: <<http://www.iea.com.br>>. Acessado em: 10 de junho de 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em 12 de setembro de 2010.

ISHAQ, M.; IBRAHIM, M.; HASSAN, A.; SAEED, M.; LAL, R. Subsoil compaction effects on crops in Punjab, Pakistan: II. Root growth and nutrient uptake of wheat and sorghum. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.60, n.1, p.153-161, 2001.

ISI Web of Knowledge. Disponível em: < <http://www.isiwebknowledge.com/>> Acesso em 29 de julho de 2009.

JONES, W. W.; EMBLETON, T. W. **Soils, soil management, and cover crops**. In: REUTHER, W. The Citrus Industry. Berkeley: University of California, p.98-121, 1973.

JORGE, L.A.C.; GUIMARÃES, M.F.; TAVARES FILHO, J.; CRESTANA, S. **Estudo de lâminas delgadas de solo: porosidade, agregados e fissuras, por análise de imagens digitais**. SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 1, São Carlos-SP, 1996, São Carlos: EMBRAPACNPDI, 1996a.

JORGE, L.A.C.; RALISCH, R.; ABI SAAB, O.J.G.; MEDINA, C.C.; GUIMARÃES, M.F.; NEVES, C.S.V.J.; CRESTANA, S.; CINTRA, F.L.D.; BASOI, L.H.; FERNANDES, S.B.V. Aquisição de imagens de raízes. In: JORGE, L.A.C. (Ed.). **Recomendações práticas para aquisição de imagens digitais analisadas através do SIARCS**. São Carlos: Embrapa-CNPDI, 1996b. 48p. (Embrapa-CNPDI. Circular Técnica, 1). CD-ROOM.

JORGE, L.A.C; CRESTANA, S. **SIARCS® 3.0: novo aplicativo para análise de imagens digitais aplicado a ciência do solo**. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13, Águas de Lindóia-SP, 1996. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 5p. CD-ROM.

KAISER, D.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; COLLARES, G.L.; KUNZ, M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um latossolo sob diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.4, p.845-855, 2009.

KEMPER, B. Soil compaction and root growth in Paraná. In: RUSSEL, R.S.; IGHE, K.; MEHTA, Y.R. **The soil/root system in relation to brazilian agriculture**. Londrina: Fundação IAPAR, 1981. p.81-101.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society Agronomy, 1965. p.499-510.

KIEDEMANN, P.E.; BARRS, H.D. Citrus orchads. In: KOZLOWSKI, T.T. (Ed.). **Water deficits and plant growth**. VI. Woody plant communities, p.325-418, 1981.

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

KLEIN, V.A.; VIEIRA, M.L.; DURIGON, F.F.; MASSING, J.P.; FÁVERO, F. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.2, p.365-371, 2008.

KÖPKE, V. Methods for studying root growth. In: SYMPOSIUM ON THE SOIL/ROOT SYSTEM, 1., Londrina, 1980. **Proceedings...** Londrina: Fundação Instituto Agronômico do Paraná, 1981. p.303-318.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advanced Soil Science**, New York, v.1, n.1, p.277-293, 1985.

LHOTSKÝ, J.; BERAN, P.; PARIS, P.; VALIGURSKÁ, L. Degradation of soil by increasing compression. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.19, n.2-3, p.287-295, 1991.

LIMA, C.L.R.; SILVA, A.P.; IMHOFF, S.; LIMA, H.V.; LEÃO, T.P. Heterogeneidade da compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, p.409-414, 2004.

LINQUIST, B. A.; SINGLETON, P. W.; YOST, R. S.; CASSMAN, K. G. Aggregate size effects on the sorption and release of phosphorus in an Ultisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, n.1, p.160-166, 1997.

LIPIEC, J.; HATANO, R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. **Geoderma**, Amsterdam, v.116, n.1-2, p.107-136, 2003.

LIU, X.L.; HE, Y.Q.; ZHANG, H.L.; SCHRODER, J.K.; LI, C.L.; ZHOU, J.; ZHANG, Z.Y. Impact of Land Use and Soil Fertility on Distributions of Soil Aggregate Fractions and Some Nutrients. **Pedosphere**, Nanjing, v.20, n.5, p.666-673, 2010.

LYNCH, J. Root architecture and plant productivity. **Plant Physiology**, Rockville, v.109, n.1, p.7-13, 1995

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, n.2, p.359-380, 2000.

MACHADO, E.C.; MEDINA, C.L.; GOMES M.M.A. Teor de água no substrato de crescimento e fotossíntese em laranjeira Valência. **Bragantia**, Campinas, v.58, n.2, p.217-226, 1999.

MAGALHÃES FILHO, J.R.; AMARAL, L.R.; MACHADO, D.F.S.P.; MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C. Deficiência Hídrica, Trocas Gasosas E Crescimento de Raízes em Laranjeira 'Valência' sobre dois Tipos de Porta-Enxerto. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.1, p.75-82, 2008.

MAIA, J.L.T.; RIBEIRO, M.R. Propriedade de um Argissolo Amarelo fragipânico de Alagoas sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.1, p.79-87, 2004.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic Press. p.508-536, 1995.

MARSILI, A.; SERVADIO, P.; PAGLIAI, M.; VIGNOZZI, N. Changes of some physical properties of a clay soil following passage of rubber - and metal-tracked tractors. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.49, n.2, p.185-199, 1998.

McQUEEN, D.J.; SHEPHERD, T.G. Physical changes and compaction sensitivity of a fine-textured, poorly drained soil (Typic Endo-aquept) under varying durations of cropping, Manawatu Region, New Zealand. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.63, n.1, p.93-107, 2002.

MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C.; GOMES, M.M.A. Condutância estomática, transpiração e fotossíntese em laranja 'Valência' sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v.11, n.1, p.29-34, 1999.

MELO FILHO, J.F.; CARVALHO, L.L.; SILVEIRA, D.C.; SACRAMENTO, J.A.A.S.; SILVEIRA, E.C.P. Índice de qualidade em um Latossolo Amarelo coeso cultivado com citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.31, n.4, p.1168-1177, 2009.

MEROTTO, A.; MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.2, p.197-202, 1999.

MILLIKEN, G.A.; JOHNSON, D.E. **Analysis of messy data**. New York: Chapman & Hall, 1989. v.2, 199p.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. Secretaria de Comércio Exterior - MDIC/SECEX. **Sistema de análise das informações de**

**comércio exterior (ALICE)**. Disponível em: <<http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br>>. Acesso em: ago. 2009.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO - MTE. **Relação Anual de Informações Sociais (RAIS)**, 2008. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br>>. Acesso em: jan. 2010.

MONTENEGRO, H.W.S. **Contribuição ao estudo do sistema radicular das plantas cítricas**. Piracicaba, Escola de Agricultura Luís de Queiroz, 1960. 143p. (Tese de Concurso para Professor Catedrático).

NEVES, C.S.V.J.; DECHEN, A.R.; FELLER, C.; ABI SAAB, O.J.G.; PIEDADE, S.M.S.. Efeito do manejo do solo no sistema radicular de tangerineira ‘Poncã’ enxertada sobre limoeiro ‘Cravo’ em Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.20, n.2, p.246-253, 1998.

NEVES, C.S.V.J.; DECHEN, A.R.; MEDINA, C.D.; GUIMARÃES, M.D. Comparison of citrus rooting evaluation methods using root images in soil profiles and root weight. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.12, p.2537-2541, 2000.

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

NEVES, C.S.V.J.; MURATA, I.M.; STENZEL, N.M.C.; MEDINA, C.C.; BORGES, A.V.; OKUMOTO, S.H.; LEE, R.H.C.; KANAI, H.T. Root distribution of rootstocks for ‘Tahiti’ lime. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.61, n.1, p.94-99, 2004.

NEVES, F.; TROMBIN, V.G.; LOPES, F.F.; AMARO, A.A.; NEVES, E.M.; JANK, M.S. **Caminhos para a citricultura: uma agenda para manter a liderança mundial**. São Paulo: Atlas, 2007. 114p.

NEVES, M.F.; JANK, M.S. (Coord.). Perspectivas da cadeia produtiva de laranja no Brasil: a Agenda 2015. **Pensa Boletim Online**, São Paulo, 2006. Disponível em:

<[http://www.pensa.org.br/downloads/Agenda\\_Citrus\\_2015\\_PENSAICONE.pdf](http://www.pensa.org.br/downloads/Agenda_Citrus_2015_PENSAICONE.pdf)>. Acesso em: 13 set. 2010.

OADES, J.M. Mucilages at the root surface. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.29, n.1-16, p.1-16, 1978.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.76, n.3, p.319-337, 1984.

OLIVEIRA, J.B. Solos para citros. In: RODRIGUEZ, O., VIÉGAS, F., POMPEU JR., J.; AMARO, A. A. (Eds). **Citricultura brasileira**. Campinas: Fundação Cargill, v.1, p.196-227, 1991.

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, n.2, p.233-237, 2001.

PACE, C.A.M.; ARAÚJO, C.M. Estudo da distribuição do sistema radicular de porta-enxertos cítricos em solos podzólicos e sua relação com a formação das copas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 8., Brasília, DF. **Anais...** Brasília: EMBRAPA-DDT/CNPq, p.199-205, 1986.

PAIVA, A.Q., SOUZA, L.S., RIBEIRO, A.C., COSTA, L.M. Disponibilidade de água em uma topossequência de solos de tabuleiro do Estado da Bahia e sua relação com indicadores do crescimento da laranjeira. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.3, p.367-377, 1998.

PUPPALA, A.J., ACAR, Y.B., TUMAY, M.T. Cone penetration in very weakly cemented sand. **Journal of Geotechnical Engineering**, ASCE, v.121, n.8, p.589-600, 1995.

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. da; REICHERT, J.M. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.5, p.49-134, 2007.

REZENDE, J.O.; MAGALHÃES, A.F.J.; SHIBATA, R.T. ; ROCHA, E.S.; FERNANDES, J.C.; BRANDÃO, F.J.C.; REZENDE, V.J.R.P. **Citricultura nos solos coesos dos tabuleiros costeiros: análise e sugestões**. Salvador: SEAGRI/SPA, 2002, 97p. (Série Estudos Agrícolas, 3).

ROCHA FILHO, J. da; JORGE, L.A.C.; PRIMAVESI, O.; CRESTANA, S. Distribuição radicular de forrageiras, afetada pela intensidade de manejo, avaliada por análise de imagens digitais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13, Águas de Lindóia-SP, ago. 1996. Solo suelo 96. Campinas: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**,1996. 5p. CD-ROM.

RODRIGUEZ, O. Nutrição e adubação dos citros. In: RODRIGUEZ, O.; VIEGAS, F.; POMPEU JÚNIOR, J.; AMARO, A.A. (Ed.) **Citricultura Brasileira**. Campinas: Fundação Cargill, v.1, p.385-428, 1980.

ROQUE, A.A.O.; SOUZA, Z.M.; BARBOSA, R.S.; SOUZA, G.S. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.7, p.744-750, 2010.

RUSSEL, R.S.; ELLIS, F.B. Estimation of the distribution of plant roots in soil. **Nature**, Oxford, v.217, n.1, p.583-583, 1968.

SÁ, R.C.; PEREIRA, M.G.; FONTANA, A. Características físicas e químicas de solos de tabuleiros em Sooretama (ES). **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.10, n.2, p.95-99, 2003.

SANCHES, A.C.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; RIGOLIM, A.T. Impacto do cultivo de citrus em propriedades químicas, densidade do solo e atividade microbiana de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.1, p.91-99, 1999.

SAS INSTITUTE. SAS/STAT. **User's guide**. Version 9.2. Cary, NC, 2008. 943p.

SAVIOZZI, A.; LEVI-MINZI, R.; CARDELLI, R.; RIFFALDI, R. A comparison of soil quality in adjacent cultivated, Forest and native grassland soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.233, n.2, p.251-259, 2001.

SCHOENHOLTZ, S.H.; VAN MIEGROET, H.; BURGER, J.A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, Wageningen, v.138, n.1-3, p.335-356, 2000.

SERVIÇO DE COMERCIO EXTERIOR – SECEX. Disponível em <<http://www.secebr.com>>. Acesso em 20 set. 2010.

SILVA, A.P.; KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.61, n.3, p.877-883, 1997.

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

SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; BLANCANEAUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.12, p.2485-2492, 2000.

SILVA, M.S.L.; RIBEIRO, M.R. Influência do cultivo da cana-deaçúcar em propriedades morfológicas e físicas de solos argilosos de tabuleiro no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, n.3, p.397-402, 1992.

SILVA, S.R.; BARROS, N.F.; VILAS BOAS, J.E.B.; Crescimento e nutrição de eucalipto em resposta à compactação de latossolos com diferentes umidades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.5, p.759-768, 2006.

SINGER, M.; EWING, S. Soil quality. In: SUMNER, M.E. **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p.271-298.

SOANE, B.D. The role of organic matter in soil compactability: a review of some practical aspects. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.16, n.1-2, p.179-201, 1990.

SOARES, J.L.N.; ESPÍNDOLA, C.R.; CASTRO, S.S. Alteração física e morfológica em solos cultivados sob sistema tradicional de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.6, p.1005-1014, 2005.

SOBRINHO, J.T. Precos da Laranja. **Espaço citícola**. Limeira. Ed. 42, jul. 2010. Disponível em <<http://www.espacociticola.eng.br>>. Acesso em 20 set. 2010.

SOUTHORN, N.J. The soil structure component of soil quality under alternate grazing management strategies. **Advances in Geocology**, Amsterdam, v.35, n.2, p.163-170, 2000.

SOUZA, D.S.; SOUZA, L.S.; LEDO, C.A.S. Disponibilidade de água em pomar de citros submetido a poda e subsolagem em Latossolo Amarelo dos tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.69-73, 2004.

SOUZA, L.D.; SOUZA, L.S.; LEDO, C.A.S. Sistema radicular dos citros em Neossolo Quartzarênico dos Tabuleiros Costeiros sob irrigação e sequeiro. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.10, p.1373-1381, 2007.

SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; PAIVA, A.Q.; RODRIGUES, A.C.; RIBEIRO, L.S. Distribuição do sistema radicular de citros em uma topossequência de solos de tabuleiro costeiro do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.503-513, 2008.

SPREEN, T.H. **Projections of World Production and Consumption of Citrus to 2010**. Disponível em <<http://www.fao.org>>. Acesso em 20 set. 2010.

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

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.3, p.229-235, 1991.

STOLZY, L.H. **Soil atmosphere**. In: CARSON, E.W. (ed). The plant root and its environment. Charlottesville: University Press of Virginia, 1974. p.335-361.

STONE, L.F.; GUIMARÃES, C.M.; MOREIRA, J.A.A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I. efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.207-212, 2002.

STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p.755-760, 2004.

TAYLOR, H.M.; BURNETT, E. Influence of soil on the root growth habitat of plants. **Soil Science**, Oxford, v.98, n.1, p.174-180, 1964.

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.

TESTEZLAF, R.; COLETTI, C.; MATSURA, E.E. Distribuição de raízes da laranja 'Valência' irrigada por autopropelido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.6, p.905-908, 2007.

THOMASSON, A.J. Towards an objective classification of soil structure. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.29, n.1, p.38-46, 1978.

TOPP, G.C.; REYNOLDS, W.D.; COOK, F.J.; KIRBY, J.M.; CARTER, M.R. Physical attributes of soil quality. In: GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R. **Soil quality for crop production and ecosystem health**. Amsterdam: Elsevier Science, 1997. p.21-58.

TORMENA, C.A.; VIDIGAL FILHO, P.S.; GONÇALVES, A.C.A.; ARAÚJO, M.A.; PINTRO, J.C. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.1, p. 65-71, 2004.

TORRES, E.; SARAIVA, O.F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1999. 58p. (Circular Técnica, 23).

TRINDADE, E.F.S.; RODRIGUES, T.E.; CARVALHO, E.J.M.; CORRÊA, P.C.S. Matéria orgânica e atributos físicos de um argissolo amarelo distrófico no nordeste paraense. **Amazônia: Ciência e Desenvolvimento**, Belém, v.5, n.9, p.187-198, 2009.

TSUNECHIRO, A.; COELHO, P.J.; CASER, D.V. Valor da produção agropecuária do Estado de São Paulo em 2007. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.38, n.4, p.78-89, 2008.

TUBÉLIS, A. Clima: fator que afeta a produção e a qualidade da laranja. **Laranja**, Cordeirópolis, v.16, n.2, p.180-211, 1995.

UTSET, A.; CID, G. Soil penetrometer resistance spatial variability in a ferralsol at several soil moisture conditions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.61, n.3-4, p.193- 202, 2001.

VASCONCELOS, A.C.M.; CASAGRANDE, A.A.; PERECIN, D.; JORGE, L.A.C.; LANDELL, M.G.A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.5, p.849-858, 2003.

VEIGA, M. da; HORN, R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. 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, p.104-113, 2007.

VEIGA, M.; BASSIL, L.; ROSSO, A. **Degradação do solo e da água: manual de uso, manejo e conservação do solo e da água**. 2. ed. Florianópolis: Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 1994.

WILLAT, S.T.; STRUSS, R.G.; TAYLOR, H.M. In situ studies using neutron radiography. **Agronomy Journal**, Madison, v.70, n.1, p.581-586, 1978.

ZHANG, M.; ALVA, A.K.; LI, Y.C.; CALVERT, D.V. Root distribution of grapefruit trees under dry granular broadcast vs. fertirrigation method. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.183, n.1, p.79-84, 1996.

## **APÊNDICES**

**APÊNDICE 1:** Tabela de ANOVA relativa ao momento estatístico das variáveis estudadas na Linha de Plantio nas áreas com Argissolo Vermelho-Amarelo.

**Tabela 12.** Valores de significância das variáveis do solo relativas ao Argissolo Vermelho-Amarelo na Linha de Plantio.

GL <sup>(2)</sup>	FONTES DE VARIAÇÃO <sup>(1)</sup>				CV (%)
	SP	REP(SP)	PROF	SP*PROF	
	3	8	6	18	
VARIÁVEIS <sup>(3)</sup>	-----Significância-----				
UM	< 0,0001	< 0,0001	0,0007	0,0001	17,57
RSP	< 0,0001	0,3568	< 0,0001	< 0,0001	29,57
C	0,0001	0,7931	0,0009	0,0501	29,52
DMP	< 0,0001	0,1080	0,2089	0,0014	50,96
DS	0,0006	0,5805	0,3965	0,1311	6,85
PT	< 0,0001	0,1842	< 0,0001	0,0001	9,70
MACRO	< 0,0001	0,1848	< 0,0001	< 0,0001	9,94
MICRO	0,0012	0,1929	< 0,0001	0,0614	9,64

<sup>(1)</sup> SP = sistemas de preparo; REP = repetições; PROF = profundidades; <sup>(2)</sup> GL = graus de liberdade ; <sup>(3)</sup>UM = umidade; RSP = resistência do solo à penetração; C = teor de carbono orgânico; DMP = diâmetro médio ponderado; DS = densidade do solo; PT = porosidade total; MACRO = macroporosidade do solo; MICRO = microporosidade do solo.

**APÊNDICE 2:** Tabela de ANOVA relativa ao momento estatístico das variáveis estudadas na Projeção da Copa nas áreas com Argissolo Vermelho-Amarelo.

**Tabela 13.** Valores de significância das variáveis do solo relativas ao Argissolo Vermelho-Amarelo na Projeção da Copa.

	FONTES DE VARIAÇÃO <sup>(1)</sup>				CV (%)
	SP	REP(SP)	PROF	SP*PROF	
GL <sup>(2)</sup>	3	8	6	18	
VARIÁVEIS <sup>(3)</sup>	-----Significância-----				
UM	< 0,0001	< 0,0001	0,0514	< 0,0001	13,69
RSP	< 0,0001	0,3029	< 0,0001	< 0,0001	24,55
C	< 0,0001	0,7446	< 0,0001	0,0967	29,05
DMP	< 0,0001	0,0316	0,6081	0,3212	5250
DS	< 0,0001	0,7522	0,0395	< 0,0001	4,75
PT	< 0,0001	0,6724	< 0,0001	< 0,0001	6,72
MACRO	< 0,0001	0,7003	< 0,0001	< 0,0001	7,57
MICRO	< 0,0001	0,5596	< 0,0001	< 0,0001	6,11

<sup>(1)</sup> SP = sistemas de preparo; REP = repetições; PROF = profundidades; <sup>(2)</sup> GL = graus de liberdade ; <sup>(3)</sup>UM = umidade; RSP = resistência do solo à penetração; C = teor de carbono orgânico; DMP = diâmetro médio ponderado; DS = densidade do solo; PT = porosidade total; MACRO = macroporosidade do solo; MICRO = microporosidade do solo.

**APÊNDICE 3:** Tabela de ANOVA relativa ao momento estatístico das variáveis estudadas na Linha do Rodado nas áreas com Argissolo Vermelho-Amarelo.

**Tabela 14.** Valores de significância das variáveis do solo relativas ao Argissolo Vermelho-Amarelo na Linha do Rodado.

	FONTES DE VARIAÇÃO <sup>(1)</sup>				CV (%)
	SP	REP(SP)	PROF	SP*PROF	
GL <sup>(2)</sup>	3	8	6	18	
VARIÁVEIS <sup>(3)</sup>	-----Significância-----				
UM	< 0,0001	< 0,0001	0,1024	< 0,0001	12,89
RSP	0,0007	0,0406	< 0,0001	0,0010	26,05
C	0,0514	0,4856	< 0,0001	0,0615	31,29
DMP	< 0,0001	0,0318	< 0,4505	0,0022	4752
DS	< 0,0001	0,9996	< 0,0001	0,0017	3,25
PT	< 0,0001	0,1788	0,4460	0,0463	14,47
MACRO	< 0,0001	0,3005	0,4223	0,0687	14,78
MICRO	0,1141	0,1590	0,4532	0,0446	14,60

<sup>(1)</sup> SP = sistemas de preparo; REP = repetições; PROF = profundidades; <sup>(2)</sup> GL = graus de liberdade ; <sup>(3)</sup>UM = umidade; RSP = resistência do solo à penetração; C = teor de carbono orgânico; DMP = diâmetro médio ponderado; DS = densidade do solo; PT = porosidade total; MACRO = macroporosidade do solo; MICRO = microporosidade do solo.

**APÊNDICE 4:** Tabela de ANOVA relativa ao momento estatístico das variáveis estudadas na Linha de Plantio nas áreas com Latossolo Vermelho.

**Tabela 15.** Valores de significância das variáveis do solo relativas ao Latossolo Vermelho na Linha de Plantio.

GL <sup>(2)</sup>	FONTES DE VARIAÇÃO <sup>(1)</sup>				CV (%)
	SP	REP(SP)	PROF	SP*PROF	
	3	8	6	18	
VARIÁVEIS <sup>(3)</sup>	-----Significância-----				
UM	< 0,0001	0,3580	0,3883	0,1436	12,01
RSP	< 0,0001	0,1486	< 0,0001	0,0003	24,10
C	< 0,0001	0,0012	< 0,0001	< 0,0001	15,90
DMP	< 0,0001	0,0299	< 0,0002	0,0523	28,29
DS	< 0,0001	0,7316	0,0015	0,0006	3,89
PT	< 0,0001	0,1842	< 0,0001	0,0001	9,70
MACRO	< 0,0001	0,4342	< 0,0001	< 0,0001	9,24
MICRO	0,0840	0,4230	0,0136	0,9977	9,75

<sup>(1)</sup> SP = sistemas de preparo; REP = repetições; PROF = profundidades; <sup>(2)</sup> GL = graus de liberdade ; <sup>(3)</sup>UM = umidade; RSP = resistência do solo à penetração; C = teor de carbono orgânico; DMP = diâmetro médio ponderado; DS = densidade do solo; PT = porosidade total; MACRO = macroporosidade do solo; MICRO = microporosidade do solo.

**APÊNDICE 5:** Tabela de ANOVA relativa ao momento estatístico das variáveis estudadas na Projeção da Copa nas áreas com Latossolo Vermelho.

**Tabela 16.** Valores de significância das variáveis do solo relativas ao Latossolo Vermelho na Projeção da Copa.

	FONTES DE VARIAÇÃO <sup>(1)</sup>				CV (%)
	SP	REP(SP)	PROF	SP*PROF	
GL <sup>(2)</sup>	3	8	6	18	
VARIÁVEIS <sup>(3)</sup>	-----Significância-----				
UM	< 0,0001	0,5735	0,3852	0,4497	17,28
RSP	< 0,0001	0,0863	< 0,0001	< 0,0001	15,70
C	< 0,0001	0,4276	< 0,0001	0,1011	29,51
DMP	< 0,0001	0,0825	0,0009	0,0340	34,92
DS	< 0,0001	0,6427	< 0,0001	< 0,0001	3,17
PT	< 0,0001	0,7215	< 0,0001	< 0,0001	5,36
MACRO	< 0,0001	0,7141	< 0,0001	0,0003	5,90
MICRO	< 0,0001	0,7248	< 0,0001	< 0,0001	5,12

<sup>(1)</sup> SP = sistemas de preparo; REP = repetições; PROF = profundidades; <sup>(2)</sup> GL = graus de liberdade ; <sup>(3)</sup>UM = umidade; RSP = resistência do solo à penetração; C = teor de carbono orgânico; DMP = diâmetro médio ponderado; DS = densidade do solo; PT = porosidade total; MACRO = macroporosidade do solo; MICRO = microporosidade do solo.

**APÊNDICE 6:** Tabela de ANOVA relativa ao momento estatístico das variáveis estudadas na Linha do Rodado nas áreas com Latossolo Vermelho.

**Tabela 17.** Valores de significância das variáveis do solo relativas ao Latossolo Vermelho na Linha do Rodado.

	FONTES DE VARIAÇÃO <sup>(1)</sup>				CV (%)
	SP	REP(SP)	PROF	SP*PROF	
GL <sup>(2)</sup>	3	8	6	18	
VARIÁVEIS <sup>(3)</sup>	-----Significância-----				
UM	< 0,0001	0,0812	0,0241	0,0863	10,70
RSP	< 0,0001	0,4732	< 0,0001	< 0,0001	18,09
C	< 0,0001	0,7951	< 0,0001	0,0121	25,39
DMP	< 0,0001	0,0281	< 0,0001	0,1961	31,85
DS	< 0,0001	0,5727	< 0,0001	0,0074	2,02
PT	0,0019	0,8403	0,0012	0,9060	10,41
MACRO	< 0,0001	0,7966	0,0097	0,9714	10,67
MICRO	0,0517	0,8514	0,0007	0,8762	10,44

<sup>(1)</sup> SP = sistemas de preparo; REP = repetições; PROF = profundidades; <sup>(2)</sup> GL = graus de liberdade ; <sup>(3)</sup>UM = umidade; RSP = resistência do solo à penetração; C = teor de carbono orgânico; DMP = diâmetro médio ponderado; DS = densidade do solo; PT = porosidade total; MACRO = macroporosidade do solo; MICRO = microporosidade do solo.

**APÊNDICE 7:** Tabela de ANOVA relativa ao momento estatístico relacionada a área de solo contendo raízes em áreas com Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho.

**Tabela 18.** Valores estatísticos relacionados à área de solo contendo raízes.

FONTES DE VARIAÇÃO <sup>(1)</sup>	GL <sup>(2)</sup>	RAIZ	
		Argissolo Vermelho-amarelo	Latossolo Vermelho
SP	2	<0,0001	<0,0001
PF	1	<0,0001	0,0013
SP*PF	2	0,0182	0,0061
PROF	10	<0,0001	<0,0001
SP*PROF	20	<0,0001	<0,0001
PF*PROF	10	<0,0001	0,0034
SP*PF*PROF	20	0,0038	0,0107

<sup>(1)</sup> SP = sistemas de preparo; PF = posições das fotografias; PROF = profundidades; <sup>(2)</sup> GL = graus de liberdade.