

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**DISTRIBUIÇÃO DE RAÍZES DE PORTA-ENXERTOS DE  
PESSEGUEIROS AFETADA PELA ACIDEZ E COMPACTAÇÃO DO  
SOLO**

Henrique Belmonte Petry  
Engenheiro Agrônomo/UFRGS

Tese apresentada como um dos requisitos  
à obtenção do Grau de Doutor em Fitotecnia  
Ênfase Horticultura

Porto Alegre (RS), Brasil  
Agosto de 2014

HENRIQUE BELMONTE PETRY  
Engenheiro Agrônomo - UFRGS  
Mestre em Fitotecnia - UFRGS

## **TESE**

Submetida como parte dos requisitos  
para obtenção do Grau de

### **DOUTOR EM FITOTECNIA**

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

Aprovado em: 06.08.2014  
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 08.08.2014  
Por

SERGIO FRANCISCO SCHWARZ  
Orientador - PPG Fitotecnia

GILMAR ARDUINO BETTIO MARODIN  
Coordenador do Programa de  
Pós-Graduação em Fitotecnia

GILMAR ARDUINO BETTIO MARODIN  
PPG Fitotecnia/UFRGS

CARLOS ALBERTO BISSANI  
PPG Ciência do Solo/UFRGS

RENATO LEVIEN  
PPG Ciência do Solo/UFRGS

ADILSON TONIETTO  
FEPAGRO - Taquari

PEDRO ALBERTO SELBACH  
Diretor da Faculdade  
de Agronomia

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pela vida, família e dons que me foram concedidos e que possibilitaram conduzir este trabalho.

Aos meus pais, Osvino Ernesto Petry e Rose Marie Belmonte Petry, pelo amor incondicional e carinho que recebi ao longo da vida, pelo exemplo de vida e incentivo quanto à formação acadêmica.

Aos meus irmãos, Guilherme Belmonte Petry e Fernanda Janaína Belmonte Petry, e minha avó, Daicy Duarte Belmonte, pelo amor, apoio, incentivo e convivência.

À Desirée Oliveira pelo amor, dedicação e incentivo recebido.

Aos meus padrinhos Sérgio Juarez Duarte Fialho e Naura Germani Fialho pelo incentivo, amor e dedicação. Ao Eng. Agr. José Renato Duarte Fialho, pelo exemplo profissional e de conduta pessoal, bem como pelo incentivo na minha carreira profissional.

Ao Prof. Dr. Sergio Francisco Schwarz pela orientação durante o período de doutorado e pela amizade.

Ao amigo e colega Eng. Agr. Michael Mazurana pela amizade, incentivo e parceria na elaboração do projeto de doutorado, na condução do experimento e elaboração da presente tese.

Ao Prof. Dr. Otto Carlos Koller pela amizade, ensinamentos e orientação desde a minha iniciação científica nesta universidade e pelos conselhos de muita valia, tanto na vida profissional quanto na pessoal.

Aos professores da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), especialmente Gilmar Schäfer, Paulo Vitor Dutra de Souza, Carlos Alberto Bissani, Renato Levien, Ibanor Anghinoni, Clésio Gianello, Claudimar Fior, Ingrid Bergman Inchausti de Barros, Gilmar Marodin e Magnólia Aparecida Silva da Silva pelos ensinamentos e amizade.

Aos colegas que atuam no Departamento de Horticultura e Silvicultura da UFRGS, orientados pelo Prof. Sergio Francisco Schwarz como alunos de pós-graduação e bolsistas de iniciação científica, pelos momentos de apoio no desenvolvimento das pesquisas, nas horas de lazer e pela amizade, especialmente a Mateus Pereira Gonzatto, Leonardo André Schneider, Ângelo Azeredo Lopes, Jairo Camargo, Gerson Nestor Boettcher, Pedro Veit, Manuela Sulzbach, Rodrigo Braga e Sabrina Griebeler.

Aos colegas e amigos do PPG Fitotecnia e PPG Ciência do Solo pela amizade, trocas de experiências e ensinamentos durante o curso de doutorado, especialmente Moacir Tuzzin de Moraes, Gustavo Klamer de Almeida, Fernanda Varella, Marília Milani, Bruna Baratto, Eduarda Avrella, Aquélis Emer, Daiane Silva Lattuada, Cristiane Wesp, Francisco Stefani Amaro, Julio César Giuliani.

A todos os amigos e familiares, especialmente, Marta Coutinho da Silva, Sandra Mara Duarte da Silva, Felipe Salvador, Osmar Tomazi, Julian Apaz, Gustavo Llobet, Flavio Alexandre Lopez Almeida, Luís Antônio Candal da Silva,

Guilherme Lopes e Tales Davi Nunes Vieira pelo apoio, incentivo e entendimento nos momentos de ausência.

Ao colega Eng. Agr. Bruno Casamali pelo auxílio na revisão do abstract da tese e de tantos outros trabalhos.

À UFRGS pelo ensino gratuito e de qualidade.

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

A todos que de alguma maneira fizeram parte deste processo e da minha formação pessoal e profissional.

# DISTRIBUIÇÃO DE RAÍZES DE PORTA-ENXERTOS DE PESSEGUIROS AFETADA PELA ACIDEZ E COMPACTAÇÃO DO SOLO <sup>1</sup>

Autor: Henrique Belmonte Petry  
Orientador: Sergio Francisco Schwarz

## RESUMO

O crescimento de raízes pode ser limitado pelas características físicas e químicas do solo. Objetivou-se descrever e relacionar as características físicas e químicas e a distribuição de raízes no perfil do solo da entrelinha de um pomar adulto de pessegueiros (*Prunus persica*), implantado na Estação Experimental Agronômica da UFRGS, em Eldorado do Sul - RS. Foram coletadas amostras de solo e de raízes nas entrelinhas do pomar de pessegueiros 'Maciel' (30°06' S; 51°39' O), enxertados sobre os porta-enxertos umezeiro (*P. mume*) 'Okinawa' e 'Nemaguard', a 1,5, 2,0 e 2,5 m a partir do tronco, a cada 10 cm, até 50 cm de profundidade. As amostras de solo foram peneiradas e as raízes lavadas e separadas. A quantificação da densidade de raízes e das classes de diâmetro foram realizadas com auxílio do programa computacional Safira 2.0. Por amostra, foi retirada uma subamostra de solo para análise da fertilidade química. A resistência mecânica do solo à penetração (RP), por penetrometria, foi utilizada como indicador da compactação do solo. A descrição do comportamento das variáveis foi realizada com a elaboração de gráficos de contorno preenchidos e relacionadas entre si pelo método de Spermann. Houve uma relação estreita entre as características químicas, RP e a distribuição de raízes. Houve maior densidade de raízes na camada de 0-30 cm do solo, com uma diminuição em profundidade acompanhada de um aumento da saturação por Al<sup>3+</sup>. Lateralmente, houve uma redução na densidade de raízes pela ocorrência de uma região de solo compactada na camada de 5-25 cm, entre 1,8 e 3,0 m de distância da linha de plantas, local de maior concentração de tráfego de maquinário agrícola. Houve redução da frequência de raízes grossas ( $\varnothing > 2$  mm) nas amostras coletadas nas porções de solo compactadas e com aumento da profundidade do solo. A distribuição de raízes de pessegueiro é determinada pela presença de Al e pela resistência à penetração na camada superficial. A porção compactada da entrelinha limita lateralmente a distribuição do sistema de raízes de pessegueiros enquanto o Al limita em profundidade.

---

<sup>1</sup>Tese de doutorado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (90 p.) Março, 2014.

# ROOT DISTRIBUTION OF PEACH ROOTSTOCKS AFFECTED BY ACIDITY AND SOIL COMPACTION<sup>1</sup>

Author: Henrique Belmonte Petry

Advisor: Sergio Francisco Schwarz

## ABSTRACT

Root growth can be limited by physical and chemical soil characteristics. This project aimed to describe and relate the physical and chemical soil characteristics and the root distribution on the interrow soil profile of a mature peach (*Prunus persica*) orchard, located at UFRGS Experimental Station, in Eldorado do Sul – RS. Soil and root samples were collected on the interrow of 'Maciel' cv. peach orchard (30°06' S; 51°39' O), grafted onto *P. mume*, 'Okinawa', and 'Nemaguard' rootstocks at 1.5, 2.0 and 2.5 m from the trunk, each sample of 10 cm, until 50 cm deep. The soil samples were sieved and the roots washed and sorted. Root density and diameter classes were quantified using the software Safira 2.0. It was removed a soil subsample for chemical fertility analysis for each sample. The cone index was used as a soil compaction indicator. The behavior description of the variables was performed using filled contour charts, and were related against each other by the method of Spermann. There was a high relationship between the chemical characteristics, cone index and root distribution. There was a higher density of roots in the 0-30 cm soil layer. Deep soil layers decreased the density of roots and increased Al saturation. Laterally, there was a reduction on the density of roots due to the occurrence of a region of compacted soil in the 5-25 cm layer, between 1.8 and 3.0 m away from the line of plants, site of greatest concentration of agricultural machinery traffic. There was a reduction on the frequency of thick roots ( $\varnothing > 2$  mm) in samples collected at portions of compacted soil and higher soil depth. The roots distribution of peach trees is determined by the presence of aluminum and resistance to penetration in the surface layer. In peaches, soil compaction limits lateral root system distribution and aluminum limits in depth.

---

<sup>1</sup>Doctoral thesis in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (90 p.) March, 2014.

## SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1 Persicultura brasileira .....	3
2.2 Sistema de raízes .....	5
2.2.1 Sistema de raízes de árvores frutíferas .....	11
2.2.2 Porta-enxertos .....	12
2.3 Restrições ao desenvolvimento do sistema de raízes .....	15
2.3.1 Compactação do solo .....	16
2.3.2 Compactação do solo em pomares .....	22
2.3.3 Resistência mecânica à penetração como indicador do estado de compactação do solo .....	25
2.3.5 Fertilidade do solo .....	27
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	33
3.1 Avaliação da compactação do solo .....	35
3.2 Avaliação da densidade de raízes e fertilidade do solo na entrelinha do pomar .....	36
3.3 Avaliações do crescimento das plantas .....	40
3.4 Avaliação da produção e dos indicadores de eficiência produtiva ...	40
3.5 Análises estatísticas .....	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	42
4.1 Estado da compactação do solo da entrelinha do pomar de pessegueiros .....	42
4.2 Atributos químicos do solo da entrelinha de pomar de pessegueiros .....	49
4.3 Sistema de raízes do pomar de pessegueiros .....	55
4.4 Produção e crescimento dos pessegueiros .....	66
6 CONCLUSÕES .....	71
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	72



	Página
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	74
9 APÊNDICES .....	84

## RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Coeficientes de Correlação de Spermann entre indicadores de da distribuição das raízes no perfil do solo de pessegueiros 'Maciel' enxertados sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013.....	59
2. Coeficientes de correlação de Spermann entre atributos do solo e da distribuição das raízes no perfil do solo de pessegueiros 'Maciel' enxertados sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013.....	60
3. Massa de poda, eficiência de produção (EP) e índice de alternância de produção (IAP) de pessegueiros 'Maciel' enxertados sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013.....	68

## RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Esquema representativo dos pontos de coleta de solo e raízes nas parcelas de um pomar experimental de pessegueiros 'Maciel' enxertados sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013 .....	36
2. Esquema representativo dos pontos de coleta de solo e raízes na entrelinha de um pomar experimental de pessegueiros 'Maciel' enxertados sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013 .....	37
3. Esquema do amostrador de raízes utilizado para coleta de solo e raízes na entrelinha da parcela de um pomar experimental de pessegueiros 'Maciel' enxertados sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013 .....	37
4. Utilização de um macaco hidráulico apoiado ao lastro dianteiro do trator para penetração da sonda no solo. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013 .....	38
5. Processo de separação das amostras de solo contendo raízes de pessegueiros com auxílio de um facão. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013 .....	39
6. Distribuição granulométrica do solo no pomar de pessegueiro 'Maciel' em diferentes camadas. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013 .....	42
7. Resistência à penetração do solo da entrelinha de pomar de pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013 .....	43
8. Teor de fósforo do solo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) da entrelinha de pomar de pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013 .....	50
9. Teor de potássio do solo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) da entrelinha de pomar de pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013 .....	51

	Página
10. Saturação por bases no solo da entrelinha de pomar de pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013 .....	52
11. Saturação por alumínio do solo da entrelinha de pomar de pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013 .....	53
12. Valor de pH do solo entrelinha de pomar de pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013 .....	54
13. Densidade de raízes no solo da entrelinha de um pomar de pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013 .....	56
14. Área superficial específica de raízes no solo da entrelinha de um pomar de pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013 .....	57
15. Comprimento específico de raízes no solo da entrelinha de um pomar de pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013 .....	58
16. Frequência do volume de raízes correspondente a cada classe de diâmetro e as profundidades de coleta do porta-enxerto 'Nemaguard' sob a copa das plantas , na linha de tráfego e entrerrodados . EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013 .....	63
17. Frequência do volume de raízes correspondente a cada classe de diâmetro e as profundidades de coleta do porta-enxerto 'Okinawa' sob a copa das plantas, na linha de tráfego e entrerrodados . EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013 .....	64
18. Frequência do volume de raízes correspondente a cada classe de diâmetro e as profundidades de coleta do porta-enxerto umezeiro sob a copa das plantas. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013 .....	65
19. Área da seção transversal do caule (a) e produção acumulada (b) do pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre diversos porta-enxertos ao longo de sete anos após a implantação do pomar. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2006 a 2013 .....	67

## 1 INTRODUÇÃO

O solo é um dos recursos vitais para a humanidade, onde muitos dos recursos utilizados no cotidiano são produzidos no e/ou pelo solo. A degradação dos solos é um aspecto negativo muito importante do uso da terra, que deve ser entendida antes de alçar-se mão de procedimentos ou práticas corretivas (Rienzi & Maggi, 2007). Segundo Hodge *et al.* (2009), o solo é o mais complexo de todos os ambientes, contendo fases sólida, líquida e gasosa, onde suas relações podem mudar dependendo das condições prevalecentes. Assim, esta complexidade apresenta muitos desafios ao crescimento das raízes, sendo eles de caráter biótico ou abiótico.

Quando as espécies são adaptadas ao clima onde são cultivadas, os fatores ligados aos solos causam as maiores restrições para a produção agrícola ao redor do mundo. A disponibilidade de nutrientes, aridez dos solos, salinidade, alagamento, resistência mecânica do solo à penetração e ataque de pragas às raízes causam sérias restrições à produção agrícola, já que afetam o crescimento, a eficiência fotossintética e a partição da biomassa para as partes a serem colhidas (Bingham, 2001).

A vida útil de um pomar, em geral, pode ser superior a 20 anos de produção e durante esse período há tráfego de máquinas sempre no mesmo local. Em áreas de produção de frutas com altos índices de precipitação, a

compactação do solo pode ocorrer devido às múltiplas passadas de maquinário pesado, como pulverizadores e equipamentos para colheita (Ferree *et al.*, 2004). A compactação pode ser um sério problema na agricultura, restringindo o acesso das raízes à água e aos nutrientes, reduzindo o rendimento das culturas (Clark *et al.*, 2003).

No presente trabalho objetivou-se diagnosticar os impactos de impedimentos físicos e químicos na distribuição do sistema de raízes na entrelinha de um pomar de pessegueiros [*Prunus persica* (L.) Batsch] 'Maciel', enxertados sobre diversos porta-enxertos.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Persicultura brasileira**

A produção brasileira de frutas cresceu mais de 20% de 2001 a 2011, totalizando em 2011 aproximadamente 45 milhões de toneladas e gerando cerca de 2,5 milhões de postos de trabalho. Em 2012, as exportações representaram mais de 690 mil toneladas de frutas, o que representou um faturamento acima de 600 milhões de dólares americanos. O principal mercado a que se destinou a fruta brasileira foi o continente europeu, que importou, em 2012, cerca de 40% do total das frutas exportadas pelo Brasil (ANUÁRIO, 2013).

Há exigência dos consumidores ao redor do mundo em controlar e registrar todo o Sistema de Produção, incluindo análise de resíduos de agrotóxicos e estudos sobre impacto ambiental da atividade. A rastreabilidade de toda a cadeia produtiva é uma necessidade para acessar aos mercados globais, assegurando ao consumidor transparência do processo produtivo. Para atender a todas essas demandas, a Europa criou, na década de 1970, protocolos para Produção Integrada de Frutas (PIF). No Brasil, a PIF iniciou-se com a cultura da macieira em 1997, seguida do pessegueiro em 1999 e, posteriormente, as demais culturas. Em dezembro de 2003, foi publicada no

Diário Oficial da União a Norma Técnica Específica para Produção Integrada de Pêssego (PIP) (Fachinello *et al.*, 2009).

A PIF tem por princípio, desde sua concepção, a visão sistêmica, inicialmente no manejo integrado de pragas, evoluindo para a integração de processos em toda a cadeia produtiva (Andrigueto *et al.*, 2009). Dentre os principais avanços tecnológicos observados da adoção da PIP, destacam-se o incremento na qualidade do pêssego, minimização do impacto ambiental com a redução do uso de agrotóxicos e o uso de práticas agrícolas sustentáveis. A adoção do sistema de PIP resultou em uma redução, em média, de 50% no número de aplicações de herbicidas, em torno de 30% de inseticidas e fungicidas e redução de 30% na quantidade de fertilizantes aplicados (Fachinello *et al.*, 2009).

A área plantada com pessegueiros [*Prunus persica* (L.) Batsch] em 2012, no Brasil, foi de 19,2 mil ha, com produção de 233 mil toneladas. O Estado do Rio Grande do Sul é o maior produtor, com aproximadamente 13,5 mil ha, sendo a maioria da produção destinada à industrialização. O consumo per capita de conserva de pêssego foi de 0,25 kg hab<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, muito abaixo quando comparado ao de países como Itália, Espanha, França e Inglaterra, onde o consumo é de 5 kg.hab.ano<sup>-1</sup>. A evolução do cultivo dessa espécie é lenta e depende de novas alternativas de mercado, tais como sucos, polpas e néctares, muito valorizados para essa espécie (Fachinello *et al.*, 2009; IBGE, 2014).

As regiões produtoras de pêssego no sul do Brasil são caracterizadas por alta precipitação pluvial, acima de 1.500 mm/ano, alta umidade relativa do ar e ventos fortes durante a primavera e verão, o que favorece o aparecimento



de doenças e pragas, obrigando o produtor a intensificar o uso de insumos (Fachinello *et al.*, 2009). No que se refere ao controle de doenças, o uso de produtos químicos é intenso durante o ciclo vegetativo da cultura (May de Mio *et al.*, 2004). Há grande dependência do uso de agrotóxicos para o controle das principais pragas da cultura do pessegueiro: a podridão parda, causada pelo fungo *Monilinia fruticola* (Wint) Honey; a mariposa oriental (*Grapholita molesta* Busk); e a mosca sul-americana (*Anastrepha fraterculus* Wied) (Zanette & Biasi, 2004). A maioria das aplicações de produtos fitossanitários é realizada na forma líquida com auxílio de turbopulverizadores, tracionados por tratores agrícolas (Palladini & Kruger, 2004).

A compactação do solo é um problema comum em pomares devido ao tráfego de máquinas agrícolas pesadas, que ocorre mais de quinze vezes ao ano para a realização de práticas de manejo, tais como, fertilização, manejo da cobertura do solo, controle de pragas e operações de colheita (Ferree *et al.*, 2004; Minatel *et al.*, 2006; Tolón-Becerra *et al.*, 2010, Medeiros *et al.*, 2013), que são comuns ao itinerário técnico das principais culturas produtoras de frutos.

Operações agrícolas que envolvam mobilização e/ou tráfego de máquinas alteram substancialmente a estrutura dos solos, modificando as condições que determinam o ambiente de crescimento radicular (Reichert *et al.*, 2003).

## **2.2 Sistema de raízes**

As plantas são organismos sésseis e tem seu desenvolvimento, essencialmente, nos meristemas apicais, o que permite uma adaptação da sua

morfologia e desenvolvimento de seus órgãos de acordo com as condições ambientais, em permanente mudança (Schimidt & Linke, 2007; Hodge *et al.*, 2009). Devido sua aberta morfogênese (p.ex.: contínua ampliação do seu corpo para absorção de nutrientes) a plasticidade do desenvolvimento das plantas pode ser mantida por toda vida das plantas (Schimidt & Linke, 2007).

As diferenças de morfologia, anatomia, fisiologia e funções entre as raízes e copa das plantas levam a se considerar como dois sistemas separados dentro de uma planta. Porém, enquanto cada sistema cresce, atuam em nichos específicos para a obtenção de recursos (dióxido de carbono, luz, água e nutrientes), os dois trabalham em conjunto e formam um sistema integrado (Gregory, 2006).

As raízes e a copa estão intimamente ligadas. Em termos gerais, a copa abastece as raízes com fotoassimilados e fitohormônios. Em contrapartida, as raízes fornecem à copa a ancoragem, água, nutrientes e outros fitohormônios. As raízes são “sensíveis” às condições de solo e sinalizam para a copa, influenciando a expansão foliar e a abertura estomática. O principal sinalizador é o ácido abscísico que, em condições de baixo teor de água disponível, é produzido nas raízes e translocado para os ramos, onde inibe a expansão foliar e induz ao fechamento estomático (Bingham, 2001).

O sistema de raízes, com seu extensivo, mas estruturado desenvolvimento, pode ser considerado como uma resposta para uma variabilidade espaço-temporal do solo no suprimento de recursos e restrições associadas sobre o crescimento (Schimidt & Linke, 2007; Hodge *et al.*, 2009). Outra função das raízes é como órgão de reserva de nutrientes. Mesmo que não seja especializado nesta função, a importância das reservas das raízes

pode ser grande, não apresentando diferença no potencial de reserva quando comparado com outras partes da planta com esta função (Tromp, 1983).

O funcionamento de um sistema de raízes é o reflexo de maior ou menor independência de processos fisiológicos coordenados, que variam entre diferentes raízes e até mesmo dentro de uma mesma raiz, dependendo da sua idade. Isto tem uma profunda influência sobre as interações solo-raiz e na dinâmica da rizosfera (Schimidt & Linke, 2007; Hodge *et al.*, 2009).

As raízes são estruturas complexas que existem em diversas formas e exibem uma vasta gama de interações com o meio em que elas vivem. O crescimento do sistema de raízes em solos é afetado por um grande número de propriedades do solo e este, por sua vez, também é modificado em suas propriedades pelas raízes, tanto na escala espacial, quanto na temporal, sendo, as raízes, um componente da biologia do solo. As partículas do solo e as raízes estão frequentemente em íntimo contato a partir dos pelos radiculares, mucilagem e microrganismos, formando uma zona de múltiplas interações entre planta e solo, o que determina o ambiente da rizosfera. O crescimento das raízes axiais e laterais até novas regiões do solo expande a base de recursos explorados e a habilidade de ancoragem da planta (Gregory, 2006).

O crescimento de raízes pode ser limitado pelas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Bengough *et al.*, 2011). As raízes crescem por um processo de divisão celular no ápice do meristema, justamente atrás da coifa, e por expansão celular, na zona de alongamento, sendo esta dependente de uma pressão de turgor das células, que deve ser maior que a resistência ao

crescimento, resultando em uma pressão de crescimento positiva (Clark *et al.*, 2003; Jin *et al.*, 2013).

No solo, as raízes exploram fendas, espaços vazios e macroporos ou aumentam pequenos poros pelo deslocamento de partículas (Clark *et al.*, 2003). Existem quatro interações comuns entre a penetração de raízes e o solo: deformação do solo formando novos canais sobre pequenos poros pré-existent; alongamento através de um poro ou fenda existente; alongamento através de zonas com gradientes de resistência do solo e; deformação da raiz em zonas de alta resistência (Jin *et al.*, 2013). Um importante fator que determina a taxa de crescimento das plantas é a habilidade das raízes de crescer e explorar o solo para aquisição de água e nutrientes (Clark *et al.*, 2003).

A divisão celular ocorre nos meristemas radiculares, em planos paralelos ao eixo da raiz, criando filas de células que são divididas transversalmente, incrementando o número de células na região. A divisão celular não resulta em extensão do sistema, mas provê material para uma subsequente expansão celular, gerando crescimento. Na zona de alongamento, fora do meristema, as células incrementam em comprimento acompanhado do aumento no tamanho do vacúolo e da área lateral da parede celular. Para que ocorra a expansão celular nas raízes, requerem-se muitos processos coordenados, como, controle iônico (K) e de absorção de água no vacúolo, produção de nova parede celular e membranas e incremento no tamanho do citoesqueleto. O alongamento da raiz ocorre quando se soma a expansão individual das células ao longo de uma fileira de células, na direção do eixo (Gregory, 2006).

O crescimento secundário, ou radial, é resultado da atividade meristemática lateral do câmbio (Gregory, 2006; Hodge *et al.*, 2009). É característica de raízes de gimnospermas e da maioria das dicotiledôneas, mas comumente não ocorre na maioria das monocotiledôneas. O crescimento secundário consiste na (i) formação de tecidos vasculares secundários, dividindo e expandindo na direção radial e (ii) na formação de periderme, composta por tecidos corticosos. É governado pelo câmbio e forma xilema secundário na parte interna e floema secundário na parte externa do câmbio. Com divisões repetidas, xilema e floema secundários crescem em largura, formando anéis de crescimento. O floema primário tende a desaparecer (Raven & Jhonson, 2002; Gregory, 2006).

O crescimento axial define a quantidade e a trajetória das raízes e contribui para a colonização dinâmica de novas porções de solo. Sob o ponto de vista arquitetural, o alongamento e a direção do crescimento devem ser considerados. O primeiro deverá definir a dinâmica de colonização e o segundo, a forma do sistema de raízes. Já o crescimento radial, além da mudança morfológica, é um importante processo para uma gama de funções das raízes, incluindo o incremento das propriedades de transporte axial (particularmente a condutividade hidráulica axial), resistência mecânica e ancoragem, capacidade de estocagem e proteção contra predadores, patógenos e épocas de déficit hídrico (Hodge *et al.*, 2009).

A arquitetura do sistema de raízes é definida pela distribuição espacial em um volume de solo (Bingham, 2001). Varia muito em função da espécie, composição do solo e, particularmente, da disponibilidade de água e nutrientes minerais. O sistema de raízes é resultado de um controle coordenado por um

programa genético endógeno (crescimento e organogênese) e pela ação de estímulos bióticos e abióticos do ambiente (Hodge *et al.*, 2009).

A arquitetura radical é o resultado de processos de desenvolvimento (dinâmico) e traz dois importantes conceitos: a forma e a estrutura do sistema de raízes. A forma define a locação das raízes no espaço e os caminhos que as mesmas ocupam o solo. É quantificada geralmente pela mensuração das variáveis como profundidade das raízes, expansão lateral e densidade de raízes. Juntamente, a estrutura das raízes descreve a variedade de seus componentes constituintes (raízes e segmentos) e suas relações.

Há uma grande heterogeneidade da arquitetura do sistema de raízes entre as espécies vegetais, mas dentro da espécie a arquitetura é flexível. A geometria do sistema de raízes é complexa por causa do movimento específico no espaço de cada raiz, da relativa locação entre as raízes e da possível sobreposição das suas zonas de influência. A dinâmica temporal vem tanto do crescimento dos diferentes eixos de raízes como dos processos fisiológicos associados com os segmentos de raízes, resultando numa variabilidade espaço-temporal das funções das raízes ao longo do seu eixo. A diversidade de raízes dentro de um sistema de raízes e a heterogeneidade do solo aumenta esta variabilidade (Hodge *et al.*, 2009).

Raízes finas permitem ao sistema de raízes explorarem efetivamente o solo, minimizando o investimento necessário de construção e manutenção do sistema de raízes. Já as raízes grossas custam mais para serem produzidas, mas tem maior capacidade de transporte e são menos vulneráveis à dessecação, danos físicos, ataque de pragas, sendo geralmente longevas (Forde & Lorenzo, 2001). A classificação de Böhm, citado por Coelho *et al.*

(2008), considera as raízes quanto ao seu diâmetro: muito finas: < 0,5 mm; finas: 0,5-2,0 mm; pequenas: 2,0-5,0 mm; médias: 5,0-10 mm; grandes: 10-20 mm; muito grandes: > 20 mm. Raízes lenhosas são engrossadas e lignificadas pelo crescimento secundário. Normalmente apresentam 2 mm de diâmetro ou mais. Segundo Vercambre *et al.* (2003), as raízes fibrosas são finas, flexíveis, não apresentam crescimento secundário e apresentam poucos milímetros de diâmetro.

### **2.2.1 Sistema de raízes de árvores frutíferas**

O sistema de raízes de dicotiledôneas é derivado de raízes primárias e ramificações laterais, formando o sistema radical primário. As raízes podem exibir crescimento radial ou secundário, formando raízes lenhosas. Dependendo da distância relativa das raízes laterais em relação ao eixo primário, a morfologia do sistema de raízes pode variar entre pivotante, difuso e fasciculado (Hodge *et al.*, 2009). O crescimento e a distribuição das raízes de árvores pode afetar o desenvolvimento da parte aérea das plantas. Há relação entre o vigor de pessegueiros com o volume de solo prontamente explorável pelo sistema de raízes (Williamson *et al.*, 1992).

Nas plantas arbóreas, a arquitetura do sistema radicular apresenta características específicas: (i) o sistema de raízes é perene e coloniza um grande volume de solo; (ii) o crescimento radial é expressivo, onde as raízes principais podem atingir muitos centímetros de diâmetro; (iii) a mortalidade de raízes pode ser muito alta e; (iv) muitas raízes estão sujeitas à ramificação múltipla, onde vários eixos podem ser emitidos de um eixo principal com as mesmas características do seu eixo original (Vercambre *et al.*, 2003).

A distribuição de raízes de uma árvore frutífera é uma função de inumeráveis fatores, sendo a influência do porta-enxerto de maior importância, quando não existem restrições por parte do solo. Geralmente, um porta-enxerto vigoroso corresponde a um grande volume de raízes. Há variação de acordo com a espécie, cultivar, propriedades químicas e físicas do solo e manejo da cultura (Sánchez, 2007). Plantas frutíferas dicotiledôneas (classe Magnoliopsida) propagadas por semente apresentam sistema de raízes pivotante, enquanto as propagadas assexuadamente apresentam um sistema fasciculado (Coelho *et al.*, 2008).

### **2.2.2 Porta-enxertos**

O gênero *Prunus* apresenta alta diversidade dentro do grupo das plantas lenhosas da família *Rosaceae* e da subfamília *Prunoideae*. Muitas espécies são de importância econômica, produzindo frutos comestíveis, tais como: cerejas, damascos, amêndoas, pêssegos e ameixas (Bouhadida *et al.*, 2009).

O uso de porta-enxertos é uma prática muito antiga e remonta à época de aplicação da enxertia. Os objetivos perseguidos com o emprego do porta-enxerto são múltiplos, sendo prioritários a resistência aos estresses bióticos e abióticos e o controle do desenvolvimento vegetativo e produtivo da árvore. Os principais requisitos para um porta-enxerto são: homogeneidade genética; facilidade de propagação vegetativa; afinidade com a maioria das cultivares de interesse comercial; capacidade de imprimir um grau de vigor compatível com os objetivos de produção; imunidade ou resistência às pragas e adaptabilidade às condições edafoclimáticas das áreas de difusão da cultura (Loreti, 2008a).



Porta-enxertos tem sido utilizados em muitas espécies de fruteiras para proporcionar vantagens no crescimento ou resistência a pragas, sem afetar a produtividade e a qualidade dos frutos (Olmstead *et al.*, 2012).

A correta escolha dos porta-enxertos é fundamental na fruticultura moderna. Sua influência pode afetar muitas características da cultivar-copa, como o vigor, a produtividade, a concentração de nutrientes nos tecidos, a necessidade de poda, o peso médio dos frutos, a precocidade de produção e a eficiência produtiva (Giorgi *et al.*, 2005; Zarrouk *et al.*, 2005; Tombesi *et al.*, 2011).

Também se deve considerar a densidade do solo, incidência de pragas como nematóides e fungos de raiz, outros problemas edáficos e a doença do replantio. Se uma ou mais destas condições estiverem presentes, a sobrevivência do pomar e o crescimento podem ser aumentadas significativamente com a escolha correta de um porta-enxerto para cada situação. Por exemplo, os porta-enxertos de pessegueiros geralmente não são adaptados a solos mal drenados, muito argilosos e solos calcários, com pH > 7,5 (Reighard, 2000).

O modo como o porta-enxerto afeta o vigor de uma cultivar-copa está relacionado com o diâmetro dos vasos do xilema (Tombesi *et al.*, 2011). Porta-enxertos de menor vigor apresentam maior número de vasos com diâmetro menor, o que resulta em menor condutividade hidráulica. Desta forma, os porta-enxertos afetam também a absorção de nutrientes pela planta, que é menor em porta-enxertos de baixo vigor (Zarrouk *et al.*, 2005). A tendência da fruticultura moderna é a utilização de porta-enxertos ananizantes, que formam copas menores e induzem melhor qualidade dos frutos (Mayer *et al.*, 2006).

Entre os porta-enxertos para pessegueiros, selecionados pela resistência aos nematóides, o 'Nemaguard' é, sem dúvida, aquele que encontrou maior difusão tanto ao norte, quanto ao sul da América. Trata-se de um suposto híbrido natural entre *P. persica* x *P. davidiana*, selecionado pela USDA (United States Department of Agriculture). Mostrou boa afinidade com todos as cultivares de pessegueiros e nectarinas estudadas. As plantas enxertadas neste porta-enxerto manifestaram bom vigor. Apresenta tolerância a solos ácidos, boa resistência aos nematóides *Meloidogyne javanica* e *M. arenaria* e tem se mostrado o mais tolerante ao *Agrobacterium tumefaciens*. Porém, apresenta sensibilidade ao frio, à asfixia radicular, ao *Verticillium* e ao nematóide *Pratylenchus vulnus*. Pode ser empregado em áreas de replantio, onde se mostra mais vigoroso que os porta-enxertos francos (Finardi, 1998; Loreti, 2008b).

O porta-enxerto 'Okinawa' é originário do Programa de Melhoramento Genético da Universidade da Flórida, EUA. Apresenta resistência a *M. incognita*, *M. javanica* e *Radopholus similis* (Fachinello & Loreti, 2000). Sua necessidade de acúmulo de horas de frio é baixa, estimada em 100 horas e é exigente principalmente com as temperaturas primaveris (Finardi, 1998).

O umezeiro (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) é nativo da China e utilizado no Japão para produção de frutos e ornamentação há mais de 2000 anos. Foi introduzido no Brasil nos anos 70 por imigrantes japoneses, em Botucatu – SP. Dentre os porta-enxertos de pessegueiros de baixo vigor, o umezeiro é estudado no Brasil como uma alternativa para reduzir o porte das plantas, podendo reduzir o vigor da copa em até 50%, quando comparado ao 'Okinawa'.

Como desvantagem, ele pode apresentar baixo pegamento de enxertos, quando comparado ao 'Okinawa' (Mayer & Pereira, 2004; Mayer *et al.*, 2005).

Segundo Mayer *et al.* (2007a), o porta-enxerto 'Okinawa', utilizado para a cultura do pessegueiro, quando propagado por sementes, apresenta 83,48 % da massa seca correspondente às raízes grossas ( $\emptyset > 2,8$  mm) e apenas 16,52 % correspondente às raízes finas ( $\emptyset < 2,8$  mm). Quando propagado por estacas herbáceas, encontraram proporções semelhantes, ou seja, 84,29 % de raízes grossas e 15,71 % de raízes finas (Mayer *et al.*, 2007a). Para o porta-enxerto umezeiro, em estudo com três clones propagados por estaquia, Mayer *et al.* (2007b) verificaram que 70 a 80 % da massa seca correspondem a raízes grossas ( $\emptyset > 2,8$  mm).

### **2.3 Restrições ao desenvolvimento do sistema de raízes**

O solo é um meio complexo com alta variabilidade ambiental, tanto no espaço quanto no tempo, numa vasta gama de escalas (Gregory, 2006), incluindo aquelas relevantes às raízes das plantas (Hodge *et al.*, 2009). Para o crescimento de raízes, a habilidade do solo suprir água e nutrientes e a disposição de ser deformado pela raiz para sua proliferação são aspectos-chave (Jin *et al.*, 2013). Também necessita ter suficiente resistência mecânica para promover ancoragem para as plantas por toda sua vida e sustentar um sistema de poros contendo água e gases necessários para o crescimento das mesmas (Gregory, 2006).

Quando o solo apresenta impedimentos físicos e/ou químicos à penetração de raízes, a água existente nestas porções fica inacessível às plantas, reduzindo a capacidade do solo de suprimento de água pela

diminuição do volume de solo explorado pelas raízes (van Raij, 2010). Zonas compactadas (Jin *et al.*, 2013) e ácidas, onde há ocorrência de alumínio trocável (van Raij, 2010) constituem barreiras à exploração do solo pelas raízes das plantas. Algumas plantas apresentam sistemas de raízes extensos e profundos, o que amplia consideravelmente o volume de solo explorado, aumentando a possibilidade de absorção de água, principalmente em períodos de déficit hídrico (van Raij, 2010).

As principais limitações físicas para o crescimento e desenvolvimento das raízes são a deficiência no suprimento de água, hipoxia ou anoxia e a resistência mecânica à penetração (Bengough *et al.*, 2011). A compactação do solo influencia no desenvolvimento das raízes, prejudicando suas atividades metabólicas e, como consequência, diminuindo a qualidade e quantidade dos produtos agrícolas colhidos (Pedrotti *et al.*, 2005). Sob o ponto de vista agrônomo, a compactação do solo impede o desenvolvimento das raízes, prejudica o crescimento das plantas e o rendimento dos cultivos (Tolón-Becerra *et al.*, 2010), mas não se sabe se esse fator atua de forma isolada ou em conjunto com a disponibilidade de água às plantas (Jin *et al.*, 2013). Segundo Gregory (2006), porções do solo com alta densidade limita o crescimento de raízes pela alta resistência mecânica e/ou pelo baixo suprimento de oxigênio.

### **2.3.1 Compactação do solo**

A compactação tem sido apontada como a principal causa da degradação de áreas, tanto agrícolas como florestais, em todo o mundo (Peng *et al.*, 2004; Saffih-Hdadi *et al.*, 2009). Uma vez acometido por problemas de compactação, o solo passa a ter sua qualidade física comprometida, perdendo

parcialmente ou totalmente suas funções fundamentais, tais como: servir de meio para o crescimento das plantas; exercer regulação e participação do fluxo de matéria e energia no ambiente; bem como atuar como filtro ambiental (Reichert *et al.*, 2003).

A compactação do solo se produz por forças que se movem através do solo, de magnitude suficientemente elevada para mover suas partículas (Rienzi & Maggi, 2007). Por definição, a compactação do solo é caracterizada por um aumento na densidade do solo, causado pelo homem ou por animais, resultado do rearranjo das partículas do solo e, conseqüentemente, redução da porosidade (Reichert *et al.*, 2010).

No solo, a compactação pode ser dividida em dois tipos: de superfície e de subsuperfície. A de superfície ocorre na camada de até 20 cm, enquanto a de subsuperfície ocorre abaixo desta (Botta *et al.*, 2002; van Dijck & van Asch, 2002). Esta última, quando constatada, é de difícil mitigação mecânica, às vezes impossível, sempre de alto custo, causando perdas de rendimento aos cultivos (Häkansson & Reeder, 1994; Klein, 2012; Tolón-Becerra *et al.*, 2012).

A profundidade e a intensidade da compactação do solo pelo tráfego de máquinas dependem da forma de aplicação e da magnitude das tensões aplicadas, ou seja, do tipo e da dimensão dos rodados e da carga sobre eles aplicada (Hamza & Anderson, 2005). Somente em circunstâncias excepcionais, os solos agrícolas resistem suficientemente às cargas aplicadas na superfície pelos rodados das máquinas agrícolas sem que seja excedido o limite elástico do solo, resultando em danos permanentes (Soane *et al.*, 1981a).

As circunstâncias onde os solos agrícolas resistem às cargas aplicadas dependem das propriedades físicas do solo e dos rodados das máquinas

(Soane *et al.*, 1981a). A capacidade de suporte de cargas (CSC) dos diferentes tipos de solo depende do seu estado de agregação, ou seja, da resistência interagregados e intra-agregados, da textura, do teor de água, do teor de matéria orgânica e das tensões (cargas) que o solo já recebeu no passado. A pressão de pré-consolidação ( $\sigma_p$ ), obtida através da curva de compressão do solo, é um parâmetro da capacidade do solo para suportar cargas. Pressões abaixo da pressão de pré-consolidação causam deformações elásticas (recuperáveis), enquanto pressões acima dela causam deformações plásticas (não-recuperáveis). Com o aumento da densidade do solo, há aumento da  $\sigma_p$  para determinado grau de saturação, o que demonstra que solos já compactados apresentam maior CSC, reduzindo as deformações plásticas. Solos virgens são mais suscetíveis à compactação, devido à menor CSC que apresentam (Silva *et al.*, 2002a; Silva *et al.*, 2002b). A condição de umidade do solo é um fator determinante da capacidade de suporte de carga do solo. Quando seco, o solo é bastante coeso e apresenta grande resistência à compactação, mas, à medida que ele vai umedecendo, ocorre a formação de um pequeno filme de água entre os agregados do solo, facilitando o deslocamento e o rearranjo das partículas sólidas da matriz do solo, diminuindo a resistência do solo à compactação (Hillel, 1980).

As alterações na densidade do solo e porosidade interferem na dinâmica dos fluxos de água (Alaoui *et al.*, 2011; Arvidsson *et al.*, 2011) e de gases no solo (Alaoui *et al.*, 2011; Berisso *et al.*, 2013), principalmente pelas mudanças na geometria do espaço poroso do solo (Tolón-Becerra *et al.*, 2012). O incremento da densidade do solo e da resistência mecânica à penetração

leva a redução da condutividade, permeabilidade e difusividade da água e gases (Ferree *et al.*, 2004).

Estudando diferentes solos manejados sob sistema de plantio direto de plantas de lavoura com mais de cinco anos, Mazurana (2011) aponta aumento na densidade e redução na porosidade total, em decorrência da redução no volume de macroporos, cujas alterações foram atribuídas ao tráfego de máquinas em condições inadequadas de umidade, na maior parte dos casos. No mesmo sentido, Arvidsson *et al.* (2011), estudando diferentes sistemas de bandas de rodagem que equipam tratores agrícolas, apontam um aumento na densidade do solo e na resistência mecânica do solo à penetração, seguida da diminuição da condutividade hidráulica saturada, após a passagem do trator equipado com rodados simples em comparação aos equipados com rodados duplos (dois pneus em cada eixo).

Para verificar a influência de alguns fatores na compactação do solo em um solo silto-argiloso, foi realizada uma análise de regressão usando variáveis independentes: pneumáticos (dimensões, pressão de inflação); solo (umidade, resistência mecânica à penetração inicial) e; externos (velocidade do tráfego, carga por eixo e número de passadas do veículo) e dependentes: resistência mecânica à penetração e densidade do solo. Os resultados mostraram que os principais fatores que influenciam na compactação do solo são a carga sobre o eixo do veículo e o número de passadas. Como fatores de efeitos significantes, identificou-se a umidade do solo edimensões e pressão de inflação dos pneumáticos. A maior compactação do solo ocorre durante as três primeiras passadas dos rodados (Canillas & Salokhe, 2001).

Os problemas da compactação do solo causados nas plantas são vislumbrados no sistema radicular, com comprometimento no desenvolvimento morfológico (Taylor *et al.*, 1966) e fisiológico da raiz (Lipiec *et al.*, 2012) interferindo nos processos de absorção e transporte de água e nutrientes, sendo expressos posteriormente na parte aérea, com menor produção de matéria seca. Em solos compactados, de maneira geral, pode-se esperar a redução da extensão do sistema radicular (Anghinoni & Meurer, 1999).

A fricção corresponde a mais de 80% do total da resistência mecânica à penetração das raízes. Incrementos na taxa de produção de células da borda da coifa e de mucilagem pode diminuir a fricção entre solo e a raiz, principalmente em solos com alta resistência mecânica à penetração (Bengough *et al.*, 2011). Uma questão a ser considerada é a ancoragem da ponta das raízes para possibilitar a penetração em camadas compactadas. A ancoragem é alcançada por fricção cumulativa entre as partículas de solo e os tecidos em maturação na zona de alongamento, pela produção de pelos radiculares próximos à ponta da raiz, aumentando a possibilidade de penetração nestas camadas onde há transferência da força de resistência à penetração para a matriz do solo (Bengough *et al.*, 2011).

A compactação do solo afeta o crescimento das raízes bem como da parte aérea, dependendo da extensão com que afeta a obtenção de água e nutrientes pelas culturas (Clark *et al.*, 2003). Analisando os efeitos da compactação do solo no alongamento e anatomia de diferentes espécies de plantas, Lipiec *et al.* (2012) apontam que a compactação do solo reduziu o alongamento radicular e modificou a anatomia das células das raízes com sete dias de desenvolvimento. As células das raízes, na condição de solo



compactado, sofreram invaginações e achatamentos, comprometendo tanto as células do córtex, como as células do cilindro vascular, dificultando o fluxo interno de água e nutrientes na raiz e desta para a parte aérea. A área da secção transversal da raiz de cereais foi superior quando cresceram em solo compactado de 10% a 130% em relação à condição de solo não compactado. Jin *et al.* (2013) demonstraram que há uma redução no comprimento e diâmetro das células da ponta da raiz quando crescem em solos com alta resistência mecânica do solo à penetração (RP). Por outro lado, a inibição no crescimento das raízes não é necessariamente correlacionada com inibição na absorção de nutrientes por causa do aumento de contato entre solo-raiz em solos compactados (Ferree & Streeter, 2004).

As diferentes espécies respondem de maneira distinta quanto à penetração de suas raízes em solos com altas RP, devido basicamente a sua capacidade de crescimento radial (maior em dicotiledôneas que monocotiledôneas), que permite maior resistência a processos que levam à deformação, como a RP. Em nível de cultivar, alguns estudos demonstraram diferentes níveis de sensibilidade à compactação do solo, podendo ser utilizado como característica de seleção de cultivares em programas de melhoramento (Clark *et al.*, 2003). O desenvolvimento de altas pressões de crescimento da raiz não explica o crescimento em porções de solo compactado, apresentando as diferentes espécies um similar intervalo de pressões de crescimento, entre 240 a 580 kPa (Jin *et al.*, 2013).

O alongamento das raízes decresce à medida que a RP do solo aumenta. Valores de RP acima de 6000 kPa diminui em taxas muito lentas o alongamento das raízes e, para a maioria das espécies, valores acima de 2000

kPa diminui ao menos pela metade a taxa de crescimento. A proliferação lateral de raízes aparenta ser uma resposta comum à compactação. A perda da dominância apical deve causar a proliferação lateral, mesmo não sendo esta uma resposta universal, variando conforme a espécie, grau de compactação do solo e da natureza do espaço poroso (Gregory, 2006).

Além de comprometer o desenvolvimento das plantas pela mudança nas propriedades do solo, os efeitos da compactação acabam por se estender por todo o sistema solo-planta-atmosfera e a compactação pode ser um agente catalisador do aumento na concentração dos gases do efeito estufa. Estudo recente aponta que em solos compactados o movimento de água e nutrientes no solo e deste para as raízes é muito lento (Miransari *et al.*, 2009). Neste caso, a absorção de nitrogênio, por exemplo, acaba sendo lenta e aumentam as perdas de nitrogênio por desnitrificação (Ruser *et al.*, 2006; Miransari *et al.*, 2009; Alaoui *et al.*, 2011), sendo potencializadas pela redução do tamanho, atividade e fisiologia do sistema radicular (Lipiec *et al.*, 2012).

### **2.3.2 Compactação do solo em pomares**

Em pomares, a compactação do solo, pelo tráfego contínuo de máquinas agrícolas na mesma porção de solo das entrelinhas, afeta o crescimento e a distribuição das raízes das plantas frutíferas (van Dijck & van Asch, 2002; Sánchez, 2007; Rienzi & Maggi, 2007; Tolón-Becerra *et al.*, 2010; Tolón-Becerra *et al.*, 2012).

O padrão de compactação do solo nas entrelinhas de pomares é de duas faixas de maior compactação, com forma de bulbo, coincidentes com a linha de tráfego dos rodados do conjunto trator-implemento. A porção central

da entrelinha de pomares, que corresponde ao espaço entre rodados do trator, também apresenta compactação, pelo fato que o tráfego do maquinário agrícola raramente se dá exatamente no mesmo local, formando uma camada homogênea de compactação nesta porção do solo da entrelinha (van Dijck & van Asch, 2002).

A adição de matéria orgânica na superfície, seja na forma de adubos orgânicos de origem animal (estercos) ou pela adição de palha (plantio direto) aumenta a elasticidade da superfície do solo, diminuindo o impacto do uso de maquinário. Solos com horizonte superficial orgânico podem resistir mais às pressões exercidas pelo maquinário agrícola, devido às propriedades de alta elasticidade da matéria orgânica do solo (MOS) (Hamza & Anderson, 2005). A manutenção do solo coberto por vegetação espontânea e/ou cultivada auxilia na redução da compactação do solo causada pelo tráfego de máquinas nos pomares (Minatel *et al.*, 2006). Em estudos com manejo da cobertura do solo por dez anos de um pomar de pecaneira (*Carya illinoensis*), o tratamento com roçadas duas vezes ao mês causou aumento da resistência mecânica à penetração na camada de 15 - 25 cm de profundidade em relação aos tratamentos com herbicidas ou testemunha (Foshee *et al.*, 1997).

Outro fator importante é a dificuldade de se trabalhar o solo de pomares nas porções compactadas com escarificadores e/ou subsoladores, a qual é uma forma de remediação da compactação do solo a curto prazo, por causar sérios danos ao sistema de raízes das plantas, possibilitando a incidência de doenças (Rienzi & Maggi, 2007) e, muitas vezes, por ser ineficiente, pela necessidade de se trafegar com as mesmas máquinas

agrícolas novamente logo após a operação de descompactação (Minatel *et al.*, 2006).

Pessequeiros se desenvolvem bem em solos profundos, permeáveis e bem drenados. As raízes necessitam de boa aeração para realizarem, adequadamente, suas atividades metabólicas. O pH mais favorável situa-se ao redor de 6,0, onde são alcançados os melhores índices de produtividade (Herter *et al.*, 1998).

Andrioli *et al.* (2003) observaram, em um experimento realizado em Latossolo Vermelho Distrófico de textura média, menor presença de raízes de laranjeira 'Valência' na zona de tráfego de máquinas e valores de resistência à penetração de cerca de 3900 kPa, superiores aos valores identificados na região sem tráfego, de aproximadamente 2000 kPa. Na cultura dos citros, Fidalski *et al.* (2007) apontam que o manejo mecanizado do pomar resulta na heterogeneidade das propriedades físicas do solo na entrelinha. Segundo Souza *et al.* (2011), o uso de maquinário para as operações de manejo, como adubações e pulverizações, provoca degradação da estrutura do solo nas áreas citrícolas, sendo que o maquinário chega a trafegar na área quinze vezes por ano.

Estudos para mensurar as respostas das plantas aos impedimentos mecânicos do solo no crescimento podem ser divididos em dois tipos: O primeiro é quando a resistência mecânica é manipulada independentemente de outras condições físicas, tal como aeração, geralmente sem a utilização de solo como meio de crescimento. O segundo tipo é quando os impedimentos mecânicos variam a partir de outros atributos físicos, geralmente pela compactação do solo, onde há aumento da resistência à penetração,

diminuição da aeração e incremento do contato solo-raiz. Esta abordagem tem a vantagem de ser mais representativa dos ambientes naturais e/ou agrícolas (Clark *et al.*, 2003).

### **2.3.3 Resistência mecânica à penetração como indicador do estado de compactação do solo**

A literatura reporta diversos indicadores físicos para mensurar o grau de compactação de um solo, sendo a densidade e a resistência mecânica à penetração (RP) os indicadores quantitativos mais utilizados (Raper, 2005; Reichert *et al.*, 2010).

A medida da RP é um método simples, altamente conveniente de mensuração da compactação do solo, tanto na superfície, quanto em subsuperfície (Soane *et al.*, 1981a) e largamente referido na literatura, por ter correlação com a taxa de alongamento de raízes (Bengough *et al.*, 2011; Jin *et al.*, 2013). Ela descreve a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele, como uma raiz em crescimento ou uma ferramenta de cultivo (Pedrotti *et al.*, 2001). É dependente do conteúdo de água, da densidade do solo e da distribuição do tamanho das partículas (Reichert *et al.*, 2010). Os níveis críticos de RP para o crescimento das plantas variam de acordo com o tipo de solo e da espécie vegetal cultivada.

A RP aumenta e diminui, respectivamente, com a redução do conteúdo de água (Jin *et al.*, 2013) e da densidade do solo (Klein *et al.*, 1998). A diminuição da RP com o incremento do conteúdo de água é mais pronunciada para solos argilosos, comparativamente aos arenosos (Mapfumo & Chanasyk, 1998). Por outro lado, o aumento da RP em função do incremento na

densidade do solo se torna menos evidente à medida que o teor de água aumenta (Klein *et al.*, 1998; Camara & Klein, 2005), indicando que, em solos úmidos, a medida da RP é menos sensível na detecção de camadas ou zonas de solo compactadas. Ademais, quando analisadas e relacionadas com os mecanismos envolvidos no crescimento radicular com a ação da haste de penetrômetros, os mesmos são diferentes. Assim, a RP pode ser de duas até oito vezes maior que a encontrada pela raiz devido à incapacidade do penetrômetro acompanhar o arranjo poroso do solo, pelo fato da fricção entre o solo e raiz ser muito menor que solo e metal e pelo incremento da secreção de mucilagem da coifa com o aumento da RP (Clark *et al.*, 2003; Bengough *et al.*, 2011; Jin *et al.*, 2013)

A RP é uma variável comumente encontrada em trabalhos para diagnosticar o estado da compactação do solo em pomares tais como os de Foshee *et al.* (1997), Gómez *et al.* (1999), van Dijck & van Asch (2002), Ferrero *et al.* (2005), Minatel *et al.* (2006), Tolón-Becera *et al.* (2010) Müller *et al.* (2011), Tolón-Becera *et al.* (2012), Medeiros *et al.* (2013), Santos (2013) e Silveira (2013).

A densidade do solo apresenta a vantagem da independência do teor de água, com exceção de solos com predominância de material com argilas expansivas. No entanto, por envolver a coleta de amostras indeformadas com uso de anéis volumétricos, é um método trabalhoso, demorado, destrutivo e invasivo. Além disso, embora a densidade seja uma das primeiras propriedades afetadas pela compactação, ela é um indicador pobre das modificações da estrutura do solo, como salienta Keller *et al.* (2011), porém,

associada a outros indicadores, fornece subsídio para entendimento dos processos.

Tendo como base a classificação textural do solo e estudos com uso do intervalo hídrico ótimo, Reichert *et al.* (2003) estabeleceram alguns valores de densidade do solo considerados críticos ao desenvolvimento de plantas. Assim, para estes autores, valores de densidade de 1,30, 1,45 e 1,75 Mg m<sup>-3</sup> para solos de textura muito argilosa, média e arenosa, respectivamente, são considerados limitantes ao desenvolvimento de plantas.

Outros indicadores do estado de compactação do solo são a porosidade, a permeabilidade e a difusividade de gases, resistência ao cisalhamento, a capacidade de carga superficial, a deformação do solo em superfície e em subsuperfície, a condutividade hidráulica e a capacidade de infiltração de água no solo, entre outros (Soane *et al.*, 1981a; Alaoui *et al.*, 2011; Berisso *et al.*, 2013).

### **2.3.5 Fertilidade do solo**

A maioria dos solos brasileiros apresenta baixa ou muito baixa fertilidade. A acidez do solo, deficiência de fósforo e cálcio e toxidez causada por alumínio e manganês limitam a produção agrícola nas regiões tropicais e subtropicais do Brasil (Caires, 2010). Por outro lado, aplicações de fertilizantes resultam em incrementos substanciais no desenvolvimento da parte aérea das plantas e no rendimento dos cultivos, porém essa resposta não é tão pronunciada sobre o desenvolvimento das raízes (Gregory, 2006).

As raízes possuem alto grau de plasticidade fisiológica e morfológica com o objetivo de capturar nutrientes em manchas transitórias no solo, que são

distribuídos de forma desigual no espaço e no tempo. As respostas fisiológicas tendem a ocorrer primeiro, podendo ser maiores e mais rápidas. Já, as respostas morfológicas, onde há proliferação das raízes nas manchas de maior fertilidade, tendem a levar mais tempo, pois envolvem formação de novas raízes laterais, ao invés de simplesmente alongamento. Espécies de rápido crescimento, em um “habitat” fértil, são frequentemente consideradas mais capazes de ter uma maior plasticidade morfológica que plantas de crescimento lento em um “habitat” de baixa fertilidade, pelo fato de ter mais recursos para alocar na construção de novas raízes (Forde & Lorenzo, 2001; Schmidt & Linke, 2007; Hodge *et al.*, 2009).

A saturação por bases, ou valor V, é a fração da capacidade de troca catiônica (CTC pH 7,0) ocupada pelos cátions de reação básica. É calculado pela divisão da soma dos cátions de reação básica ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$ ) pela CTC (pH 7,0) (Bissani *et al.*, 2008). É um indicador da fertilidade do solo e compõe a análise básica de todos os laboratórios da Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e Tecido Vegetal do RS e SC (ROLAS) (SBCS, 2004).

As respostas à escassez de nutrientes são típicas e únicas, o que implica no envolvimento de diferentes sistemas sensoriais e rotas de sinais parcialmente separados para coordenar a absorção dos nutrientes essenciais. As plantas são hábeis para responder a porções de solo ricas em nutrientes por um maior crescimento. Há evidências de que os nutrientes atuam diretamente como sinalizadores para induzir mudanças no crescimento do sistema radicular, principalmente na formação de raízes laterais e pelos radiculares (Schmidt & Linke, 2007). Há mudanças na arquitetura do sistema



radicular em resposta à heterogeneidade da disponibilidade de nutrientes no solo. A coifa é capaz de detectar deficiências em nutrientes, tendo como consequência um impedimento no seu crescimento (Hodge, 2010).

As plantas possuem uma variedade de mecanismos para melhorar a absorção de fósforo (P) em solos com baixos teores, incluindo a proliferação de pelos radiculares, secreção de fosfatases para disponibilizar P-orgânico, exudação de ácidos orgânicos para solubilizar P-inorgânico e simbiose com micorrizas. A arquitetura do sistema radicular é importante na aquisição de fosfatos, onde genótipos eficientes apresentam raízes mais vigorosas e ramificadas que os ineficientes (Bingham, 2001).

O pH, a condutividade elétrica, a umidade do solo e a disponibilidade de nutrientes influenciam a distribuição de raízes (Coelho *et al.*, 2008). As raízes da maior parte das plantas cultivadas não se desenvolvem bem em solos ácidos, por causa do excesso de alumínio e/ou manganês em formas tóxicas e/ou da deficiência de cálcio e/ou molibdênio. Como consequência, o sistema de raízes se torna pouco desenvolvido e, em condições de campo, resulta em reduções expressivas na capacidade de exploração de água e nutrientes das camadas subsuperficiais do solo, induzindo maior suscetibilidade às plantas à deficiência hídrica e nutricional durante períodos de estiagem, causando reflexos negativos na produtividade (Gregory, 2006; Caires, 2010).

Considerando o fato de que a elevação do pH, até certos limites, aumenta a concentração da maioria dos elementos na solução do solo, ocorre maior absorção pelas plantas, nos valores de pH (em água) na faixa de 5,5 – 6,5. Nesta faixa a disponibilidade de alguns nutrientes é máxima

(macronutrientes) e não limitante para outros (micronutrientes) (Prado, 2008). Para a maioria das espécies frutíferas cultivadas, nos Estados do RS e SC é recomendado corrigir o pH (em água) para 6,0 (SBCS, 2004).

O alumínio (Al) é um dos maiores constituintes do solo e está dissolvido em várias formas iônicas. A toxidez por Al é o maior fator limitante da produção em solos ácidos, principalmente em  $\text{pH} < 5,0$ , onde o  $\text{Al}^{3+}$ , a forma mais tóxica, é solúvel no solo (Panda *et al.*, 2009). O  $\text{Al}^{3+}$  pode ocupar de 4 a 94% da CTC efetiva da maioria dos solos (Matsumoto, 2002). A toxidez por alumínio é considerada como um distúrbio complexo sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas, podendo manifestar-se como deficiência de nutrientes essenciais, tais como cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe) e molibdênio (Mo), além de diminuir a disponibilidade de P no solo (precipitação de fosfatos de alumínio) (Valencia *et al.*, 2012). Em solos ácidos, o alumínio é considerado como uma das principais causas do crescimento reduzido e do declínio de povoamentos florestais de carvalho (*Quercus robur* L.) (Göttlein *et al.*, 1999).

A parte da planta mais afetada pela toxidez de Al é o sistema radicular. A toxidez por este elemento é devida à inibição do crescimento das raízes, bloqueando o mecanismo de divisão celular, reduzindo o alongamento das mesmas. Como consequência, as raízes se tornam atrofiadas e quebradiças, o desenvolvimento de pelos radiculares é pobre e há danos e engrossamento dos ápices das raízes, resultando, finalmente, em severo dano ao sistema de raízes, levando a baixa absorção de nutrientes e água (Panda *et al.*, 2009).

A redução no alongamento das raízes é o primeiro sintoma visível do estresse por Al. Entretanto, a presença de outros íons reduz os efeitos do Al

nas raízes por causa da interação com estes. Mudanças nas cargas elétricas da superfície das raízes por outros íons, especialmente cátions (Ca e Mg), afeta a sensibilidade ao Al (Matsumoto, 2002).

O Al não somente altera rapidamente as propriedades da parede celular, mas também da membrana plasmática. A interação do Al com proteínas e lipídeos das membranas celulares induz modificações estruturais, tais como a fluidez e a permeabilidade. Essas mudanças afetam o transporte de íons. O aumento na atividade do  $\text{Ca}^{2+}$  é outra alteração indicativa da toxidez por Al nas raízes, juntamente com a indução da formação de calose, particularmente no ápice radicular, citoplasmático causado pela desordem nas propriedades da membrana (George *et al.*, 2012). O Al também tem efeito no transporte de auxinas (Matsumoto, 2002). Também há relatos na alteração da formação de citoesqueleto pelo desordenamento da orientação da formação dos microtúbulos, afetando o alongamento celular (Matsumoto, 2002).

Os mecanismos de tolerância ao  $\text{Al}^{3+}$  são basicamente por exclusão ou por tolerância à acumulação no simplasto de raízes e/ou órgãos da parte aérea. Ambas ocorrem pela formação de quelatos com ácidos orgânicos (majoritariamente os ácidos cítrico, málico e oxálico), sendo estes exudados pelas raízes, atuando antes da absorção ou no simplasto, após a absorção (Al-quelatos podem ser acumulados nos vacúolos das raízes e/ou folhas), sendo um mecanismo vital de detoxificação do  $\text{Al}^{3+}$  (Matsumoto, 2002; Gregory, 2006; Panda *et al.*, 2009).

Como cátion trivalente, o  $\text{Al}^{3+}$  é retido pelas cargas negativas das partículas de solo, à semelhança de outros cátions trocáveis, estando em equilíbrio com o  $\text{Al}^{3+}$  na solução do solo. Sob o ponto de vista da toxidez para

as plantas, a saturação por alumínio da CTC efetiva do solo é mais importante que o seu teor (Bissani *et al.*, 2008), por demonstrar sua relação com os outros cátions que competem nos sítios de absorção das raízes.

De maneira geral, os parâmetros mais utilizados na avaliação da eficiência na absorção de nutrientes das plantas são a massa fresca ou seca, a área superficial, o comprimento e o raio médio do sistema radicular. Embora cada parâmetro citado apresente limitações e vantagens quanto ao seu uso, a área superficial e o comprimento de raízes são preferidos e mais utilizados para a expressão das taxas de absorção de água e de nutrientes, além de refletir os efeitos bióticos e abióticos do meio (Uren, 2007; Jorge & Rodrigues, 2008).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Para o presente trabalho, foi utilizado um experimento em condução na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (30°06" S; 51°39" O), situada no município de Eldorado do Sul, RS. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico (Streck *et al.*, 2008), com declividade média de 12,5%. Segundo a classificação de Köeppen, a região apresenta clima subtropical úmido, de verão quente, do tipo Cfa. A precipitação pluviométrica média anual é de 1.440 mm e a umidade relativa média do ar de 77,3 % (Bergamaschi *et al.*, 2003).

A área utilizada na instalação do experimento foi de replantio, onde houve um pomar de pessegueiros por mais de 15 anos. Após a eliminação do pomar, a área permaneceu em pousio por três anos e foi corrigida (calcário dolomítico e superfosfato triplo na camada de 0 - 20 cm) três meses antes da implantação do experimento, que ocorreu em 2006. A copa das plantas foi conduzida em sistema "Y", no espaçamento 1,5 x 5,5 m (1.212 plantas ha<sup>-1</sup>) (Dias, 2011).

O pomar experimental consistiu de duas variedades copa de pessegueiro (*Prunus persica*): 'Maciel' e 'Chimarrita', enxertadas sobre seis porta-enxertos francos (*P. persica*): 'Aldrighi', 'Capdeboscq' e 'Okinawa'; híbridos (*P. persica* x *P. davidiana*): 'Flordaguard' e 'Nemaguard' e; umezeiro

(*P. mume*); arranjados em esquema fatorial 2 x 6. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três repetições, compostas por cinco plantas cada, sendo as três centrais consideradas úteis.

Para o presente estudo, para a coleta de raízes e caracterização do solo nas entrelinhas do pomar, foram eleitas as combinações da cultivar de pessegueiro 'Maciel' com os porta-enxertos 'Nemaguard', 'Okinawa' e umezeiro, devido ao distinto vigor induzido à copa em cada combinação copa:porta-enxerto.

Os tratos culturais do pomar consistiram, na média dos últimos dois anos, de aplicações de herbicidas, produtos fitossanitários (fungicidas e inseticidas), adubos minerais e corretivos de acidez recomendados para a cultura, seguindo as Normas da Produção Integrada de Pêssego (Brasil, 2003). Foram realizadas de 16 a 18 passadas de trator ao longo de cada ano para aplicações de agrotóxicos (com maior frequência a partir do final do inverno ao início do verão). O controle da vegetação espontânea consistiu de três a quatro roçadas ao ano, concentradas na primavera-verão, com manutenção da vegetação ao longo de todo ano, onde cada operação exigiu a passagem do conjunto trator-roçadeira pelo menos duas vezes em cada entrelinha. Adubações foram realizadas anualmente no final do outono e na primavera (2 parcelas), segundo a recomendação da PIP (Brasil, 2003) e da SBCS (2004) para os nutrientes N, P, e K. A distribuição dos fertilizantes foi realizada manualmente na projeção da copa dos pessegueiros.

Utilizou-se diversos fungicidas e inseticidas para o manejo de pragas, de acordo com o estágio fenológico e época de predisposição das plantas a determinadas doenças, sendo principalmente utilizadas aplicações dos

seguintes produtos: difenoconazole, mancozeb, captan, metiram, piraclostrobina+metiram, fitofós (00-30-20), oxicloreto de cobre (no inverno, para segurar a brotação e fazer tratamento de inverno), inseticidas (fosmete, dimetoato - tanto na forma de aplicação total como em isca tóxica) e abamectina.

### **3.1 Avaliação da compactação do solo**

A medição da resistência mecânica do solo à penetração (RP) foi utilizada para mensurar os diferentes níveis de compactação do solo ao longo das entrelinhas do pomar, com a utilização de um penetrômetro digital (Apêndice 1) (SoloTrack – Falker®). As características construtivas do aparelho estão de acordo com a norma ASAE S313.3 (ASAE, 2004).

Para cada combinação copa:porta-enxerto testada, com três repetições, foram executados 20 leituras da RP ao longo da entrelinha (distanciadas a cada 0,10 m, entre 1 m e 3m da linha de plantas das parcelas) até a profundidade de 0,50 m, com leituras a cada 0,01 m. A interpretação da compactação do solo foi realizada com a elaboração de gráficos de contorno, com intervalos de 500 kPa de RP.

A umidade gravimétrica do solo foi determinada na camada de 0 a 0,5 m, a cada 0,1m, para cada combinação copa:porta-enxerto testada, com três repetições, com um ponto de coleta por parcela, sob a copa da plantas, conforme a metodologia descrita pela Embrapa (1997). A análise granulométrica da fração mineral do solo foi realizada pelo método da pipeta (Embrapa, 1997), nas camadas avaliadas a cada 10 cm de profundidade, de

00-50 cm, para as três combinações de copa e porta-enxertos, com três repetições, totalizando 9 amostras.

### 3.2 Avaliação da densidade de raízes e fertilidade do solo na entrelinha do pomar

Foram coletadas amostras de solo e raízes, com três repetições, por combinação copa e porta-enxerto, nas entrelinhas do pomar a 1,5 m (sob a copa), 2,0 m (linha de tráfego do maquinário) e 2,5 m (entrerrodados) a partir do tronco do pessegueiro central da parcela (Figuras 1 e 2), com auxílio de uma sonda metálica com 500 mm de altura e diâmetro interno de 150 mm, confeccionada em aço de 4 mm de espessura e preenchida com cinco secções de tubos de PVC de 150 mm de diâmetro nominal, com 10 cm de altura (Figura 3).

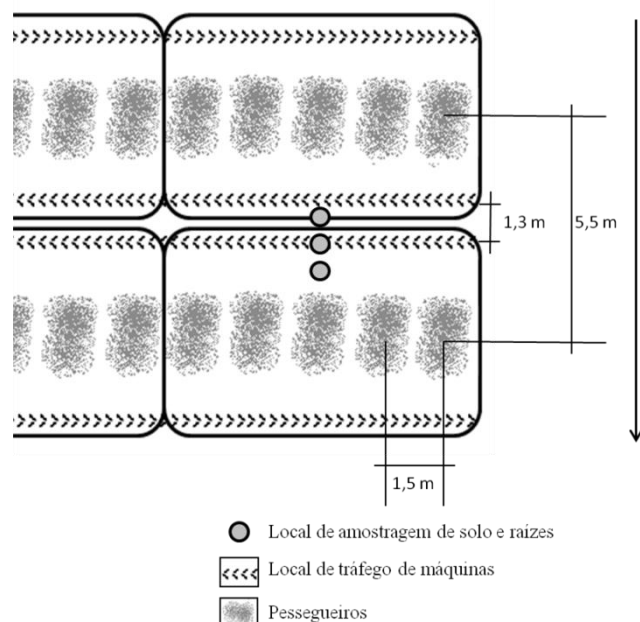


FIGURA 1. Esquema representativo dos pontos de coleta de solo e raízes nas parcelas de um pomar experimental de pessegueiros 'Maciel' enxertados sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013. Seta representa sentido da pendente.



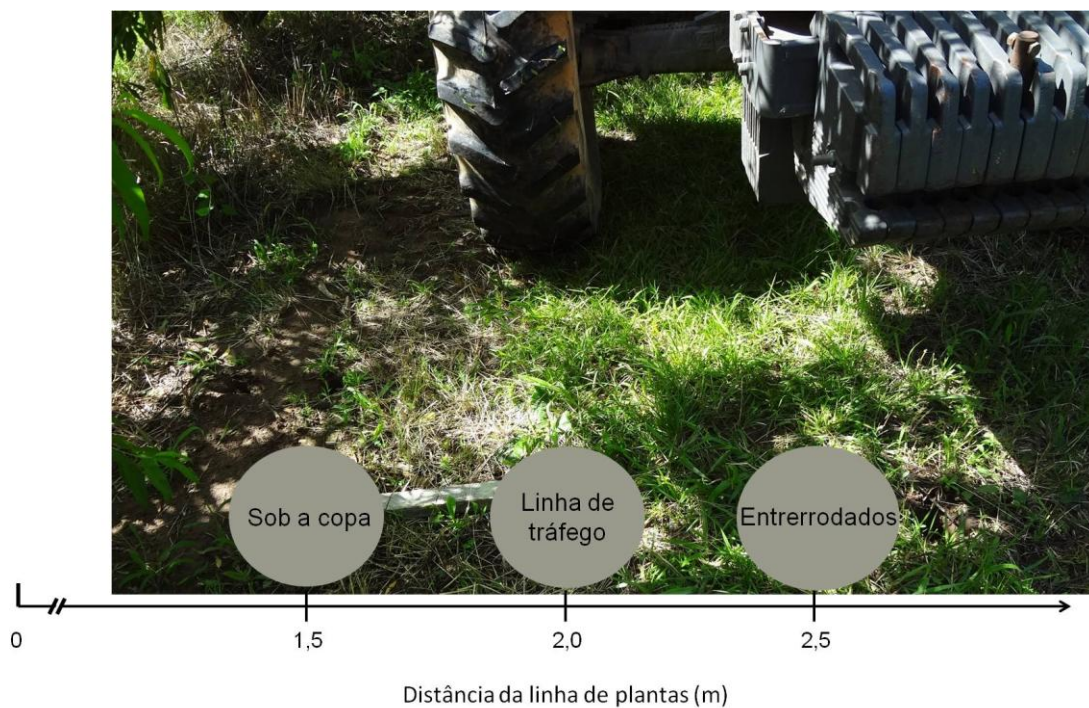


FIGURA 2. Esquema representativo dos pontos de coleta de solo e raízes na entrelinha de um pomar experimental de pessegueiros ‘Maciel’ enxertados sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013.

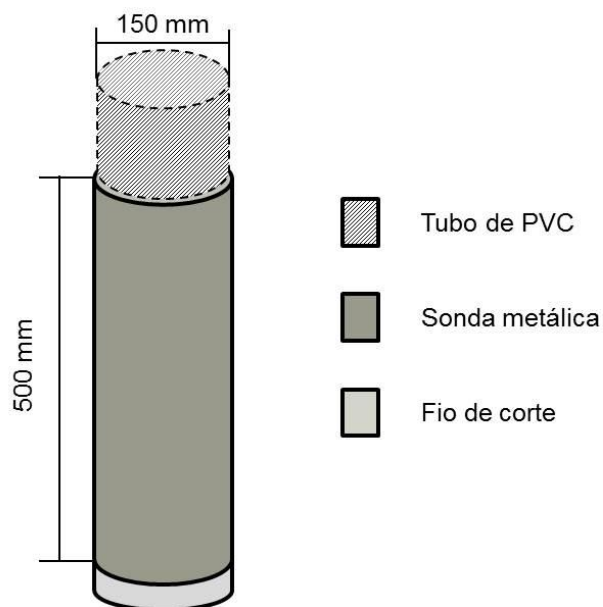


FIGURA 3. Esquema do amostrador de raízes utilizado para coleta de solo e raízes na entrelinha da parcela de um pomar experimental de pessegueiros ‘Maciel’ enxertados sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013.

A sonda foi introduzida no solo nos pontos de coleta com auxílio de uma marreta de 10 kg, na fase inicial. Na sequência foi utilizado um macaco hidráulico (12.000 kg de capacidade de içamento) apoiado no lastro dianteiro de um trator de 120 cv e com massa aproximada de 5.500 Kg (Figura 4). A retirada da sonda do solo se deu com auxílio do hidráulico do trator, que içou a sonda amarrada com uma corrente.



FIGURA 4. Utilização de um macaco hidráulico apoiado ao lastro dianteiro do trator para penetração da sonda no solo. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013.

Após as amostras contidas nos tubos de PVC foram seccionadas em camadas de 10 cm, até 50 cm de profundidade a partir da superfície do solo com auxílio de um facão (Figura 5), identificadas e armazenadas por 10 dias em câmara fria (0° C). As amostras foram retiradas da câmara fria no momento em que foram processadas.



FIGURA 5. Processo de separação das amostras de solo contendo raízes de pessegueiros com auxílio de um facão. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013.

As amostras de solo foram peneiradas (com peneiras de 2 mm) e as raízes lavadas cuidadosamente para retirada de impurezas e do solo que ficaram aderidos ao seu redor (Coelho *et al.*, 2008). Por amostra, foi retirada uma subamostra de aproximadamente 500 g de solo úmido peneirado (2 mm), aproximadamente, para análise química no Laboratório de Análise de Solos da UFRGS. A interpretação dos níveis de cada nutriente e indicadores de fertilidade do solo foram realizados conforme as indicações da SBCS (2004). Em seguida, as amostras de raízes lavadas foram armazenadas em câmara fria (0° C) por dois dias. Após, foram selecionadas apenas as raízes de pessegueiros, conforme suas características morfológicas, descritas por Bassi & Monet (2008). As raízes foram fixadas em solução FAA (formaldeído – 5 %; ácido acético glacial – 5 %; e etanol - 90 %) e armazenadas em geladeira (7° C).

A quantificação das amostras de raízes foi realizada com auxílio do programa computacional Safira 2.0 - Sistema de Análise de Fibras e Raízes. O programa computacional obtém uma estimativa dos diâmetros dos objetos na imagem através da transformada de distância. O programa forneceu os valores de diâmetro médio ponderado (mm), volume (mm<sup>3</sup>) e área superficial (mm<sup>2</sup>) para cada amostra e o volume, área superficial e comprimento para cada segmento de raiz da amostra (Jorge & Rodrigues, 2008).

### **3.3 Avaliações do crescimento das plantas**

Para a avaliação do crescimento das plantas foi medido anualmente de 2009 a 2013, durante o período de repouso vegetativo dos pessegueiros, nas três plantas centrais na parcela, o diâmetro do tronco ( $\emptyset t$ ) cerca de 10 cm acima do ponto de enxertia, com o qual foi determinado a área da seção transversal do caule (ASTC) pela fórmula:  $ASTC = \pi(\emptyset t/2)^2$ , expresso em cm<sup>2</sup>.

### **3.4 Avaliação da produção e dos indicadores de eficiência produtiva**

A produção anual (Pn) de cada pessegueiro foi quantificada pela pesagem e contagem (NF) dos frutos nas colheitas, realizadas no mês de dezembro dos anos de 2009 a 2013. Os dados foram coletados e fornecidos pelo Grupo de Pesquisa em Rosáceas da UFRGS, responsável pela condução do pomar, e coordenado pelo Professor Gilmar A. B. Marodin. A produção acumulada (PA) foi calculada pela soma das Pn. Os indicadores de eficiência de produção (EP) foram estimados dividindo-se a PA pela ASTC de cada planta (kg cm<sup>-2</sup>).

O índice de alternância da produção (IAP) foi calculado entre os anos de 2008 e 2013, usando-se a seguinte fórmula:  $IAP = 1/n-1 \times \{ |(a_2-a_1)/(a_2+a_1) + |(a_3-a_2)/(a_3+a_2)+...+ |(a(n)-a(n-1))/(a(n)+a(n-1))| \}$ , em que n = número de anos e a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, ..., a<sub>(n-1)</sub>, a<sub>(n)</sub> = produção dos anos correspondentes (Stenzel *et al.*, 2003). A interpretação do IAP foi realizada segundo Bassal (2009), onde o IAP pode variar de 0 a 1; quando superior a 0,5, indica que há tendência de alternância de produção; e sendo inferior, indica que as plantas apresentam tendência de safras regulares ao longo dos anos.

### 3.5 Análises estatísticas

A descrição das características físico-químicas do solo e da distribuição de raízes no perfil do solo das entrelinhas do pomar, foi realizada com a elaboração de gráficos de contorno preenchidos, através do programa estatístico Sigma Plot 12.5 (Systat Software, 2013), adaptado da metodologia utilizada por van Dijck & van Asch (2002) e Black *et al.* (2010). A frequência do volume de raízes em classes de diâmetro foi representado em histogramas em função da profundidade, para cada posição de coleta na entrelinha do pomar. As variáveis foram relacionadas entre si pelo método de Spermann (McDonald, 2008).

Para determinar a equação que representou o crescimento do diâmetro do tronco dos pessegueiros bem como da produção (em massa por planta) ao longo dos anos, foi realizado o teste de regressão na ANOVA. Os efeitos das interações entre tratamentos e anos, nas análises em parcelas subdivididas, foram considerados significativos quando  $p < 0,25$  (Perecin & Cargnelutti Filho, 2008).



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Estado da compactação do solo da entrelinha do pomar de pessegueiros

A textura do solo encontrada no pomar de pessegueiros (Figura 6) está de acordo com a classificação do solo da região (Argissolo Vermelho distrófico típico), conforme Streck *et al.* (2008).

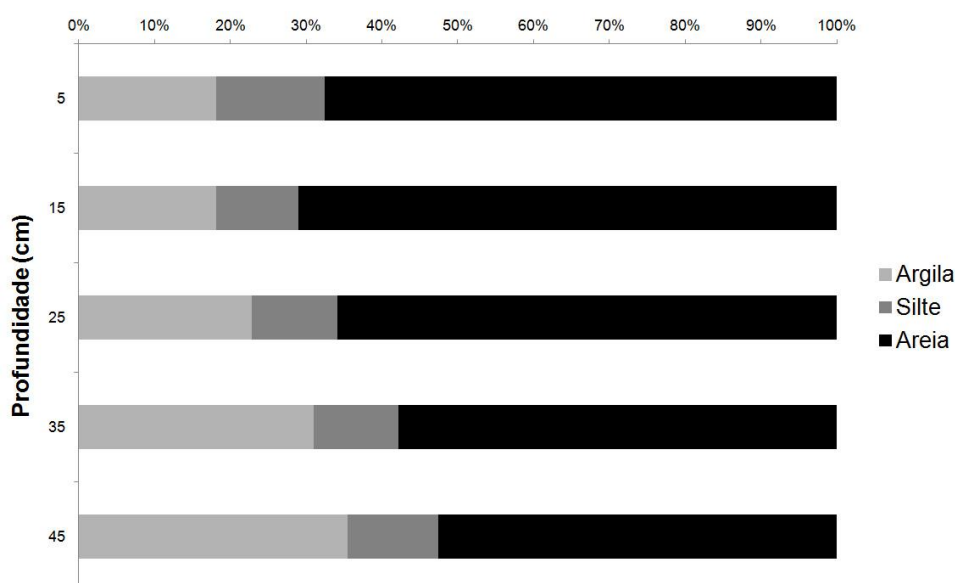


FIGURA 6. Distribuição granulométrica do solo no pomar de pessegueiro 'Maciel' em diferentes camadas. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013.

A resistência mecânica do solo à penetração (RP) variou em função da profundidade e da distância da linha de plantas na entrelinha do pomar de pessegueiros enxertados sobre três porta-enxertos (Figura 7). As porções de solo compactadas, com RP superior a 2000 kPa (Gregory, 2006), ocorreram a

partir de 1,6 m da linha de plantas até o centro da entrelinha (2,75 m), sendo mais acentuada nas camadas de 5-30 cm de profundidade e comportamento similar no perfil de solo das parcelas dos três porta-enxertos estudados.

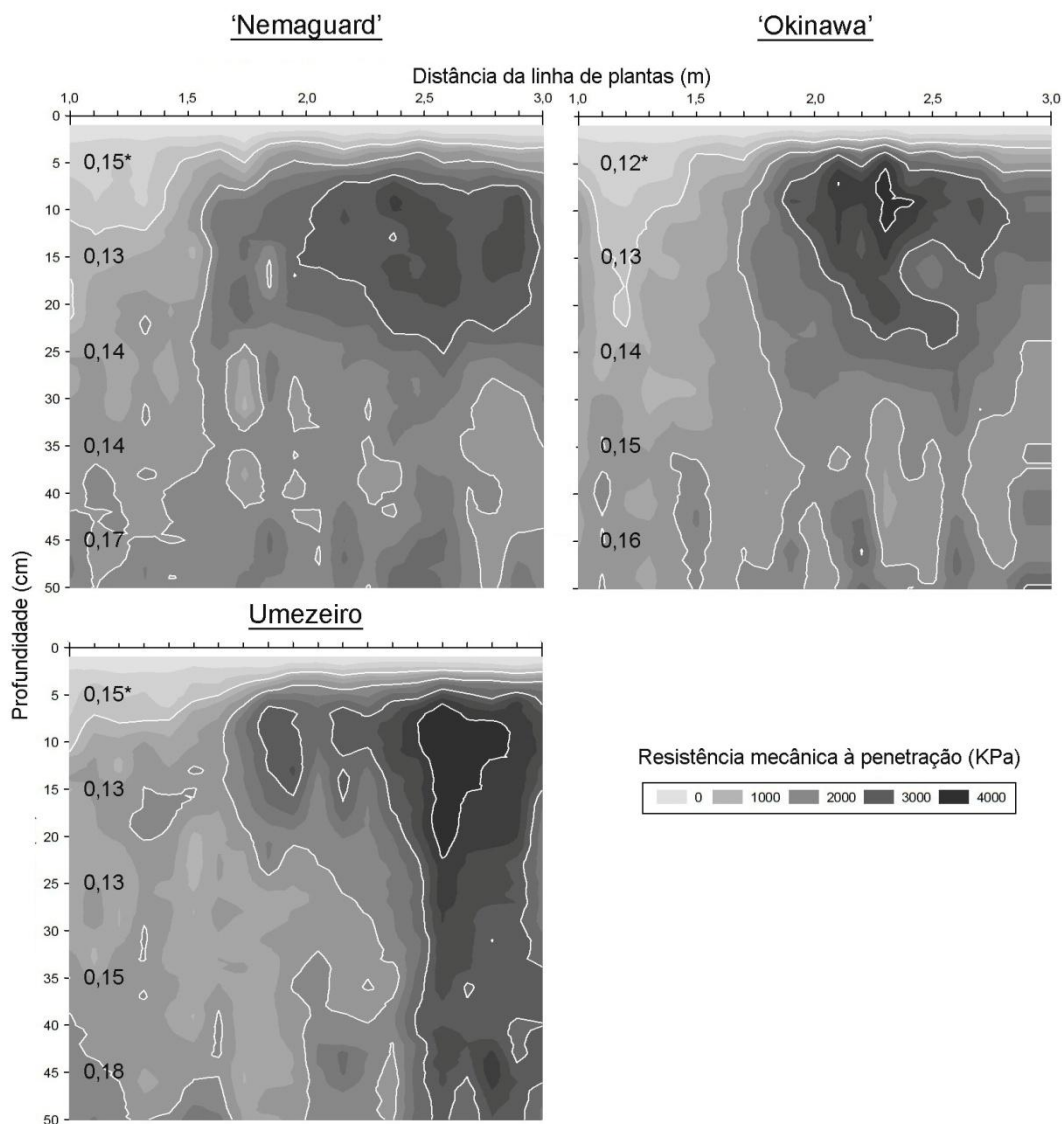


FIGURA 7. Resistência à penetração do solo da entrelinha de pomar de pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013. \*umidade gravimétrica do solo ( $\text{g g}^{-1}$ ). Linhas brancas indicam a transição entre as classes exibidas na legenda.

A heterogeneidade da RP encontrada no perfil do solo ao longo da entrelinha evidenciou a compactação deste pelo tráfego de máquinas no pomar, sendo esta concentrada na porção central das entrelinhas do pomar.

Com o aumento da profundidade, houve incremento da umidade gravimétrica do solo (Figura 7) e do teor de argila a partir de 35 cm (Figura 6). Provavelmente a maior umidade encontrada nas maiores profundidades amostradas tenha reduzido o efeito do aumento do teor de argila, o que levaria a uma maior resistência mecânica do solo à penetração, estando de acordo com Mapfumo & Chanasky (1998). Segundo Beutler (2005), o limite de plasticidade do solo da EEA-UFRGS, na camada de 0-12 cm de profundidade é de  $0,14 \text{ g g}^{-1}$ , ou seja, conteúdos de água acima deste valor, que foram verificados na maior parte das camadas de solo dos perfis amostrados (Figura 7), apresentando-se, este, em estado plástico, ou seja, com menor resistência mecânica à penetração. Estes resultados reforçam a ideia de que, quando o solo apresentar menor conteúdo de água, durante um período de estiagem prolongada e/ou de alta demanda evapotranspirativa, apresentará maiores valores de resistência à penetração que os encontrados, o que demonstra o alto nível de compactação da porção central da entrelinha.

A compactação do solo na porção central da entrelinha se deveu, basicamente, ao tráfego de tratores com diferentes implementos acoplados (principalmente pulverizador), que possuem diferentes distâncias de entre-eixos; também, basicamente, pelo tráfego não coincidir exatamente no mesmo lugar pelo espaçamento de entrelinhas ser grande, se comparado ao de vinhedos, o que está de acordo com van Dijck & van Asch (2002).

Um fator determinante, para a formação da camada de solo compactada na entrelinha, é a necessidade de realização de tratamentos culturais, tais como aplicações de agrotóxicos, com auxílio de equipamentos agrícolas pesados, nos momentos de maior suscetibilidade das plantas ao ataque de



patógenos, coincidindo, na maioria dos casos, após a ocorrência de chuvas (Raghavan *et al.*, 1976; Soane *et al.*; 1982; Ferree *et al.*, 2004). Neste período, o solo, normalmente, está com conteúdo de água inadequado para o tráfego destas máquinas (estado plástico), ou seja, com baixa capacidade de suporte de carga (Rienzi & Maggi, 2007). Este fato se repete várias vezes ao ano e por vários anos, e, dependendo da espécie cultivada, por várias décadas (Ferree *et al.*, 2004; Minatel *et al.*, 2006; Tolón-Becerra *et al.*, 2010; Medeiros *et al.*, 2013). Associado a isto, a utilização do conjunto trator-pulverizador com rodados inadequados (pneumáticos diagonais, inadequada pressão de inflação, alta carga por eixo, etc.) amplifica o problema da compactação (Soane *et al.*, 1981b; Canillas & Salokhe, 2001), tanto em superfície como em subsuperfície.

No vale do rio Caí, Rio Grande do Sul, foi diagnosticada a compactação do solo em pomares de citros em um solo classificado como Argissolo Vermelho distrófico espessarênico. Em um pomar adulto de tangerineiras 'Montenegrina' (*Citrus deliciosa*) sob manejo orgânico, Müller *et al.* (2011) e Santos (2013) verificaram maior compactação do solo nas linhas de tráfego dos rodados do conjunto trator-implemento. Pomares adultos de laranjeiras 'Valência' (*Citrus sinensis*), um cultivado sob manejo orgânico e outro sob manejo convencional, também apresentavam maior compactação do solo nas linhas de tráfego dos rodados (Silveira, 2013).

Em dois artigos publicados por Tolón-Becerra *et al.* (2010 e 2012), onde foi avaliada a compactação do solo sob tráfego de tratores em pomares de amendoeiras (*Prunus amygdalus* L.) e olivais (*Olea europea* L.), respectivamente. Foi testado o número de passadas e a massa dos tratores

(leves, médios e pesados). No primeiro estudo, foram utilizados dois tratores, sendo um considerado leve, com massa total de 1,5 t, e o outro pesado, com massa total de 5 t. Para o segundo estudo, os tratores utilizados foram: leve (Agrimac 9800 4WD) com massa de 2,25 t; médio (Same TB 100 FWA), com massa de 3,33 t e; pesado (Fendt 312 FWA), com massa de 4,26 t. O incremento da massa dos tratores, bem como do número de passadas, aumentou a compactação em subsuperfície das entrelinhas dos pomares.

A redução da pressão exercida pelo aumento da área de contato solo-pneu é uma forma de o solo resistir a uma mesma carga aplicada. A utilização da pressão mínima de inflação dos pneus, pneus de baixa pressão e alta flutuação (BPAF), rodados duplos e esteiras podem diminuir a pressão exercida (Soane *et al.*, 1982), diminuindo as possibilidades de que o limite elástico do solo seja atingido e que não haja compactação. Para se evitar a compactação do solo em pomares, recomenda-se utilizar nos tratores fruteiros pneus radiais, que necessitam menor pressão de inflação que os diagonais, normalmente utilizados devido ao seu menor custo de aquisição (Mazetto *et al.*, 2004), e esteiras, que tem maior superfície de contato. Além da menor compactação do solo, outras vantagens do uso de esteiras são: o maior rendimento tratório; maior coeficiente de tração e maior estabilidade lateral (Reis *et al.*, 2005), características desejáveis para a fruticultura do RS, que é desenvolvida, grande parte, em terrenos declivosos e com tratores estreitos e super estreitos devido ao espaçamento adensado das entrelinhas, adotado modernamente em pomares e vinhedos.

A Yanmar, fabricante especializada de tratores para agricultura familiar e com linha específica desenhada para a fruticultura (estreitos), se dedica à

fabricação de modelos na faixa de 30 CV (~22 kW) a 75 CV (~55 kW), apresentando massas de aproximadamente 1,5 a 3,1 t (Yanmar, 2014). A Massey Ferguson oferece uma linha de tratores fruteiros de 50 (~36 kW) a 85 CV (~62 kW), tendo uma amplitude de massa média total desta linha de tratores de 2,4 a 3,5 t (Massey Ferguson, 2014). A John Deere também oferece uma linha de tratores utilitários que variam de 55 (~40 kW) a 90 CV (~66 kW), o que representa uma amplitude de 2,65 a 3,7 t (John Deere, 2014). A Valtra lançou recentemente a linha BF, dedicada à fruticultura, com dois tratores de 67 (~50 kW) e 77 CV (~56 kW), o que representa uma massa de 2,8 e 3,1 t, respectivamente (Valtra, 2014). Os tratores fruteiros disponíveis pelos principais fabricantes de tratores no Brasil apresentam massas médias entre 1,5 e 3,7 t, sendo considerados tratores médios quanto a sua massa, segundo a classificação de Soane *et al.* (1982). Os cálculos da massa aproximada dos tratores de cada fabricante foram realizados considerando as relações de peso/potência estudadas por Schlosser *et al.* (2005), onde se considera que tratores (sem lastro) de até 50 kW apresentam, em média, uma relação peso/potência ( $\text{kg kW}^{-1}$ ) de 66,37; tratores entre 50 e 100 kW apresentam uma relação de 55,96  $\text{kg kW}^{-1}$  e; acima de 100 kW, uma relação de 48,05  $\text{kg kW}^{-1}$ .

Os pulverizadores utilizados na fruticultura empresarial são tracionados por um trator e, comumente, tem a capacidade para 2000 L de calda. Atualmente, existem pulverizadores desde 200 a 4000 L de capacidade. Os pulverizadores da marca Jacto de 2000 L de capacidade possuem uma amplitude de massa entre os distintos modelos, vazios, de 810-1050 kg (Jacto, 2014). Os pulverizadores da marca Montana de 2000 L apresentam massas de 810-970 kg, de acordo com o modelo (Montana, 2014). Pulverizadores de

menor capacidade (200-500 L) variam seu peso entre 180 – 360 kg, sendo, na sua grande maioria, de uso acoplado ao sistema de três pontos do trator. Carretas metálicas de 2-3 t, utilizadas para o transporte de caixas com a produção de frutas, apresentam uma massa média aproximada de 400 kg, segundo a fabricante Triton (2014). Associados à massa dos implementos, deve-se considerar a massa da calda de agrotóxicos/fertilizante a ser aplicada, bem como a massa a ser transportada pela carreta. Os pulverizadores de 2000 L tem uma massa total potencial de 2800 a 3000 kg. Já as carretas podem chegar a ter de 2400 a 3400 kg, se estiverem com carga completa.

A revisão de Soane *et al.* (1982) classifica os tratores agrícolas quanto a sua massa da seguinte maneira: Leves: < 1 t; médio: 1 – 5 t; pesados: 5 – 20 t; muito pesados: > 20 t. Se considerado o conjunto trator-implemento, as máquinas agrícolas utilizadas em pomares podem ser consideradas como pesadas, segundo a classificação de Soane *et al.* (1982), já que com carga completa, reboques (modelo com capacidade de carga de 3 t) e pulverizadores (volume máximo de calda de 2000 L) podem pesar de 2,8 a 3,5 t, tendo massa semelhante aos tratores de 85 CV (sem lastro) disponíveis no mercado, totalizando, o conjunto, mais de 5 t. Para os tratores e principais implementos utilizados na fruticultura há necessidade de adequação dos rodados utilizados. Com carga completa, reboques (modelo com capacidade de carga de 3 t) e pulverizadores (volume máximo de calda de 2000 L) podem pesar de 2,8 a 3,5 t, tendo massa semelhante aos tratores de 85 CV (sem lastro) disponíveis no mercado. Essa massa se distribui, normalmente, em dois rodados com pneus de transporte (750/16) para as carretas e, para os pulverizadores, em dois pneus 11L/15, que apresentam menor superfície de contato com solo em

relação aos pneus de tração utilizados nos tratores, aumentando a pressão exercida sobre o solo. Sistemas de rodados em tandem e/ou com rodados duplos poderiam ser empregados para aumentar a área de contato solo-pneu, reduzindo assim a pressão exercida pelos implementos. Outra possibilidade é da utilização de pneus radiais de tração ou BPAF, que apresentam maior área de contato solo-pneu e exigem menores pressões de inflação que os pneus de transporte disponíveis.

A escarificação do solo e/ou a subsolagem tem sido estudada como uma forma de remediação da compactação do solo em pomares (Medeiros *et al.*, 2013), porém, com este tipo de manejo do solo, há redução na densidade do solo e conseqüente diminuição da capacidade de suporte de carga, o que o deixa mais suscetível à compactação (Silva *et al.*, 2002a), o que foi observado por Minatel *et al.* (2006) após um ano do manejo. Para se evitar o retorno da condição inicial após a escarificação das entrelinhas, as alternativas seriam de: realizar a escarificação após o período de maior concentração de manejos do itinerário técnico do cultivo, por exemplo, após a colheita e início da queda das folhas das espécies caducifólias, onde não se requer tráfego de máquinas para realização de tratamentos culturais (aplicação de defensivos, manejo da cobertura do solo, etc.) e colheita; semeadura de plantas de cobertura (aveia-preta, ervilhaca e nabo forrageiro), que auxiliarão no reestabelecimento do solo após a escarificação; e adequação do maquinário para evitar nova compactação.

#### **4.2 Atributos químicos do solo da entrelinha de pomar de pessegueiros**

A interpretação dos teores de nutrientes foi realizada de acordo com os níveis de fertilidade recomendados pelo Manual de Adubação e Calagem para

os Estados do RS e SC (SBCS, 2004). O teor de fósforo foi interpretado como baixo na maior parte do perfil de solo avaliado (Figura 8), apresentando maior concentração onde os adubos foram posicionados ao longo dos anos, sob a copa das plantas, onde o teor foi interpretado de médio a alto, na superfície do solo, principalmente para o porta-enxerto 'Okinawa'.

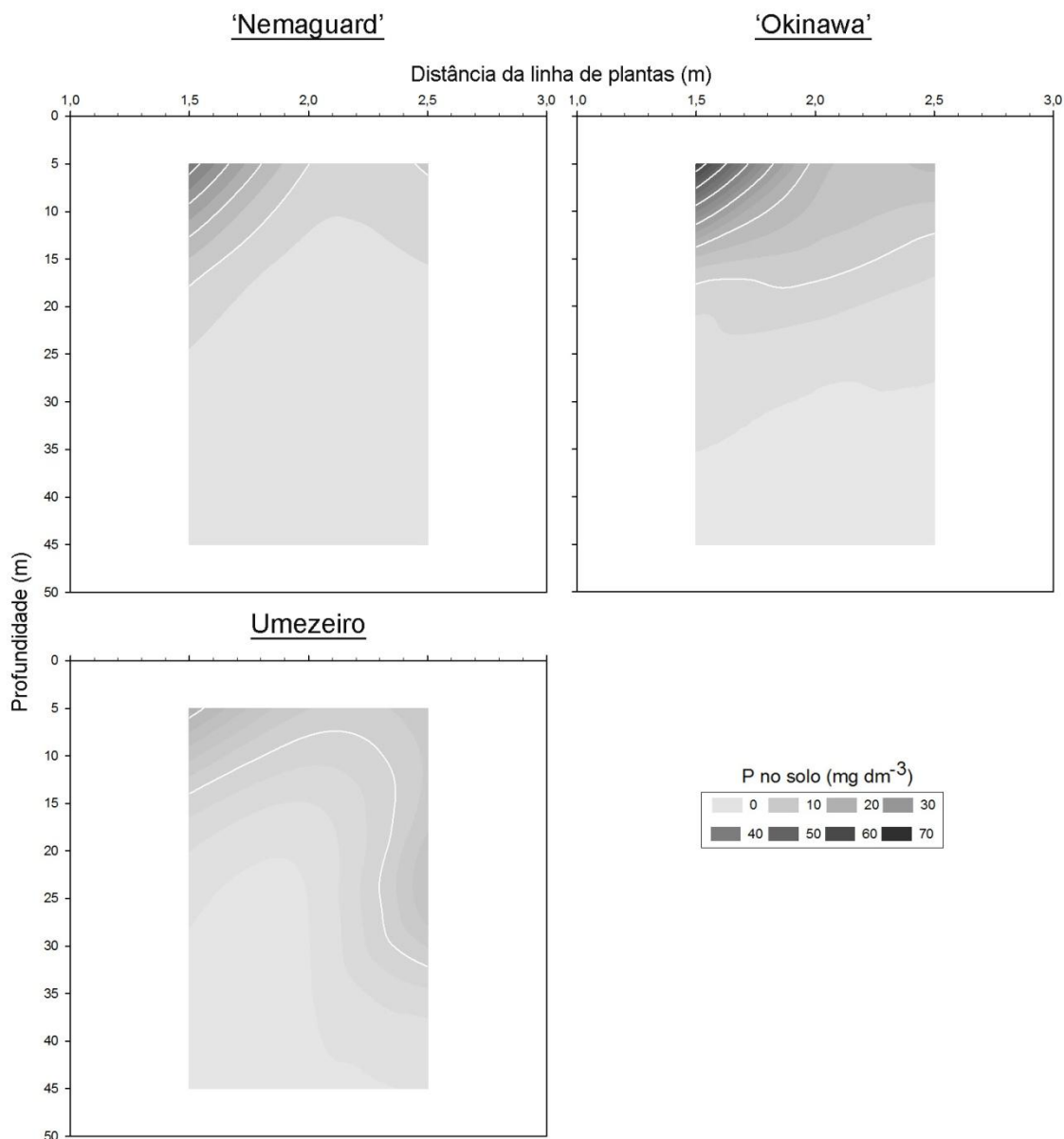


FIGURA 8. Teor de fósforo do solo (mg dm<sup>-3</sup>) da entrelinha de pomar de pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013. Linhas brancas indicam a transição entre as classes exibidas na legenda.

O teor de K foi interpretado de médio a muito alto no perfil do solo (Figura 9), tendo uma maior concentração sob a copa das plantas pelo mesmo motivo que foi atribuído ao comportamento encontrado para o teor de P.

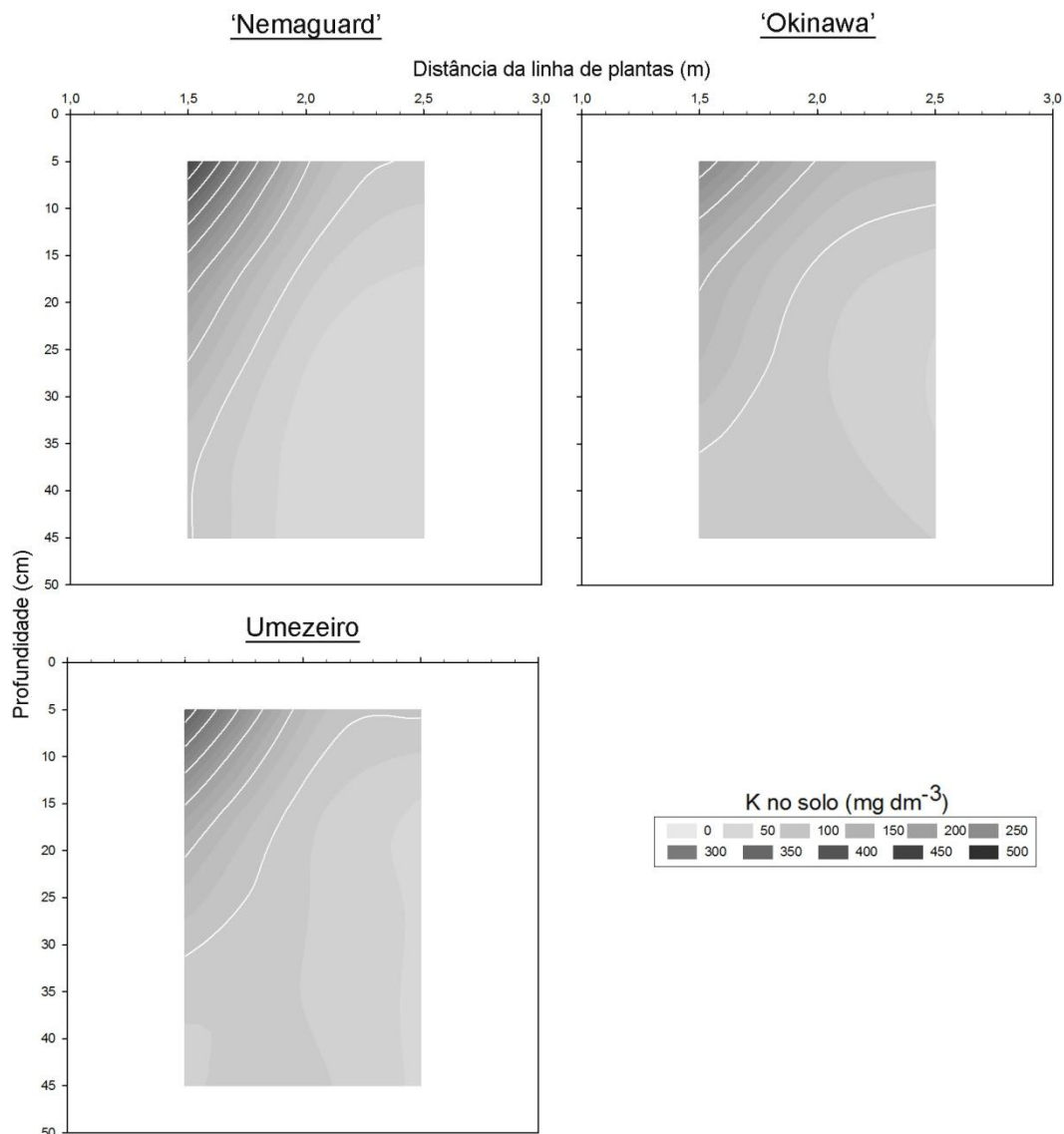


FIGURA 9. Teor de potássio do solo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) da entrelinha de pomar de pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013. Linhas brancas indicam a transição entre as classes exibidas na legenda.

A saturação por bases foi considerada muito baixa na camada de 20-50 cm e considerada média apenas na superfície do solo (Figura 10), tendo comportamento inverso à saturação por alumínio (Figura 11).

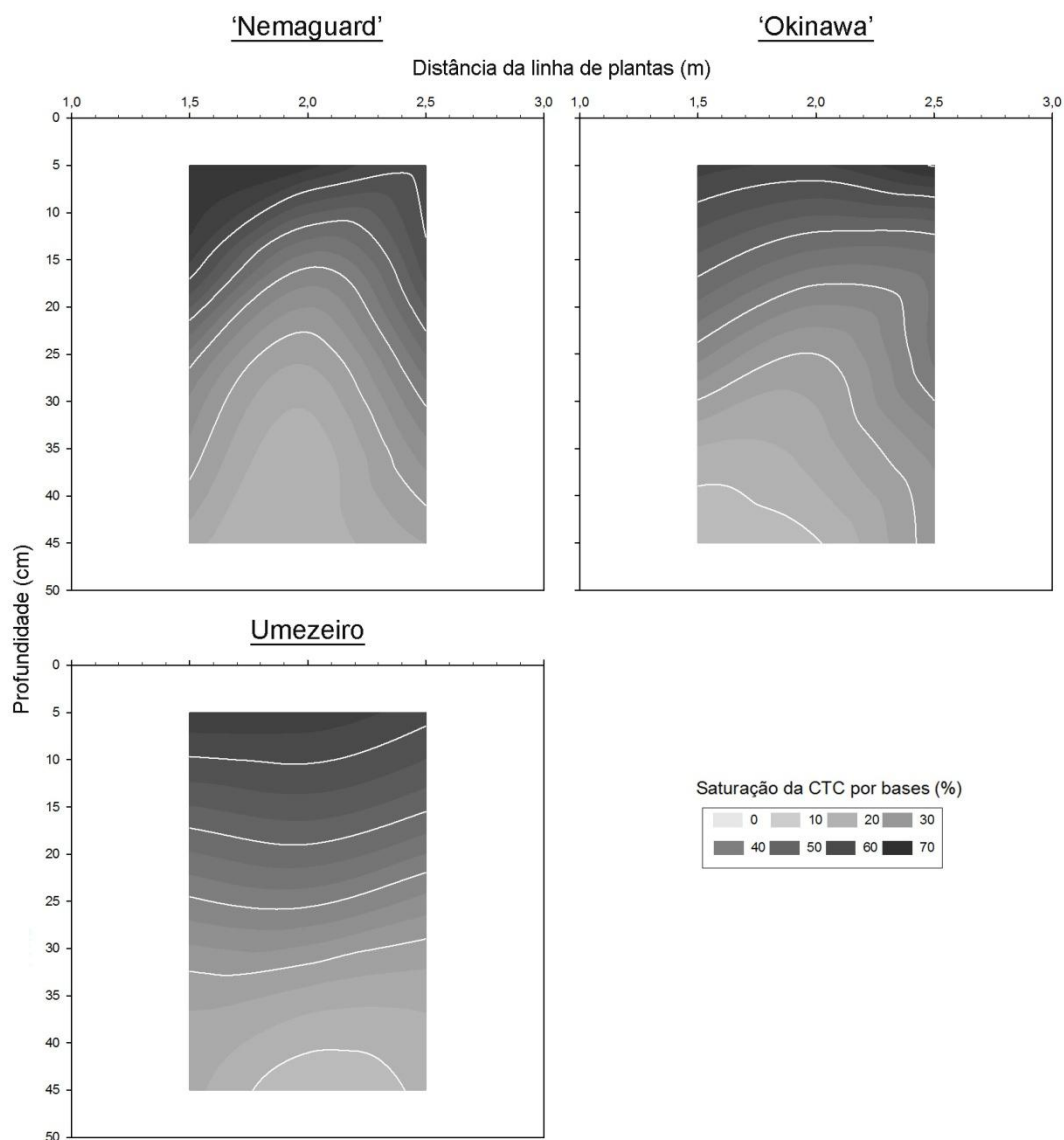


FIGURA 10. Saturação por bases no solo da entrelinha de pomar de pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013. Linhas brancas indicam a transição entre as classes exibidas na legenda.

A saturação por alumínio na troca foi interpretada de média a alta na camada de 20-50 cm no perfil de solo estudado (Figura 11). A saturação da CTC por alumínio aumentou concomitantemente com a profundidade, sendo considerado alta (> 20% - SBCS, 2004) a partir dos 25 cm de profundidade.



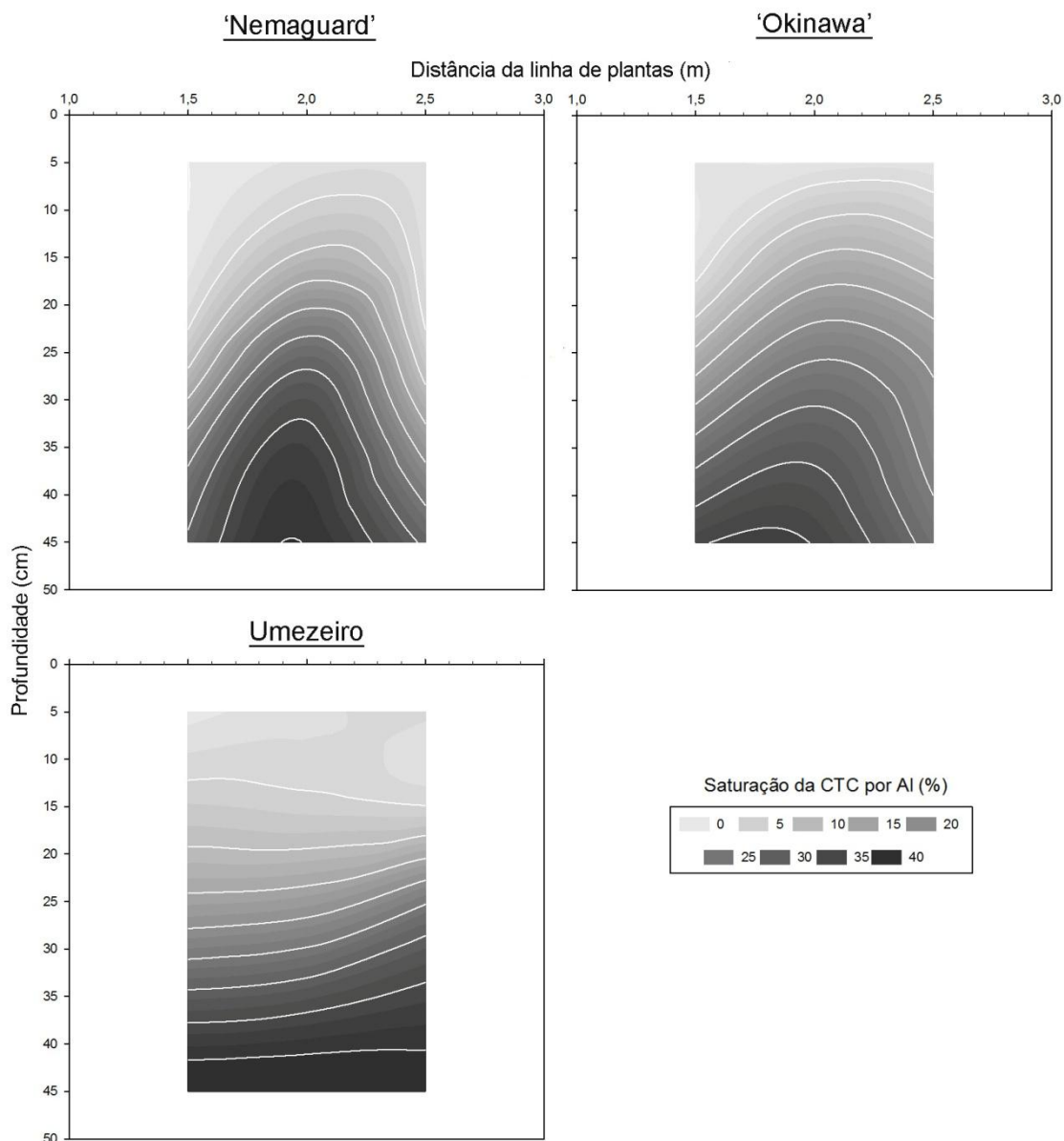


FIGURA 11. Saturação por alumínio do solo da entrelinha de pomar de pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013. Linhas brancas indicam a transição entre as classes exibidas na legenda.

Houve menor saturação por  $\text{Al}^{3+}$  a 1,5 m da linha de plantas devido ao posicionamento dos fertilizantes aplicados (NPK), sempre sob a projeção da copa, onde se tinham altos teores de K, aumentando assim a saturação por bases nesta porção de solo. A alta saturação de  $\text{Al}^{3+}$  encontrada está de acordo com o que é encontrado comumente nos solos brasileiros e mostra a

necessidade de calagem para a correção do pH do solo para que haja precipitação do Al tóxico, não sendo assim restritivo ao desenvolvimento das plantas (van Raij, 2010).

O pH do solo variou, no perfil do solo, de muito baixo (camada de 30-50 cm) a baixo (superfície), tendo em vista que o recomendado para a cultura do pessegueiro é pH 6,0 (SBCS, 2004) (Figura 12).

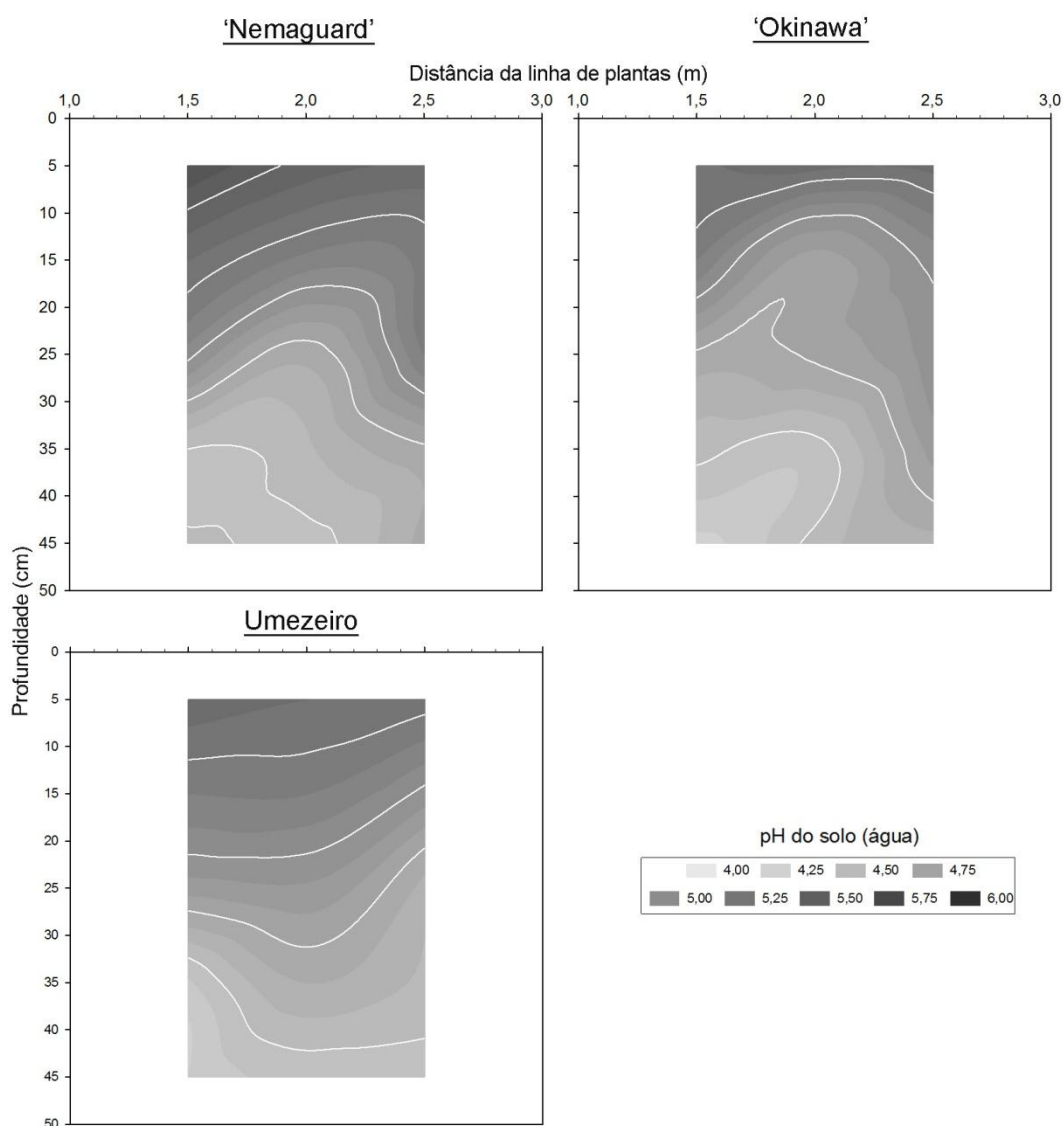


FIGURA 12. Valor de pH do solo entrelinha de pomar de pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013. Linhas brancas indicam a transição entre as classes exibidas na legenda.

Após oito anos da implantação do pomar, os resultados mostram que a fertilidade do solo foi heterogênea no perfil estudado, mesmo que o solo tenha sido corrigido antes da implantação, basicamente, por causa da aplicação de fertilizantes concentrada sob a copa das plantas. Houve menor saturação por Al na distância de 1,5 m da linha de plantas, devido ao posicionamento dos fertilizantes aplicados, sempre sob a projeção da copa, onde ocorrem altos teores de cátions básicos, especialmente K, aumentando, assim, a saturação por bases.

A alta saturação por Al na troca tem sido encontrada comumente nos solos brasileiros e mostra a necessidade de calagem para a correção do pH do solo para a neutralização do Al, de modo a não restringir o desenvolvimento das plantas (van Raij, 2010). A aplicação superficial de adubos, concentrada sob a copa das plantas, associada à correção pré-plantio, com incorporação de corretivos e fertilizantes apenas na camada de 0-20 cm ocasionou, em média, uma baixa fertilidade nas camadas mais profundas do solo, nos limites do perfil estudado. Os resultados mostram também que o método de distribuição de adubos, concentrado sob a copa dos pessegueiros, levou a uma menor fertilidade de solo no centro da entrelinha das parcelas, principalmente pela extração pelos pessegueiros e plantas espontâneas, bem como pela não reposição dos nutrientes via fertilizantes.

#### **4.3 Sistema de raízes do pomar de pessegueiros**

A distribuição das raízes se mostrou heterogênea no perfil de solo estudado, para os três porta-enxertos observados no presente estudo (Figuras 13, 14 e 15). A densidade de raízes (Figura 13) teve maior concentração na

camada de 0-30 cm de profundidade e maior concentração na porção amostrada mais próxima da linha de plantas.

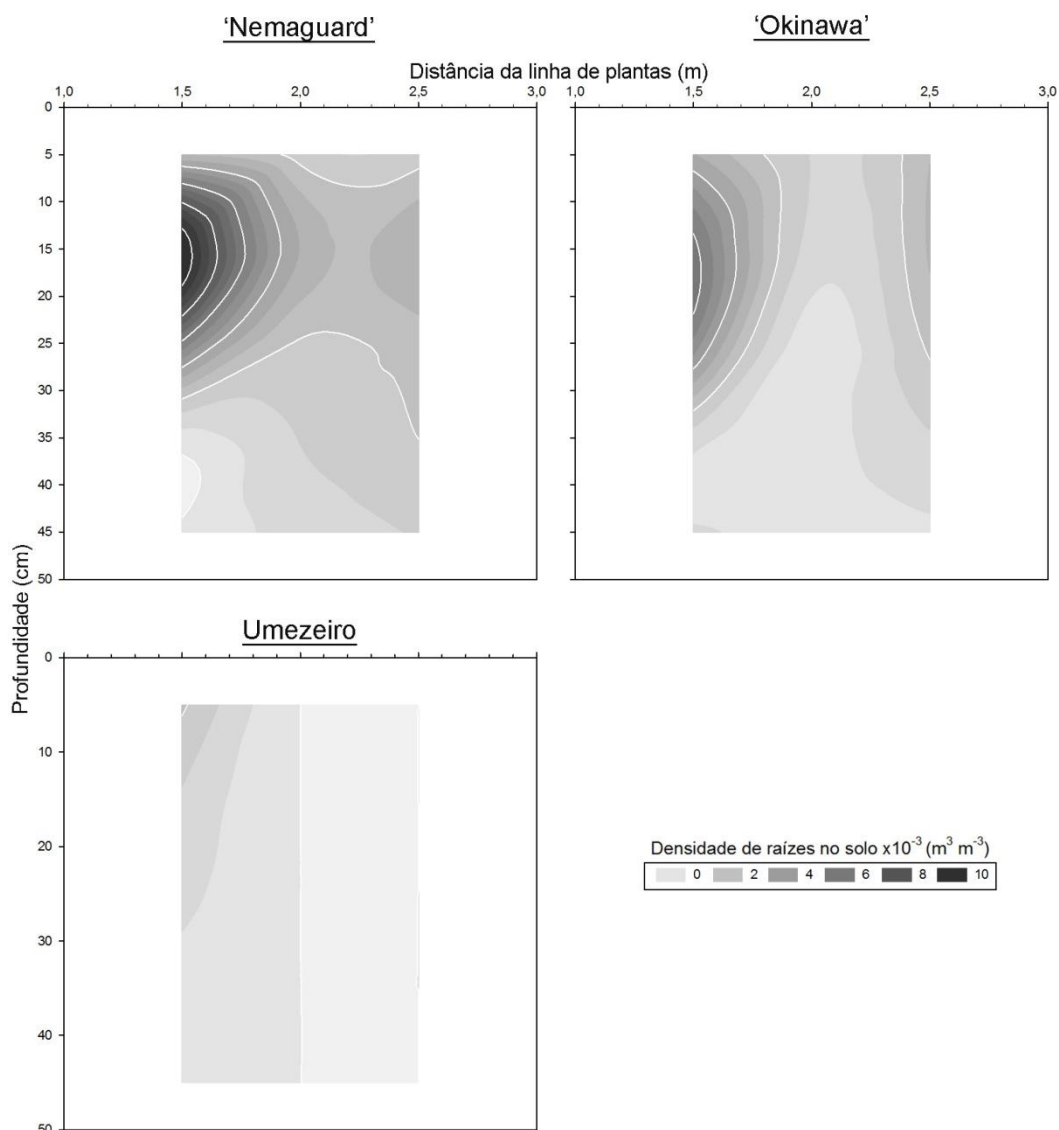


FIGURA 13. Densidade de raízes no solo da entrelinha de um pomar de pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013. Linhas brancas indicam a transição entre as classes exibidas na legenda.

A área superficial específica de raízes (Figura 14) também apresentou maior concentração na camada de 0-30 cm de profundidade e maior concentração na porção amostrada mais próxima da linha de plantas.

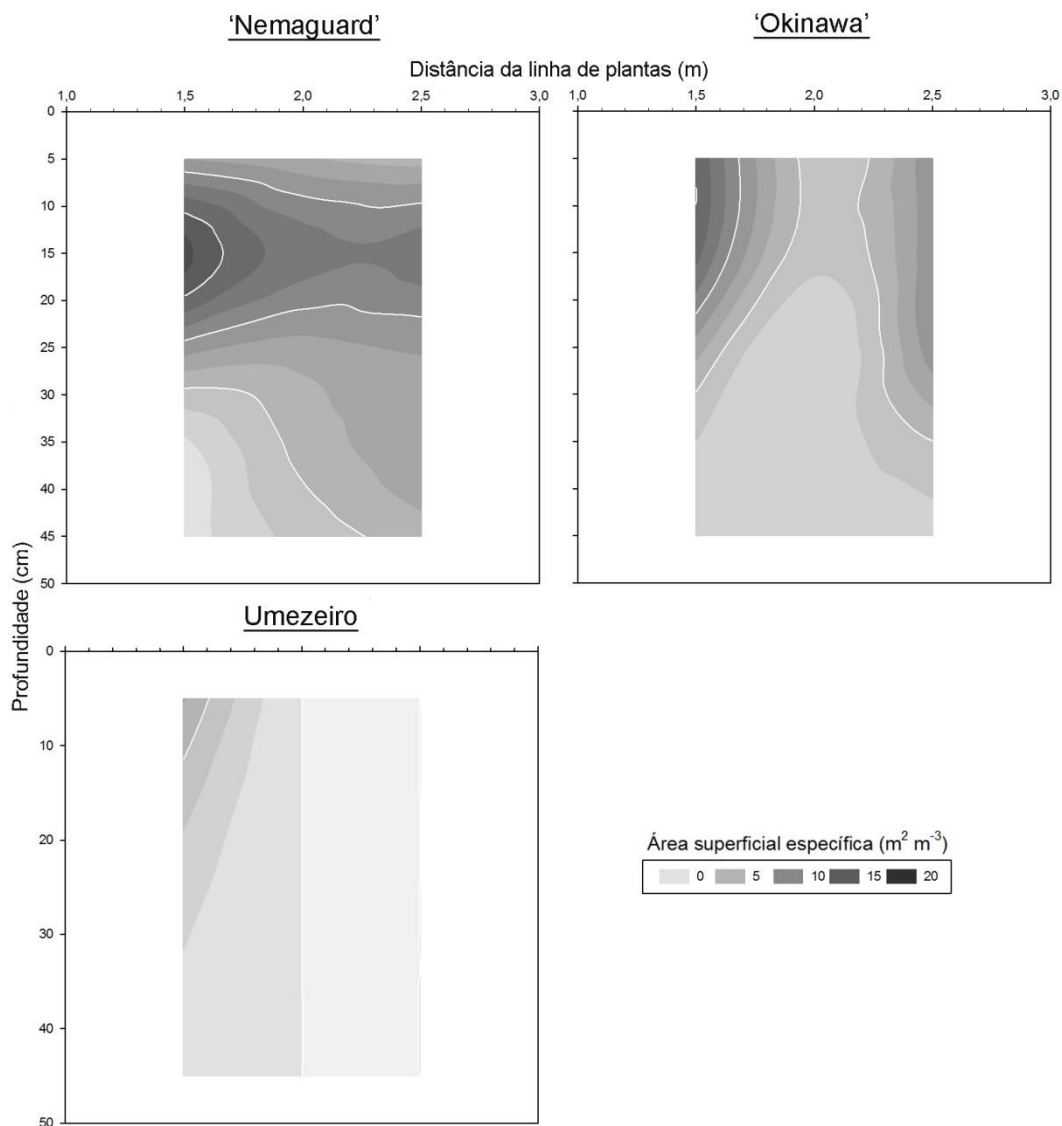


FIGURA 14. Área superficial específica de raízes no solo da entrelinha de um pomar de pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013. Linhas brancas indicam a transição entre as classes exibidas na legenda.

O comprimento específico de raízes (Figura 15) também apresentou maior concentração na camada de 0-30 cm de profundidade e maior concentração na porção amostrada mais próxima da linha de plantas.

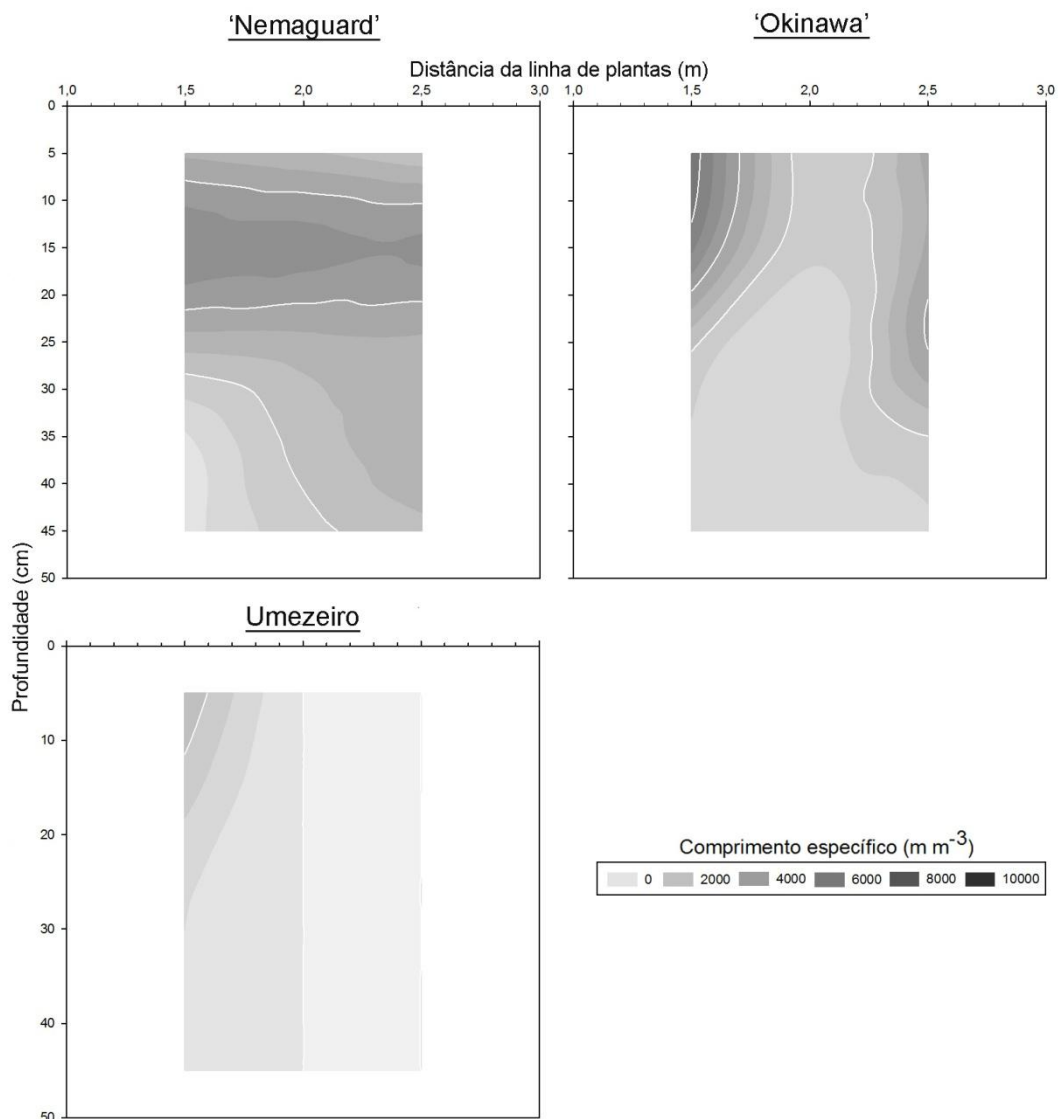


FIGURA 15. Comprimento específico de raízes no solo da entrelinha de um pomar de pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013. Linhas brancas indicam a transição entre as classes exibidas na legenda.

O porta-enxerto 'Nemaguard' apresentou maior densidade, área superficial e comprimento de raízes em relação ao 'Okinawa', que foi superior ao umezeiro, no perfil amostrado. Os porta-enxertos estudados apresentaram maior densidade, área superficial e comprimento de raízes na camada de 0-30 cm no perfil de solo. Lateralmente, houve uma redução na distribuição de raízes dos porta-enxertos estudados da ordem de 50 % a 100 %, o que mostra

maior concentração do sistema de raízes destes porta-enxertos sob a projeção da copa dos pessegueiros e na camada superficial.

As correlações entre a densidade, a área superficial específica e o comprimento específico das raízes ocorreram ( $p < 0,05$ ) de forma consistente (Tabela 1), o que demonstra que independe a escolha do indicador para caracterizar a distribuição de raízes para a cultura do pessegueiro, devido à alta correlação existente entre os mesmos.

TABELA 1. Coeficientes de Correlação de Spermann entre indicadores de da distribuição das raízes no perfil do solo de pessegueiros 'Maciel' enxertados sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013.

	<b>ASER</b>	<b>CER</b>
<b>DR</b>	0,986 <sup>x</sup> < 0,001 <sup>z</sup>	0,956 < 0,001
<b>ASER</b>		0,989 < 0,001

<sup>x</sup>Correlação significativa quando <sup>z</sup> $p < 0,05$ ; Quando significativo, o par de variáveis com correlação positiva tem incremento em conjunto e com correlação negativa, enquanto um cresce o outro decresce. Quando não há significância, as variáveis não apresentam correlação. **DR**: densidade de raízes ( $\times 10^{-3} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ); **ASER**: área superficial específica de raízes ( $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$ ); **CER**: comprimento específico de raízes ( $\text{m} \cdot \text{m}^{-3}$ ).

A distribuição de raízes se correlacionou significativamente com os atributos químicos do solo, exceto teor de P, e com a resistência mecânica do solo à penetração, exceto o comprimento de raízes (Tabela 2). As correlações foram positivas entre distribuição de raízes com a saturação de bases e com os teores de K no solo, e negativa com a saturação por alumínio.. A heterogeneidade do perfil do solo, ao longo da entrelinha do pomar, leva à concentração das raízes onde há maior fertilidade do solo, o que está de acordo com Hodge *et al.* (2009), que afirmam que há maior proliferação de raízes em manchas do solo de maior fertilidade.

TABELA 2. Coeficientes de correlação de Spearman entre atributos do solo e da distribuição das raízes no perfil do solo de pessegueiros 'Maciel' enxertados sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013.

	RP	Sat. Bases	Sat. Al	pH	P	K
DR	-0,236*	0,283*	-0,333*	0,321*	0,153	0,305*
ASER	-0,194*	0,285*	-0,336*	0,323*	0,145	0,266*
CER	-0,162	0,275*	-0,326*	0,314*	0,126	0,236*

\* significativo quando  $p < 0,05$ ; Quando significativo, o par de variáveis com correlação positiva tendem a ter incremento em conjunto e com correlação negativa, um tende a crescer enquanto a outra ao decréscimo. Quando não há significância, as variáveis não apresentam correlação. DR: densidade de raízes ( $\times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ); ASER: área superficial específica de raízes ( $\text{m}^2 \text{ m}^{-3}$ ); CER: comprimento específico de raízes ( $\text{m m}^{-3}$ ); RP: resistência mecânica do solo à penetração.

A distribuição de raízes dos porta-enxertos observados (Figuras 13, 14 e 15) foi afetada pela incidência de porções compactadas (Figura 7), com valores de resistência mecânica à penetração superiores a 2000 kPa (Gregory, 2006) e alta saturação por Al no perfil do solo (Figura 11), maior que 20%, segundo a SBCS (2004). A redução possivelmente foi causada pelo aumento na saturação por Al no solo com o aumento da profundidade e pela ocorrência de uma porção de solo compactada situada, no perfil do solo, na camada de 5-25 cm de profundidade, entre 1,8 e 3,0 m de distância da linha de plantas, que corresponde a área de tráfego de maquinário agrícola para a execução do itinerário técnico da cultura (aplicações de agrotóxicos principalmente).

A maior densidade, área superficial específica e comprimento de raízes na camada superficial se deveram, basicamente, às melhores condições de fertilidade nesta camada do solo, conforme evidenciado pelos resultados. Os resultados obtidos estão de acordo com Vercambre *et al.* (2003), que mostraram que o sistema de raízes de pessegueiros tem maior frequência até 30 cm e explora até 3 m de profundidade desde que não haja fatores limitantes. A menor presença de raízes em profundidade pode ser atribuída, em parte,



pela alta saturação da CTC efetiva por  $Al^{3+}$ , o que está de acordo com Panda *et al.* (2009), já que o  $Al^{3+}$  inibe o crescimento do sistema de raízes por sua ação tóxica.

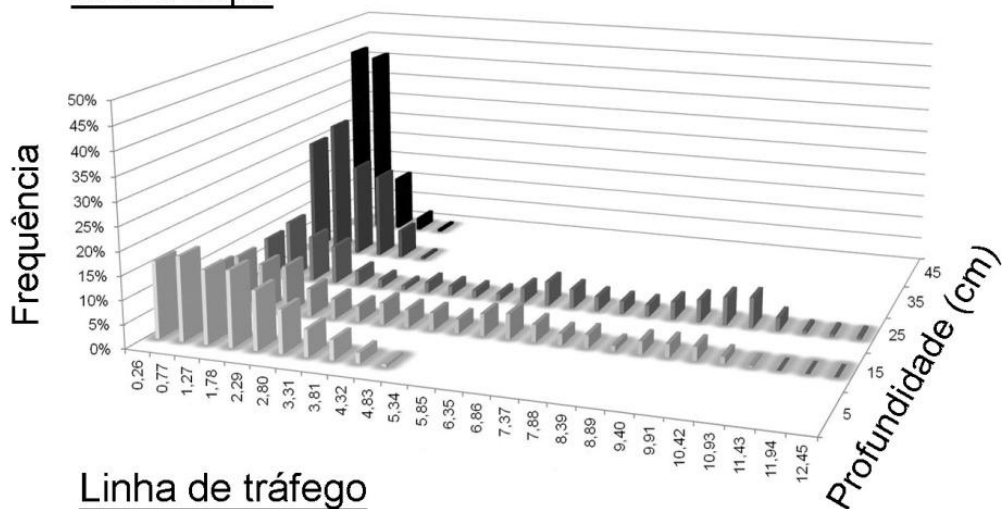
A densidade de raízes observada nas porções de solo compactado foi reduzida em relação aos locais não compactados, onde não há tráfego, sob a copa das plantas. No campo, os sistemas de raízes raramente encontram uma RP uniforme e isso tem importantes implicações de como as plantas lidam com a RP no ambiente natural. Quando há impedimento em subsuperfície, há incremento no enraizamento em superfície, aumentando a formação de raízes laterais, como forma de compensação. Porém, este comportamento não foi verificado em casos onde há impedimento em camadas verticais (Clark *et al.*, 2003), tipo de compactação encontrado com frequência em pomares (Foshee *et al.*, 1997; Gómez *et al.*, 1999; van Dijck & van Asch, 2002; Ferrero *et al.*, 2005; Minatel *et al.*, 2006; Tolón-Becera *et al.*, 2010; Müller *et al.*, 2011; Tolón-Becera *et al.*, 2012; Medeiros *et al.*, 2013; Santos, 2013; Silveira, 2013).

As raízes de plantas arbóreas são tão flexíveis para tirar vantagens de fissuras e porções de solo com baixa resistência e tão resistentes a ponto de crescerem em regiões com alta resistência à penetração. A penetração das raízes em camadas compactadas é afetada pelos gradientes de resistência do solo à penetração (Jin *et al.*, 2013). Outro fator a ser considerado é a existência de fendas no solo compactado, geradas durante períodos de umedecimento e secagem, onde as raízes podem crescer aglutinadas nestas porções de menor RP. Isto leva a uma desuniforme exploração do solo pelas raízes nas camadas compactadas, mostrando que algumas raízes podem crescer em altos níveis de RP em solos compactados (Clark *et al.*, 2003).

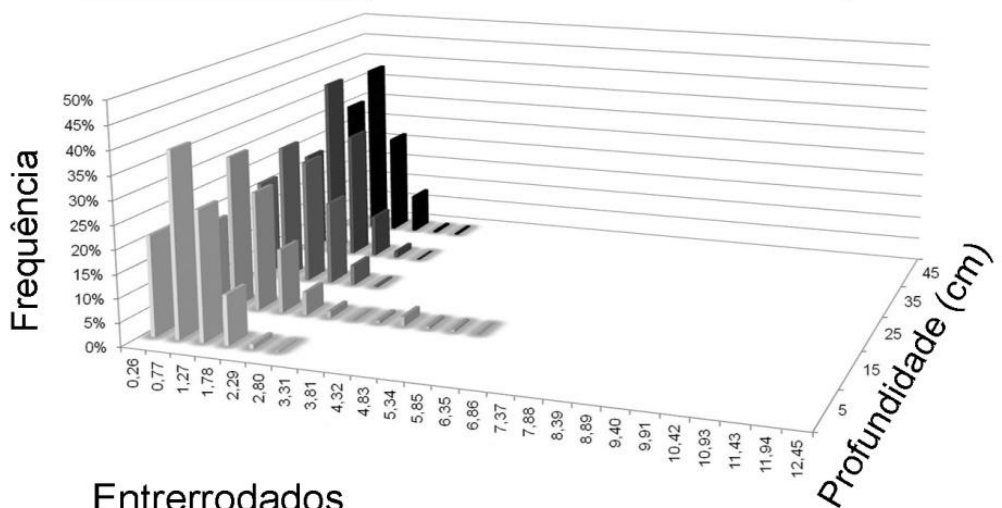
Com o aumento da resistência mecânica à penetração do solo, as raízes diminuem a taxa de crescimento (alongamento), devido à força necessária para deslocar as partículas de solo (Clark *et al.*, 2003), resultando em um incremento no diâmetro das pontas das raízes e um decréscimo do alongamento (Gregory, 2006; Hodge *et al.*, 2009; Jin *et al.*, 2013), sendo este o fenômeno mais conhecido para aliviar o estresse axial exercido sobre as raízes onde há impedimento ao crescimento axial (Jin *et al.*, 2013). Em porções do solo onde há poros de menor tamanho que o diâmetro da raiz, estas devem exercer uma pressão de crescimento para deslocar partículas de solo, superando a fricção e se alongando através do solo (Clark *et al.*, 2003).

A distribuição do volume de raízes nas classes de diâmetro ( $\emptyset$ ) encontradas foi afetada pelo local e pela profundidade de coleta. Os histogramas de frequência de classes de diâmetro do volume de raízes em função da profundidade e do local de coleta (sob a copa, linha de tráfego e enterrados) foram apresentados para os porta-enxertos 'Nemaguard' (Figura 16) e 'Okinawa' (Figura 17). Para o porta-enxerto umezeiro, somente foi apresentado o histograma para as raízes da amostragem realizada sob a copa das plantas (Figura 18), devido a não ocorrência de raízes nos outros locais de coleta amostrados (linha de tráfego e enterrados).

### Sob a copa



### Linha de tráfego



### Entrerrodados

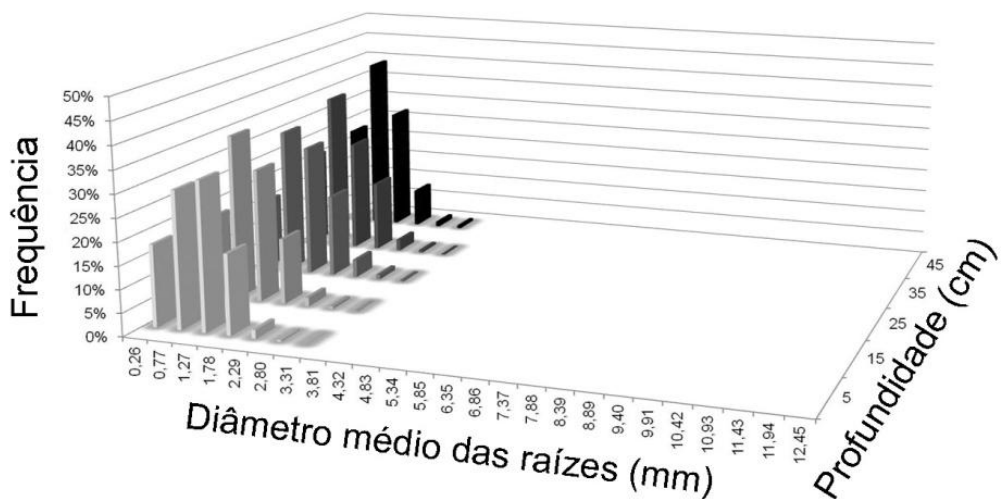
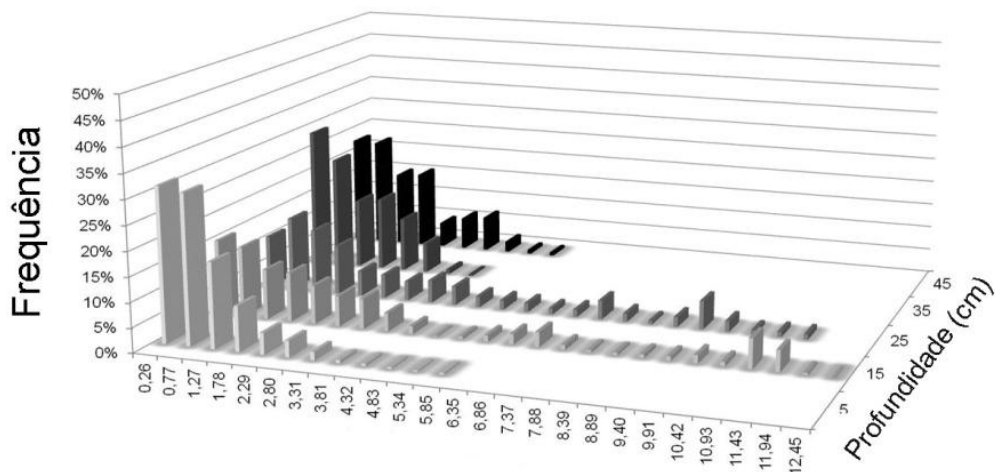
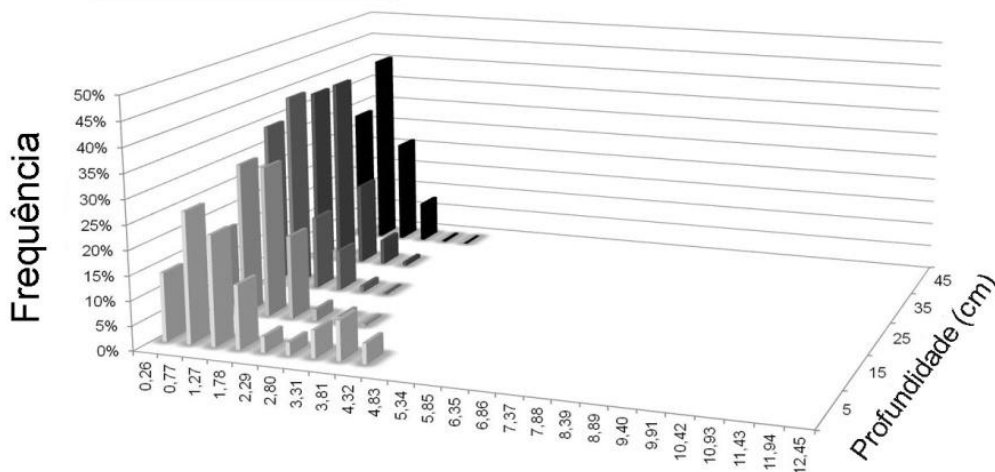


FIGURA 16. Frequência do volume de raízes correspondente a cada classe de diâmetro e as profundidades de coleta do porta-enxerto 'Nemaguard' sob a copa das plantas, na linha de tráfego e enterrodados. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013.

### Sob a copa



### Linha de tráfego



### Enterrerrodados

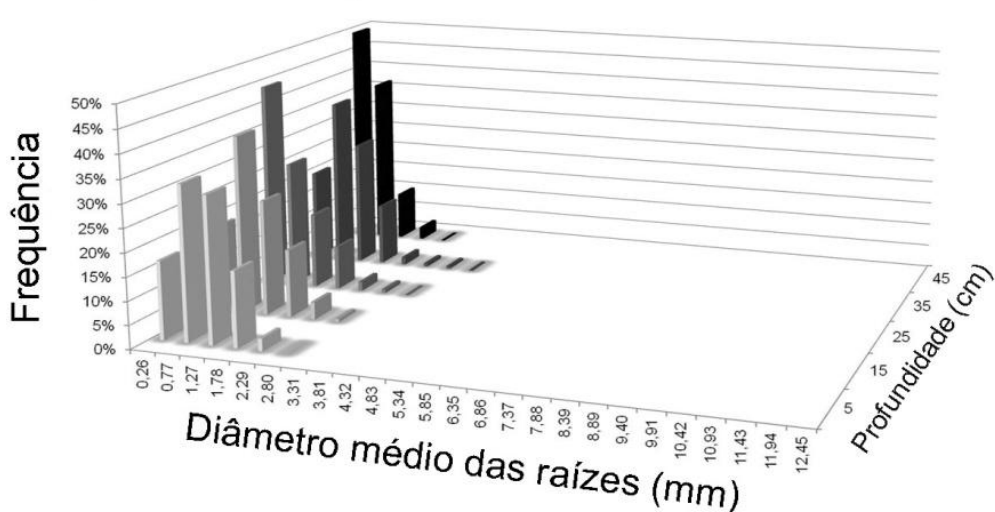


FIGURA 17. Frequência do volume de raízes correspondente a cada classe de diâmetro e as profundidades de coleta do porta-enxerto 'Okinawa' sob a copa das plantas, na linha de tráfego e enterrerrodados. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013.

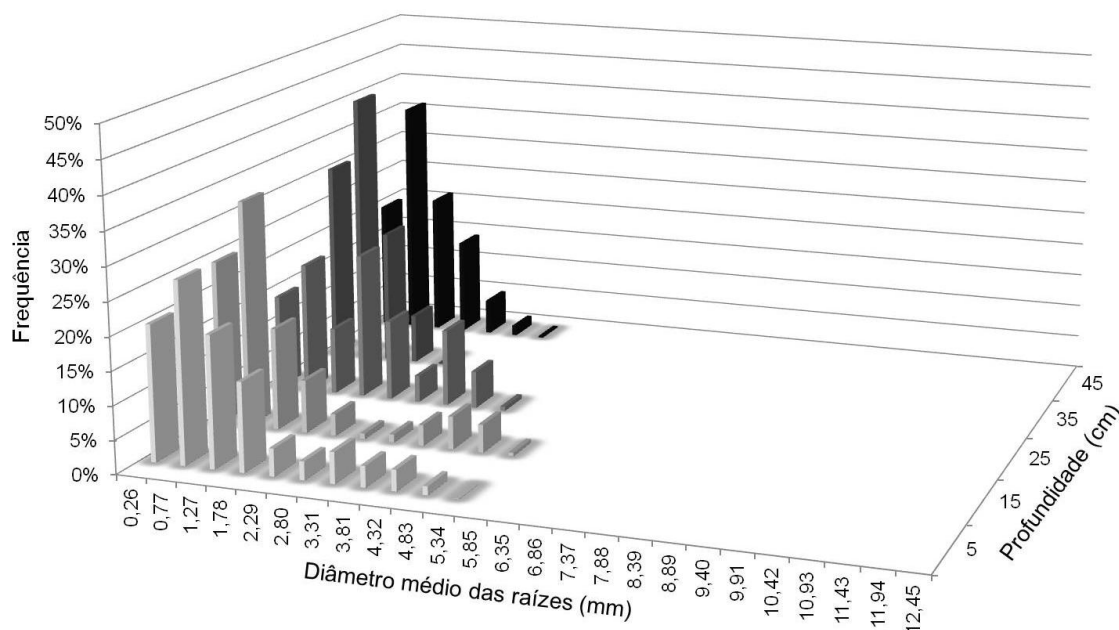


FIGURA 18. Frequência do volume de raízes correspondente a cada classe de diâmetro e as profundidades de coleta do porta-enxerto umezeiro sob a copa das plantas. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013.

Houve redução da frequência de raízes grossas, que apresentaram diâmetro superior a 2 mm (Vercambre *et al.*, 2003) na linha de tráfego e no entrerrodados das parcelas dos porta-enxertos ‘Nemaguard’ e ‘Okinawa’, aumentando a frequência de raízes finas nestes locais. O efeito se deu principalmente na camada de 10-30 cm de profundidade, onde, na linha de tráfego, se encontraram as maiores frequências de raízes grossas (Figuras 16 e 17). A diminuição da frequência de raízes grossas, nas porções de solo compactadas bem como com aumento da profundidade do solo, ocorreu provavelmente pelos impedimentos causados pelo aumento da saturação por alumínio em profundidade (Figura 11) e pelo aumento da resistência à penetração (Figura 7). A inibição do crescimento primário das raízes pela compactação do solo (Bengough *et al.*, 2011) e pela presença de alumínio

tóxico (Panda *et al.*, 2009) levou, por consequência, a uma redução no crescimento secundário das raízes, diminuindo a frequência de raízes grossas.

Na maior parte do perfil, a fertilidade do solo foi considerada desfavorável ao crescimento de raízes do pessegueiro, principalmente pelo baixo pH e alta saturação de alumínio tóxico. Porém, onde houve maior concentração de raízes foram constatadas as maiores concentrações de K e P, o que talvez explique o bom desenvolvimento das plantas.

O sistema de raízes é dividido em raízes grossas e finas, baseado no diâmetro. As grossas geralmente são lenhosas e prestam serviço de ancoragem e condução de água e nutrientes. A absorção de nutrientes e água é realizada, principalmente, pelas raízes finas. O sistema de raízes de arvoretas e arbustos normalmente é superficial (0-20 cm de profundidade) (Turner, 2004). Tendo como base este conceito, a maior densidade de raízes na camada de 5-25 cm se deve basicamente às melhores condições de fertilidade nesta camada do solo, conforme evidenciado pelos atributos químicos avaliados. A menor presença de raízes em profundidade pode ser atribuída, em parte, à presença de alumínio tóxico. No caso dos pessegueiros observados no presente trabalho, a presença de raízes de ancoragem abaixo de 25 cm de profundidade não foi constatada para todos os porta-enxertos observados.

#### **4.4 Produção e crescimento dos pessegueiros**

A área da seção transversal do caule (Figura 19a) e a produção acumulada de pessegueiros (Figura 19b) foram afetadas pelos porta-enxertos ao longo dos anos observados, apresentando ambas variáveis interação significativa entre os fatores ( $p < 0,05$ ).

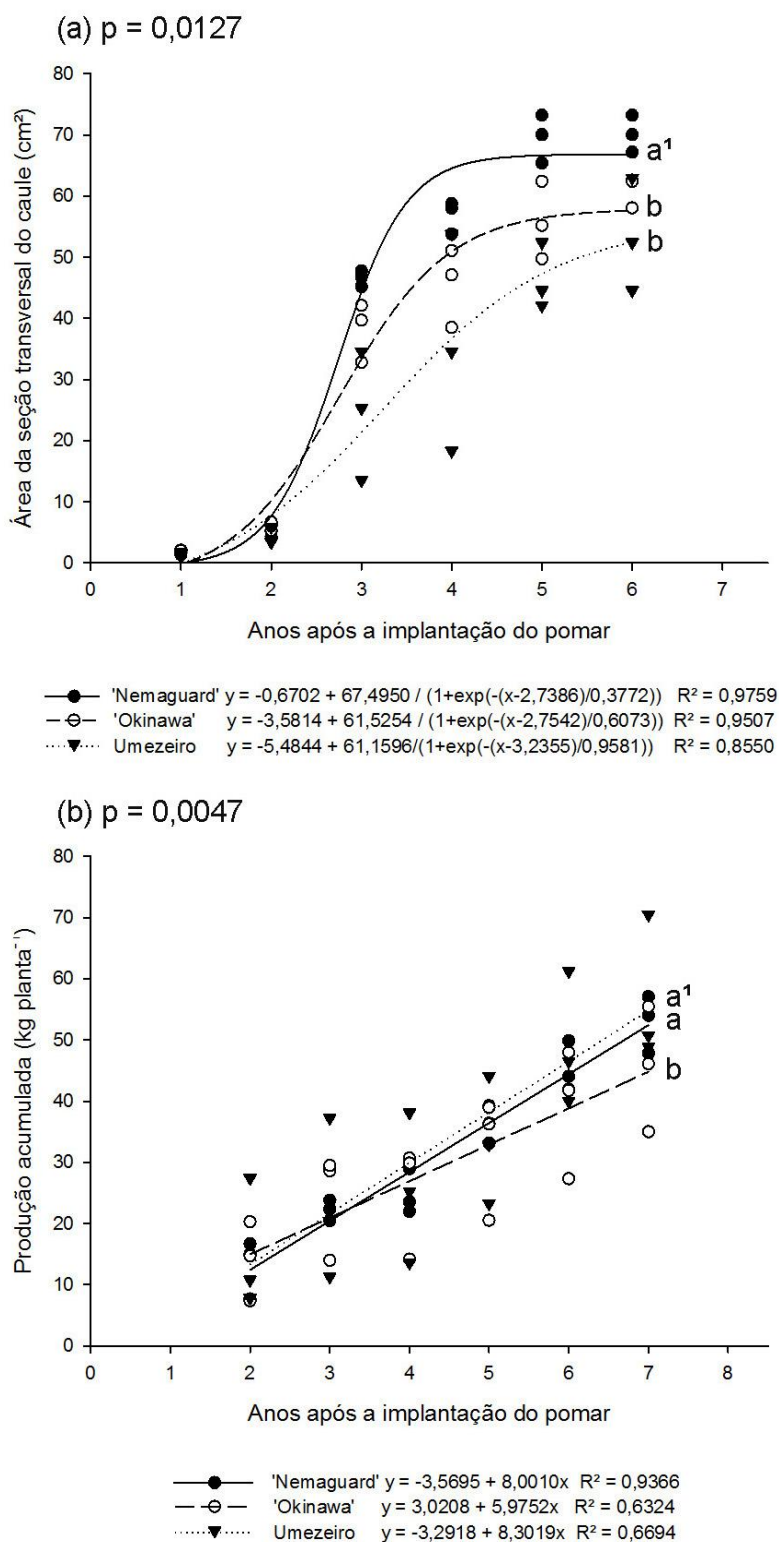


FIGURA 19. Área da seção transversal do caule (a) e produção acumulada (b) do pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre diversos porta-enxertos ao longo de sete anos após a implantação do pomar. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2006 a 2013. Significativo quando  $p < 0,25$ ; <sup>1</sup>As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de comparação de médias Scott-Knott.

O porta-enxerto 'Nemaguard' apresentou crescimento superior aos demais porta-enxertos testados ao longo dos anos e maior produção acumulada de pêssegos, junto com o umezeiro, que se mostraram superiores ao 'Okinawa'.

A massa da poda de inverno e verão, a eficiência de produção e o índice de alternância de produção dos pessegueiros não mostraram diferenças estatísticas entre os porta-enxertos testados (Tabela 3).

TABELA 3. Massa de poda, eficiência de produção (EP) e índice de alternância de produção (IAP) de pessegueiros 'Maciel' enxertados sobre três porta-enxertos. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013.

	Massa de poda <sup>x</sup> (kg planta <sup>-1</sup> )	EP <sup>y</sup> (kg cm <sup>-2</sup> )	IAP <sup>z</sup>
'Nemaguard'	3,2 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>
'Okinawa'	2,7	0,74	0,39
Umezeiro	1,6	1,11	0,45
Média	2,50	0,87	0,41
CV (%)	34,9	33,1	26,2

<sup>ns</sup> não significativo. Foi aplicado o teste de Scott-Knott ( $p = 0,05$ ); <sup>x</sup> somatório da massa de poda de inverno e verão, média de 4 safras; <sup>y</sup> eficiência de produção em função da área de seção transversal do caule; <sup>z</sup> IAP [0;1]. IAP > 0,5: tendência de alternância de produção. IAP < 0,5: tendência de safras regulares ao longo dos anos (Bassal, 2009).

A produtividade média observada dos pessegueiros ao longo dos anos foi próxima da média brasileira, de 12 t ha<sup>-1</sup>, superior à média do RS (9,8 t ha<sup>-1</sup>) e inferior à dos pomares de SP e MG (22 t ha<sup>-1</sup>), em 2012 (IBGE, 2013). A produtividade alcançada foi abaixo da produção média mundial, de 14 t ha<sup>-1</sup> e dos principais países produtores, como Estados Unidos e Itália (18 t ha<sup>-1</sup>) (FAO, 2014).

A maior densidade de raízes do 'Nemaguard' (Figura 13) correspondeu ao maior crescimento da copa dos pessegueiros 'Maciel' enxertados sobre ele (Figura 19a). O 'Okinawa' apresentou comportamento intermediário e o



umezeiro, o menor crescimento vegetativo. Porém, este comportamento não se refletiu na produção ao longo das seis primeiras safras, onde não há diferença quanto à produtividade (Figura 19b), à alternância de produção bem como à eficiência produtiva dos pessegueiros enxertados sobre os três porta-enxertos usados (Tabela 3).

Este comportamento pode ser atribuído às práticas de poda (Tabela 3) e raleio, que fizeram parte do itinerário técnico do pomar, o que tende a reduzir as diferenças de produção esperada em copas com diferentes vigores. Outro fator que pode contribuir à falta de diferença produtiva entre os porta-enxertos é o maior vigor conferido às plantas com maior densidade de raízes, o que pode levar a maior formação de ramos ladrões durante o período vegetativo-produtivo dos pessegueiros, competindo com a produção de frutos, reduzindo assim a produtividade destas plantas, diferentemente do que ocorre com as plantas enxertadas sobre o umezeiro, que apresentam baixo vigor.

Em experimentos avaliando o desenvolvimento de macieiras (*Malus domestica*) e videiras (*Vitis vinifera*) enxertadas sobre diversos porta-enxertos em vasos, com a mesma classe de solo, com níveis de compactação baseada na densidade de solo (variando de 1,0 a 1,5 g cm<sup>-3</sup>), o incremento da compactação do solo teve mínimo efeito sobre o crescimento das raízes, mas teve efeito acentuado sobre o crescimento de brotações e das folhas. Além disso, houve redução da absorção de nutrientes em função do aumento da compactação do solo. As videiras cultivadas no solo com maior densidade tiveram reduzidos o número de folhas, a área foliar e o comprimento das brotações em uma estação de crescimento, além de uma redução no número de inflorescências emitidas (Ferree *et al.*, 2004; Ferree & Streeter, 2004).

Botta *et al.* (2010) encontraram uma relação direta entre rendimento e peso seco do sistema radicular em soja, sendo essa relação afetada negativamente pela compactação do solo, com decréscimo na produção ano após ano. Este efeito sobre o rendimento pode estar relacionado não somente com a massa do sistema radicular, mas também com seu comprimento e fisiologia.

## 6 CONCLUSÕES

Os porta-enxertos de pessegueiros observados apresentam diferente densidade de raízes e semelhante distribuição no perfil do solo. O 'Nema-guard' apresenta a maior densidade de raízes entre os três porta-enxertos, enquanto o umezeiro, a menor.

A distribuição de raízes de pessegueiro, cultivado sob sistema de produção integrado, é afetada pela presença de alumínio tóxico nas camadas inferiores e pela porção de solo compactada no centro da entrelinha (na camada superficial).

A porção compactada da entrelinha, pelo trânsito de máquinas agrícolas, limita lateralmente a distribuição do sistema de raízes das plantas, enquanto a saturação por alumínio limita em profundidade. Há diminuição da presença de raízes grossas nas porções de solo compactadas e com alta saturação por alumínio.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dificuldade na coleta de raízes leva a escassez de trabalhos na área, principalmente com culturas perenes, demandando novos recursos tecnológicos para a avaliação do sistema de raízes das plantas perenes, principalmente não destrutivos.

Estudos desta natureza são necessários para que se possa conhecer a distribuição de raízes das árvores frutíferas em pomares das diversas espécies e suas cultivares utilizadas na produção comercial. Conhecer a distribuição de raízes pode auxiliar nas recomendações de posicionamento dos fertilizantes, manejo do solo pós-plantio, escolha de maquinário adequado para trafegar no pomar, entre outros.

A compactação do solo afetou o sistema de raízes dos pessegueiros, mas, como não houve diferença produtiva entre as combinações copa:porta-enxerto, não há como afirmar que a compactação do solo interferiu na produtividade. Além disso, não foram cultivados pessegueiros sem restrições físicas para o crescimento das raízes, o que tornaria possível comparar o nível de compactação com a produção dos pessegueiros cultivados com e sem restrições físicas na entrelinha. O estudo da influência da compactação do solo nas entrelinhas sobre a dinâmica da água nos pessegueiros, principalmente durante o desenvolvimento dos frutos (primavera) e em dias de alta demanda

evaporativa (verão), pode elucidar se a restrição de crescimento pela compactação do solo afeta o rendimento da cultura.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAOUI A. A.; LIPIEC, J.; GERKE, H. H. A review of the changes in the soil pore system due to soil deformation: A hydrodynamic perspective. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 115-116, p. 1-15, 2011.

ANDRIGUETO, J. R. et al. Produção integrada de frutas e sistema agropecuário de produção integrada no Brasil. In: **Produção integrada no Brasil: agropecuária sustentável alimentos seguros**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. cap. 2, p. 31-58.

ANDRIOLI, I. et al. Influencia da subsolagem e adubação verde no sistema radicular de citros em um latotssolo vermelho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 2003. 1 CD-ROM.

ANGHINONI, I.; MEURER, E. J. Eficiência de absorção de nutrientes pelas raízes. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIA E ESTUDO DE CASO, 1999, Aracaju. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA, 1999. p. 57-87.

ANUÁRIO brasileiro de fruticultura 2013. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, 2013. 136 p.

ARVIDSSON, J. et al. Rubber track systems for conventional tractors – Effects on soil compaction and traction. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 117, p. 103-109, 2011.

ASAE. American Society of Agricultural Engineers. **Soil cone penetrometer**. In: ASAE. Agricultural Engineers Yearbook. St. Joseph, 2004. p. 368-369 (ASAE Report, 313.1).

BASSAL, M. A. Growth, yield and fruit quality of 'Marisol' clementine grown on four rootstocks in Egypt. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 119, n. 2, p. 132-137, 2009.

BASSI, D.; MONET, R. Botany and taxonomy. In: **The Peach: Botany, production and uses**. Rome: Cabi, 2008. p. 1-36.

BENGOUGH, A. G. et al. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 1, p. 59-68, 2011.

- BERGAMASCHI, H. et al. **Clima da Estação Experimental da UFRGS (e região de abrangência)**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 77 p.
- BERISSO, F. E. et al. Gas transport and subsoil pore characteristics: Anisotropy and long-term effects of compaction. **Geoderma**, Amsterdam, v. 195-196, p. 184-191, 2013.
- BEUTLER, J. F. **Parâmetros de solo e máquinas na semeadura direta de milho e soja em duas coberturas de solo sobre campo natural**. 2005. 107 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre, 2005.
- BINGHAM, I. J. Soil-root-canopy interactions. **Annals of Applied Biology**, Warwickshire, v. 138, n. 2, p. 243-251, 2001.
- BISSANI, C. A. et al. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 344 p.
- BLACK, B. L. et al. A comparison of root distribution patterns among Prunus rootstocks. **Journal of the American Pomological Society**, Massachusetts, v. 64, n. 1, p. 52-62, 2010.
- BOTTA, G. F. et al. Tillage and traffic effects (planters and tractors) on soil compaction and soybean (*Glycine max* L.) yields in Argentinean pampas. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 110, n. 1, p. 167-174, 2010.
- BOTTA, G.; JORAJURIA, D.; DRAGHI, L. Influence of the axle load, tyre size and configuration, on the compaction of a freshly tilled clayey soil. **Journal of Terramechanics**, Oxford, v. 39, n. 1, p. 47-54, 2002.
- BOUHADIDA, M. et al. Molecular characterization and genetic diversity of *Prunus* rootstock. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 120, n. 2, p. 237-245, 2009.
- BRASIL. Instrução normativa/SARC nº 016, de 1º de dezembro de 2003. Aprovar as Normas Técnicas Específicas para a Produção Integrada de Pêssego.— **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 02 de dez. de 2003, Seção 1, p. 5.
- CAIRES, E. F. Manejo da acidez do solo. In: **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: contexto mundial e técnicas de suporte**. Piracicaba: INPI-Brasil, 2010. cap. 10, p. 277-347. v. 1.
- CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 789-796, 2005.
- CANILLAS, E. C.; SALOKHE, V. M. Regression analysis of some factors influencing soil compaction. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 61, n. 3-4, p. 167-178, 2001.

- CLARK, L. J.; WHALLEY, W. R.; BARRACLOUGH, P. B. How do roots penetrate strong soil? **Plant and soil**, The Hague, v. 255, n. 1-2; p. 93-104, 2003.
- COELHO, E. F. et al. **Distribuição de raízes e extração de água do solo em fruteiras tropicais sob irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa mandioca e fruticultura tropical, 2008. 80 p.
- DIAS, F. P. **Comportamento fenológico e produtivo de pessegueiros 'Maciel' e 'Chimarrita' enxertados sobre seis cultivares de porta-enxertos**. 2011. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA. CNPS, 1997. 212 p.
- FACHINELLO, J. C.; LORETI, F. Porta-enxertos para frutas de caroço. I — Novas opções com materiais de origem clonal, sementes e híbridos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 22, n. 3, p. 483-486, 2000.
- FACHINELLO, J. C.; MAY DE MIO, L. L.; RANGEL, A. Produção integrada de pêssego. In: PRODUÇÃO integrada no Brasil: agropecuária sustentável alimentos seguros. Brasília: Mapa/ACS, 2009. cap. 26, p. 779-809.
- FAO. **FAOSTAT**. [Database results]. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 16 jan. 2012.
- FERREE, D. C.; STREETER, J. G. Response of container-grown grapevines to soil compactation. **HortScience**, Alexandria, v. 39, n. 6, p. 1250-1254, 2004.
- FERREE, D. C.; STREETER, J. G.; YUNCONG, Y. Response of container-grown apple trees to soil compactation. **HortScience**, Alexandria, v. 39, n. 1, p. 40-48, 2004.
- FERRERO, A.; USOWICZ, B.; LIPIEC, J. Effects of tractor traffic on spatial variability of soil strength and water content in grass covered and cultivated sloping vineyard. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 84, n. 2, p. 127–138, 2005.
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; SACAPIM, C. A. Especificação vertical e horizontal dos indicadores de qualidade para um Latossolo Vermelho cultivado com citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 9-19, 2007.
- FINARDI, N. L. Método de propagação e descrição de porta-enxertos. In: **A cultura do pessegueiro**. Brasília: Embrapa – SPI; Pelotas: Embrapa-CPACT, 1998. cap. 4, p. 100-129.
- FORDE, B.; LORENZO, H. The nutritional control of root development. **Plant and soil**, The Hague, v. 232, n. 1-2; p. 51-68, 2001.



FOSHEE, W. G. et al. Orchard floor practices affect soil compactation around young pecan trees. **HortScience**, Alexandria, v. 32, n. 5, p. 871-873, 1997.

GEORGE, E.; HORST, W. J.; NEUMANN, E. Adaptation of Plants to Adverse Chemical Soil Conditions. In: NUTRITION of Higher Plants. 3. ed. San Diego: Academic Press, 2012. cap. 17, p. 409-472.

GIORGI, M. et al. The rootstock effects on plant adaptability, production, fruit quality, and nutrition in the peach (cv. 'Suncrest'). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 107, n. 1, p. 36-42, 2005.

GÓMEZ, J. A. et al. Effects of tillage method on soil physical properties, infiltration and yield in an olive orchard. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 52, n. 3-4, p. 167-175. 1999.

GÖTTLEIN, A.; HEIM, A.; MATZNER, E. mobilization of aluminium in the rhizosphere soil solution of growing tree roots in acid soil. **Plant and soil**, The Hague, v. 211, n. 1-2, p. 41-49, 1999.

GREGORY, P. J. **Plant roots: growth, activity, and interactions with soils**. Oxford: Blackwell publishing, 2006. 318 p.

HÄKANSSON, I.; REEDER, R. C. Subsoil compaction by vehicles with high axle load extent, persistence and crop response. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 29, n. 2-3, p. 277-304. 1994.

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

HERTER, F. G.; SACHS, S.; FLORES, C. A. Condições edafoclimáticas para instalação do pomar. In: A CULTURA do pessegueiro. Brasília: Embrapa – SPI; Pelotas: Embrapa-CPACT, 1998. cap. 2, p. 20-28.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. Amherst, University of Massachusetts: Academic Press, 1980. 413 p.

HODGE, A. et al. Plant root growth, architecture and function. **Plant and soil**, The Hague, v. 321, n. 1-2; p. 153-187, 2009.

HODGE, A. Roots: the acquisition of water and nutrients from the heterogeneous soil environment. **Progress in botany**, Berlin, v. 71, p. 307-337, 2010.

IBGE. **Produção agrícola municipal 2012**. Rio de Janeiro: IBGE. 2013.

Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2012/default.shtm>>.

Acesso em: 20 fev. 2014.

JACTO. **Catálogo de produtos e informações técnicas**. 2014. Disponível em: <<http://www.jacto.com.br>>. Acesso em: 03 fev. 2014.

JIN, K. et al. How do roots enlogate in a estructured soil? **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 64, n. 15, p. 4761-4777, 2013.

JOHN DEERE. **Catálogo de produtos e informações técnicas**. 2014. Disponível em: <<http://www.johndeere.com.br>>. Acesso em: 03 fev. 2014.

JORGE, L. A. C.; RODRIGUES, A. F. O. **Safira**: Sistema de Análise de Fibras e Raízes. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008. 20 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 24).

KELLER, T. et al. Analysis of soil compression curves from uniaxial confined compression tests. **Geoderma**, Amsterdam, v. 163, n. 1-2, p. 13-23, 2011.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. 2. ed. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2012. 240 p.

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

LIPIEC, J. et al. Effects of soil compaction on root elongation and anatomy of different cereal plant species. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 121, n. 1, p. 74-81, 2012.

LORETI, F. Porta-enxertos para a cultura do pessegueiro do terceiro milênio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 274-284, 2008b.

LORETI, F. Ricerca: portinnesti. In: **IL PESCO**. Bologna, Art, 2008a. p. 380-399.

MAPFUMO, E.; CHANASYK, D. S. Guidelines for safety trafficking and cultivation, and resistance – density - moisture relations of three disturbed soils from Alberta. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 46, n. 3-4, p. 193-202, 1998.

MASSEY FERGUSON. **Catálogo de produtos e informações técnicas**. 2014. Disponível em: <<http://www.masseyferguson.com.br>>. Acesso em: 03 fev. 2014.

MATSUMOTO, H. Plant roots under aluminum stress: toxicity and tolerance. In: **Plant roots: the hidden half**. 3. ed. New York: CRC Press, 2002. cap. 46. p. 821-834.

MAY DE MIO, L. L.; GARRIDO, L.; UENO, B. Doenças de Fruteiras de Caroço. In: **Fruteiras de caroço: uma visão ecológica**. Curitiba: UFPR, 2004. cap. 10, p. 169 – 221.

MAYER, N. A. et al. Distribuição do sistema radicular de porta-enxertos de umezeiro enxertados com o pessegueiro 'Aurora-1'. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 42, n. 7, p. 965-973, 2007b.

MAYER, N. A. et al. Distribuição do sistema radicular do pessegueiro 'Okinawa' propagado por sementes e por estacas herbáceas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 699-704, 2007a.

MAYER, N. A.; PEREIRA, F. M. Crescimento de três clones de umezeiro (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) e pessegueiro cv. 'Okinawa' [*Prunus persica* (L.) Batsch] propagados por estacas herbáceas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 113-116, 2004.

MAYER, N. A.; PEREIRA, F. M.; BARBOSA, J. C. Pegamento e crescimento inicial de enxertos do pessegueiro 'Aurora-1' em clones de Umezeiro (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) e 'Okinawa' [*Prunus persica* (L.) Batsch] propagados por estacas herbáceas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 102-106, 2005.

MAYER, N. A.; PEREIRA, F. M.; KOKA, V. Y. Desenvolvimento inicial no campo de pessegueiros 'Aurora-1' enxertados em clones de Umezeiro e 'Okinawa' propagados por estacas herbáceas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 2, p. 231-235, 2006.

MAZETTO, F. R. et al. Avaliação do contato pneu-solo em três modelos de pneus agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p.750-757, 2004.

MAZURANA, M. **Atributos físicos, mineralógicos e matéria orgânica de solos relacionados à capacidade de suporte de carga**. 2011. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.

McDONALD, J. H. **Handbook of Biological Statistics**. 2. ed. Baltimore: Sparky House Publishing, 2008. 287 p.

MEDEIROS, J. C. et al. Deep subsoiling of a subsurface-compacted typical hapludult under citrus orchard. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 911-919, 2013.

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

MIRANSARI, M. et al. Effects of soil compaction and arbuscular mycorrhiza on corn (*Zea mays* L.) nutrient uptake. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, n. 2, p. 282-290, 2009.

MONTANA. **Catálogo de produtos e informações técnicas**. 2014. Disponível em: <<http://www.montana.com.br>>. Acesso em: 03 fev. 2014.

MÜLLER, J. et al. Atributos físicos e químicos de um argissolo vermelho, em pomar orgânico de citros com manejo da vegetação nas entrelinhas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 1127-1134, 2011.

OLMSTEAD, M.; CHAPARRO, J.; FERGUSON, J. Rootstocks for Florida stone fruit. (revisado). **University of Florida**, IFAS HS 1110, 2012. 5 p. Disponível em: <<http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/HS/HS36600.pdf>>. Acesso em: 19 de fev. de 2014.

PALADINI, L. A.; KRUGER, R. Tecnologia de aplicação de agrotóxicos para pomares de pêssego. In: **Fruteiras de caroço: uma visão ecológica**. Curitiba: UFPR, 2004. cap. 13, p. 299 – 316.

PANDA, S. K.; BALUSKA, F.; MATSUMOTO, H. Aluminum stress signaling in plants. **Plant signaling & behavior**, Georgetown, v. 4, n. 7, p. 592-597, 2009.

PEDROTTI, A. et al. Evaluation of bulk density of Albaqualf soil under different tillage systems using the volumetric ring and computerized tomography methods. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 80, n. 1-2, p. 115-123, 2005.

PEDROTTI, A. et al. Resistência mecânica a penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 521-529, 2001.

PENG, X. H. et al. Mechanisms of soil vulnerability to compaction of homogenized and recompacted Ultisols. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 2, p. 125-137. 2004.

PERECIN, D.; CARGNELUTTI FILHO, A. Efeitos por comparações e por experimento em interações de experimentos fatoriais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 68-72, 2008.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 407 p.

RAGHAVAN, G. S. V. et al. Development of compaction patterns due to machinery operation in an orchard soil. **Canadian Journal of Plant Science**, Quebec, v. 56, n. 3, p. 505-509, 1976.

RAPER, R. L. Agricultural traffic impacts on soil. **Journal of Terramechanics**, Amsterdam, v. 42, n. 3-4, p. 259-280, 2005.

RAVEN, P. H.; JHONSON, G. B. **Biology**. 6. ed. Boston: McGraw-Hill Higher Education, 2002. 1239 p.

REICHERT, J. M. et al. Mecânica do solo. In: LIER, Q. de J. van. (Ed.). **Física do solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298 p.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 29-48, 2003.

REIGHARD, G. L. Peach rootstocks for the United States: are foreign rootstocks the answer? **HortTechnology**, Clemson, v. 10, n. 4, p. 714-718, 2000.

REIS, A. V. et al. **Motores, tratores, combustíveis e lubrificantes**. 2. ed. Pelotas: Ed. Universitária, UFPEL, 2005. 307 p.

RIENZI, E. A.; MAGGI, A. E. Manejo y conservación de suelos de sistemas frutícolas. In: **Árboles Frutales: ecofisiología, cultivo y aprovechamiento**. Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires, 2007. cap. 11, p. 343 – 362.

RUSER, R. et al. Emission of N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> from soil fertilized with nitrate: effect of compaction, soil moisture and rewetting. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 38, n. 2, p. 263-274, 2006.

SAFFIH-HDADI, K. et al. A method for predicting soil susceptibility to the compaction of surface layers as a function of water content and bulk density. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 105, n. 1, p. 96-103, 2009.

SÁNCHEZ, E. E. Nutrición mineral y fertilización de frutales de hoja caduca. In: **Árboles Frutales: ecofisiología, cultivo y aprovechamiento**. Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires, 2007. cap. 11, p. 395–434.

SANTOS, C. V. **Atributos físicos do solo e sistema radicular de bergamoteiras sob diferentes manejos da cobertura de entrelinhas do pomar**. 2013. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2013.

SBCS. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS – Núcleo Regional Sul, 2004. 394 p.

SCHLOSSER, J. F. et al. Análise comparativa do peso específico dos tratores agrícolas fabricados no Brasil e seus efeitos sobre a seleção e uso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 1, p. 92-97, 2005.

SCHMIDT, W.; LINKE, B. Nutrients as regulators of root morphology and architecture. In: **The rhizosphere: biochemistry and organic substances at the soil-plant interface**. Boca Raton: CRC Press, 2007. cap. 5, p. 135-150.

SILVA, V. R. et al. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. i - estado inicial de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 1-8, 2002a.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. ii - grau de saturação em água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 9-15, 2002b.

SILVEIRA, V. H. da. **Atributos físicos de um Argissolo espessarênico com cultivo de citros manejados em sistemas orgânico e convencional**. 2013. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciência do

Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2013.

SOANE, B. D. et al. Compaction by agricultural vehicles: a review I. Soil and wheel characteristics. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 1, n. 1, p. 207-237, 1981a.

SOANE, B. D. et al. Compaction by agricultural vehicles: a review II. Compaction under tyres and other running gear. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 1, n. 1, p. 373-400, 1981b.

SOANE, B. D.; DICKSON, J. W.; CAMPBELL, D. J. Compaction by agricultural vehicles: a review III. Incidence and control of compaction in crop production. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 2, n. 1, p. 3-36, 1982.

SOUZA, Z. M. DE et al. Raiz sob pressão. **Revista Cultivar Máquinas**, Pelotas, v. 113, p. 12-14, 2011.

STENZEL, N. M. C. et al. Performance of “Ponkan” mandarin on seven rootstocks in Southern Brazil. **Hortscience**, St. Joseph, v. 38, n. 2, p. 176-178, 2003.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222 p.

SYSTAT SOFTWARE Inc – SSI. **Sigmaplot for Windows**, version 12.5, 2013.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER, J. J. Soil strength root penetration relations for medium coarse-textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v. 102, p. 18-22, 1966.

TOLÓN-BECERRA, A. et al. Soil compaction distribution under tractor traffic in almond (*Prunus amygdalus* L.) orchard in Almería España. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 107, n. 1, p. 49–56, 2010.

TOLÓN-BECERRA, A. et al. Subsoil compaction from tractor traffic in an olive (*Olea europea* L.) grove in Almería, Spain. **Soil Use and Management**, Hoboken, v. 28, n. 4, p. 606–613, 2012.

TOMBESI, S.; ALMEHDI, A.; DEJONG, T. M. Phenotyping vigour control capacity of new peach rootstocks by xylem vessel analysis. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 127, n. 3, p. 353–357, 2011.

TRITON. **Catálogo de produtos e informações técnicas**. 2014. Disponível em: < <http://www.tritonmaquinas.com.br/home>>. Acesso em: 03 fev. 2014.

TROMP, J. Nutrient reserves in roots of fruit trees, in particular carbohydrates and nitrogen. **Plant and soil**, The Hague, v. 71, n. 1-3, p. 401-413, 1983.

TURNER, I. M. **The Ecology of Trees in the Tropical Rain Forest**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

UREN, N. C. Types, amounts, and possible functions of compounds released into the rhizosphere by soil-grown plants. In: **The rhizosphere: biochemistry and organic substances at the soil-plant interface**. Boca Raton: CRC Press, 2007. cap. 1, p. 1-21.

VALENCIA, R. et al. Differential response of plants to aluminum. A review. **Agonomía colombiana**, Bogotá, v. 30, n. 1, p. 71-77, 2012.

VALTRA. **Catálogo de produtos e informações técnicas**. 2014. Disponível em: <<http://www.valtra.com.br>>. Acesso em: 03 fev. 2014.

van DIJCK, S. J. E.; van ASCH, Th. W. J. Compaction of loamy soils due to tractor traffic in vineyards and orchards and its effect on infiltration in southern France. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 63, n. 3-4, p. 141-153, 2002.

van RAIJ, B. Melhorando o ambiente radicular em subsuperfície. In: **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: contexto mundial e técnicas de suporte**. Piracicaba: INPI-Brasil, 2010. cap. 11, p. 349-382. v. 1.

VERCAMBRE, G. et al. Architectural analysis and synthesis of the plum tree root system in na orchard using a quantitative modelling approach. **Plant and soil**, The Hague, v. 251, n. 1, p. 1-11, 2003.

WILLIAMSON, J. G.; COSTON, D. C.; CORNELL, J. A. Root restriction affects shoot development of peach in a high-density orchard. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, n. 3, p. 362-367, 1992.

YANMAR. **Catálogo de produtos e informações técnicas**. 2014. Disponível em: <<http://www.yanmar.com.br>>. Acesso em: 03 fev. 2014.

ZANETTE, F.; BIASI, L. A. Introdução a fruteiras de caroço. In: **Fruteiras de caroço: uma visão ecológica**. Curitiba: UFPR, 2004. cap. 1, p. 1-4.

ZARROUK, O. et al. Influence of almond x peach hybrids rootstocks on flower and leaf mineral concentration, yield and vigour of two peach cultivars. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 106, n. 4, p. 502-514, 2005.

## 9 APÊNDICES

APÊNDICE 1. Penetrômetro Solo Track – Falker® utilizado para medições de resistência mecânica do solo à penetração.



Foto: Falker Automação Agrícola.



APÊNDICE 2. Caracterização química do solo da entrelinha de pomar de pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre 'Nemaguard'. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013.

Distância da linha de plantas (m)	Prof. (cm)	Argila %	pH H <sub>2</sub> O	Índice SMP	P (mg/dm <sup>3</sup> )	K (mg/dm <sup>3</sup> )	M.O.S (%)	Al <sub>trocável</sub> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	Ca <sub>trocável</sub> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )
1,5	5	16,33	5,67	6,33	43,60	441,00	2,87	0,00	3,97
	15	16,67	5,33	6,50	14,57	244,33	1,60	0,03	2,67
	25	20,67	5,03	6,00	4,77	157,00	1,20	0,27	1,83
	35	25,00	4,50	5,77	3,57	109,33	1,17	0,80	1,60
	45	31,00	4,53	5,40	3,10	102,00	1,10	1,27	1,67
2,0	5	15,00	5,47	6,50	10,07	155,00	2,57	0,10	3,83
	15	18,00	5,13	6,07	3,67	100,00	1,33	0,30	1,90
	25	23,67	4,70	5,77	3,20	69,33	1,77	0,77	1,37
	35	28,00	4,57	5,50	3,03	60,00	1,30	1,23	1,37
	45	33,67	4,47	5,37	2,90	58,67	1,27	1,60	1,50
2,5	5	14,00	5,40	6,23	10,73	97,67	2,70	0,10	3,73
	15	15,33	5,20	6,47	5,17	68,33	1,33	0,10	2,53
	25	20,00	5,17	6,17	3,37	58,00	1,23	0,23	2,13
	35	23,00	4,73	5,90	2,93	51,00	1,17	0,60	1,73
	45	26,67	4,70	5,57	2,93	52,67	1,10	1,07	1,60

Continuação APÊNDICE 2 Caracterização química do solo da entrelinha de pomar de pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre 'Nemaguard'. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013.

Distância da linha de plantas (m)	Prof. (cm)	Mg <sub>trocável</sub> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	Al + H (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	CTC (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	% Sat da CTC		Relações		
					Bases	Al	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
1,5	5	1,43	3,00	9,55	68,33	0,00	2,83	4,33	1,80
	15	1,17	2,50	6,97	63,67	0,73	2,30	5,00	2,50
	25	1,00	4,43	7,68	42,33	7,70	1,83	5,33	2,80
	35	0,83	5,83	8,55	32,33	22,80	1,93	5,67	3,17
	45	0,90	8,77	11,57	24,67	30,73	1,87	6,33	3,53
2,0	5	1,57	2,57	8,39	67,67	2,20	2,40	10,00	3,83
	15	0,80	4,27	7,23	41,67	11,07	2,33	7,67	3,13
	25	0,57	5,93	8,05	27,67	27,67	2,43	8,33	3,53
	35	0,60	7,87	9,97	21,67	36,67	2,30	10,00	4,43
	45	0,77	9,03	11,43	21,33	39,83	2,00	11,67	5,93
2,5	5	1,57	3,47	9,05	61,00	2,03	2,33	15,67	6,47
	15	1,03	2,70	6,46	58,67	2,67	2,50	16,00	6,80
	25	0,90	3,67	6,86	46,67	6,67	2,43	15,00	6,30
	35	0,80	5,10	7,77	35,33	18,17	2,13	13,67	6,33
	45	0,83	7,43	9,98	26,67	29,10	1,93	12,00	6,00

MOS = matéria orgânica do solo; CTC = capacidade de troca de cátions a pH 7,0.

APÊNDICE 3. Caracterização química do solo da entrelinha de pomar de pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre 'Okinawa'. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013.

Distância da linha de plantas (m)	Prof. (cm)	Argila %	pH H <sub>2</sub> O	Índice SMP	P (mg/dm <sup>3</sup> )	K (mg/dm <sup>3</sup> )	M.O.S (%)	Al <sub>trocável</sub> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	Ca <sub>trocável</sub> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )
1,5	5	15,00	5,30	6,40	64,67	271,33	2,33	0,13	3,37
	15	18,33	5,17	6,30	15,77	166,00	1,50	0,10	2,07
	25	23,00	4,73	5,97	5,53	136,67	1,30	0,53	1,57
	35	26,00	4,53	5,53	3,37	102,33	1,27	1,10	1,27
	45	32,67	4,30	5,33	2,80	88,67	1,27	1,70	1,30
2,0	5	15,00	5,37	6,37	18,83	148,00	2,17	0,10	3,20
	15	17,00	4,80	6,13	11,97	100,67	1,97	0,53	1,93
	25	25,00	4,77	5,63	4,43	86,00	1,33	1,13	1,60
	35	32,67	4,47	5,43	3,13	87,67	1,87	1,63	1,53
	45	39,33	4,53	5,20	3,07	97,33	1,17	1,97	1,47
2,5	5	14,33	5,37	6,57	17,53	120,00	2,33	0,10	3,83
	15	17,67	5,03	6,03	7,80	80,67	1,40	0,43	2,50
	25	23,00	4,97	6,00	3,70	65,67	1,23	0,93	2,27
	35	33,33	4,87	5,53	3,07	67,67	1,37	1,27	2,23
	45	37,67	4,63	5,60	3,07	82,67	1,33	1,60	1,93

Continuação APÊNDICE 3 Caracterização química do solo da entrelinha de pomar de pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre 'Okinawa'. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013.

Distância da linha de plantas (m)	Prof. (cm)	Mg <sub>trocável</sub> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	Al + H (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	CTC (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	% Sat da CTC		Relações		
					Bases	Al	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
1,5	5	1,17	2,80	8,07	64,67	2,43	2,90	5,33	1,93
	15	1,03	3,13	6,68	52,33	2,80	2,00	5,33	2,63
	25	0,90	4,57	7,39	38,00	16,07	1,83	4,67	2,53
	35	0,70	7,60	9,83	23,00	32,10	1,87	4,67	2,67
	45	0,60	9,43	11,50	18,00	44,40	2,13	5,67	2,67
2,0	5	1,43	2,90	7,93	63,00	1,93	2,23	8,33	3,77
	15	0,80	4,33	7,33	44,67	15,57	2,40	7,33	3,07
	25	0,67	8,07	10,54	30,00	29,03	2,33	7,67	3,20
	35	0,67	9,67	12,07	25,00	38,70	2,27	7,00	3,10
	45	0,63	12,00	14,30	19,67	44,70	2,43	6,00	2,53
2,5	5	1,57	2,30	8,04	70,33	1,97	2,43	12,33	5,23
	15	0,93	4,67	8,32	45,67	12,37	2,70	14,33	5,10
	25	0,83	5,87	9,11	44,00	23,43	2,60	19,00	7,03
	35	0,97	9,57	12,92	34,67	27,67	2,33	16,00	7,07
	45	0,97	7,70	10,80	32,33	32,93	2,10	10,67	5,47

MOS = matéria orgânica do solo; CTC = capacidade de troca de cátions a pH 7,0.

APÊNDICE 4. Caracterização química do solo da entrelinha pomar de pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre umezeiro. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013.

Distância da linha de plantas (m)	Prof. (cm)	Argila %	pH H <sub>2</sub> O	Índice SMP	P (mg/dm <sup>3</sup> )	K (mg/dm <sup>3</sup> )	M.O.S (%)	Al <sub>trocável</sub> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	Ca <sub>trocável</sub> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )
1,5	5	17,33	5,40	6,37	21,40	376,67	2,80	0,03	3,60
	15	20,00	5,17	6,27	9,03	201,33	1,53	0,20	2,53
	25	26,33	4,87	5,83	4,57	127,00	1,37	0,57	2,07
	35	33,33	4,40	5,53	3,10	88,67	1,30	1,23	1,63
	45	40,67	4,33	5,43	2,80	81,00	1,23	2,03	1,57
2,0	5	15,33	5,33	6,40	12,00	137,67	2,60	0,17	3,60
	15	17,33	5,17	6,33	5,93	93,33	1,37	0,23	2,43
	25	28,33	4,90	5,93	4,03	84,67	1,43	0,63	2,07
	35	29,00	4,67	5,37	3,83	83,00	1,37	1,37	1,67
	45	40,00	4,43	5,13	3,53	87,33	1,27	2,00	1,43
2,5	5	15,67	5,30	6,37	13,30	104,33	2,23	0,17	3,27
	15	17,67	4,97	6,17	12,77	65,00	1,43	0,20	2,57
	25	23,00	4,63	5,80	15,47	63,33	1,40	0,90	1,97
	35	30,00	4,57	5,30	7,50	61,67	1,63	1,53	1,90
	45	38,67	4,43	5,20	4,07	62,33	1,37	1,93	1,70

Continuação APÊNDICE 4. Caracterização química do de solo da entrelinha pomar de pessegueiro 'Maciel' enxertado sobre umezeiro. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2013.

Distância da linha de plantas (m)	Prof. (cm)	Mg <sub>trocável</sub> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	Al + H (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	CTC (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	% Sat da CTC		Relações		
					Bases	Al	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
1,5	5	1,33	2,93	8,83	66,00	0,83	2,73	5,67	2,27
	15	1,10	3,33	7,49	53,00	6,83	2,27	5,33	2,43
	25	1,07	5,50	8,96	39,33	16,07	2,03	6,67	3,30
	35	0,93	7,63	10,41	27,67	31,07	1,83	7,00	4,00
	45	0,80	9,20	11,75	24,33	44,07	1,97	7,33	3,97
2,0	5	1,47	2,80	8,25	65,33	2,90	2,43	10,33	4,10
	15	1,10	3,07	6,85	55,00	6,00	2,20	11,00	4,90
	25	0,97	4,97	8,22	41,00	17,40	2,17	10,33	5,03
	35	0,83	10,60	13,30	25,33	32,80	2,17	8,00	4,20
	45	0,73	12,30	14,63	17,67	43,93	2,03	6,33	3,30
2,5	5	1,30	2,93	7,79	61,33	3,67	2,47	13,67	5,47
	15	1,07	3,63	7,44	50,67	5,17	2,40	17,00	7,17
	25	0,83	5,90	8,87	35,33	24,47	2,40	13,67	5,93
	35	0,77	11,03	13,83	24,33	36,17	2,50	15,67	6,43
	45	0,73	12,00	14,57	21,00	42,60	2,43	13,00	5,67

MOS = matéria orgânica do solo; CTC = capacidade de troca de cátions a pH 7,0.