

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE DOUTORADO**

**ARQUITETURA RADICULAR E RELAÇÕES HÍDRICAS DE
PLANTAS CÍTRICAS**

Thaís Nascimento Meneses

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
2019**

ARQUITETURA RADICULAR E RELAÇÕES HÍDRICAS DE PLANTAS CÍTRICAS

**Thaís Nascimento Meneses
Engenheira Agrônoma
Universidade Federal de Sergipe, 2013**

**Tese apresentada ao Colegiado do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia,
como requisito parcial para obtenção do Título
de Doutor (a) em Engenharia Agrícola, área de
concentração em Agricultura Irrigada e
Recursos Hídricos.**

Orientador: Prof. Dr. Maurício Antônio Coelho Filho

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
2019**

FICHA CATALOGRÁFICA

M543a	<p>Meneses, Thais Nascimento. Arquitetura radicular e relações hídricas de plantas cítricas / Thais Nascimento Meneses._ Cruz das Almas, BA, 2019. 92f.; il.</p> <p>Orientador: Maurício Antônio Coelho Filho.</p> <p>Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas.</p> <p>1.Plantas cítricas – Cultivo. 2.Plantas e água. 3.Física do solo – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.</p> <p>CDD: 634.3</p>
-------	---

Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas – UFRB.
Responsável pela Elaboração – Antonio Marcos Sarmiento das Chagas (Bibliotecário – CRB5 / 1615).
Os dados para catalogação foram enviados pela usuária via formulário eletrônico.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE DOUTORADO**

**ARQUITETURA RADICULAR E RELAÇÕES HÍDRICAS DE PLANTAS
CÍTRICAS**

Comissão Examinadora da Defesa de Tese
Thaís Nascimento Meneses

Prof. Dr. Maurício Antônio Coelho Filho
Embrapa Mandioca e Fruticultura
Orientador

Prof. Dr. Luciano da Silva Souza
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Examinador Interno

Prof. Dr. Abelmon da Silva Gesteira
Embrapa Mandioca e Fruticultura
Examinador Externo

Prof. Dr. Laercio Duarte Souza
Embrapa Mandioca e Fruticultura
Examinador Externo

Prof. Dr. Pedro Roberto Almeida Viegas
Universidade Federal de Sergipe
Examinador Externo

DEDICATÓRIA

Às mulheres de minha família,
grandes colaboradoras e incentivadoras
Gratidão e amor.

A todas as mulheres da engenharia,
fonte de inspiração
Juntas podemos ir além.

A Rafael, meu grande amor,
pela atenção, valorização e apoio constante
para que nosso caminhar seja leve

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À minha família, porque o amor é a melhor parte de qualquer tese.

Ao professor Mauricio Coelho, pela orientação, entusiasmo e confiança. Aos pesquisadores colaboradores deste trabalho, Dr. Hermes Peixoto Santos Filho, Dr. Orlando Sampaio Passos, Dr. José Eduardo Borges de Carvalho, Dr. Walter Soares Santos Filho e Dr. Abelmon da Silva Gesteira.

À UFRB, ao PPGEA e seu corpo docente, pela oportunidade de realização do curso, formação recebida e transferência de conhecimento. Aos colegas de curso, pelas horas de convivência e aprendizado.

À EMBRAPA-CNPMPF, ao Laboratório de Ecofisiologia e a todos do convívio do trabalho, em especial, Alcides, Antônio, Antônio Neves, Antônio Santana, Amadeu, Bruno, Caique, Caliane, Celeste, Carlos, Crispim, Elaine, Elisson, Flávia, Gabriel, Getúlio, José Carlos, Jucélio, Jorge Vieira, Luana Laís, Mabel, Manuel, Márcio, Natanael, Ocimar, Pedro, Reinaldo, Renei, Roque, Tamires e Tibério. Obrigada pela estrutura de pesquisa, apoio técnico e instrumental, parceria e colaboração.

À Fazenda Lagoa do Coco, Roberto Shibata e família, pelo espaço destinado a favor da ciência, um verdadeiro laboratório vivo para a citricultura baiana.

À FABESP, à CAPES e ao CNPq, por todo apoio e suporte necessários para a realização desta pesquisa.

Aos amigos que Cruz das Almas me proporcionou, Aline Bezerra, Antônio Ramos, Cássia, Duda, Edilson, Elly, Mara, Mairi, Maria Lúcia, Leandra, Leliete, Leo, Luana Bião, Sidnara, Sileia e Tamires Villa Verde, por tornarem essa trajetória cheia de alegria e superação.

Aos amigos de Aracaju, pelo companheirismo de longas datas.

Agradecida pela oportunidade de crescer e poder me desafiar como profissional.

ARQUITETURA RADICULAR E RELAÇÕES HÍDRICAS DE PLANTAS CÍTRICAS

RESUMO: A arquitetura radicular afeta o crescimento da planta e a sua produção agrícola. Embora esteja relacionada a fatores genéticos, limitações hídricas e físicas do solo, podem reduzir o volume do raizame e do solo explorado, comprometendo assim, o desenvolvimento vegetal e produtivo. Com objetivo de avaliar a arquitetura radicular e as relações hídricas de plantas cítricas quanto à tolerância a seca e a impedimentos físicos no solo, experimentos foram conduzidos em campo e em casa de vegetação, com o uso de práticas de manejo que incluíram a semeadura direta do porta-enxerto no local definitivo do pomar, a subsolagem, a diversificação de porta-enxertos, e a criação de macroporos artificiais, que visam minimizar essas limitações físico-hídricas. As plantas foram submetidas ao secamento contínuo do solo compactado em colunas estratificadas de policloreto de vinila (PVC), sob condições controladas, e ao cultivo de sequeiro, em condições de campo, em solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. Foram avaliados o crescimento da parte aérea, a arquitetura radicular e as relações hídricas a partir de medidas de umidade do solo e medidas fisiológicas. Em condição de campo, também foi avaliada a produção inicial de frutos. Os resultados dos estudos em campo (Capítulos I e II) confirmam que, independente das práticas de manejo adotadas, a distribuição do sistema radicular é caracterizada pela superficialização imposta pelos horizontes coesos, com concentração nos primeiros 0,40 m de profundidade, sobre a projeção da copa, sendo as respostas iniciais similares às de longo prazo. Dentre as práticas de manejo adotadas, para as condições de estudo, o plantio de muda protegida (PM), produzida em viveiro telado, e o porta-enxerto limoeiro 'Cravo' (LC) foram mais eficazes na extração de água do solo, associada ao maior vigor de raiz e da parte aérea, sendo também atribuído a esse porta-enxerto a maior produção inicial de frutos. A umidade nos primeiros 0,40 m do solo, juntamente com as raízes superiores, deve ser o melhor indicador para o vigor, a produtividade e o status hídrico da planta cultivada em condições de sequeiro. A estrutura do solo é preponderante para o desenvolvimento radicular, e o uso de macroporos artificiais (Capítulo III) servem como caminho de menor resistência para o crescimento radicular do limoeiro 'Cravo Santa Cruz' em colunas de solo compactadas, no entanto, seu número e distribuição não influenciaram o crescimento da parte aérea e o volume de raiz, provavelmente devido a exploração do solo na camada superior, na condição controle.

Palavras-chave: Citricultura; Raiz; Solos coesos; Tolerância à Seca

ROOT ARCHITECTURE AND WATER RELATIONS OF CITRIC PLANTS

ABSTRACT: Root architecture affects the growth of the plant and its agricultural production, although it is related to genetic factors, water and physical limitations of the soil can reduce the rooting volume and of soil explored, thus compromising the vegetal and productive development. With the objective of evaluating root architecture and water relations of citrus plants regarding drought tolerance and physical impediments in the soil, experiments were conducted in the field and in greenhouse, using management practices, which included direct seeding of the rootstock at the final site of the orchard, subsoiling, the diversification of rootstocks, and the most recent, the creation of artificial macropores, aiming to minimize these physical-water limitations. The plants were submitted to the continuous drying of the compacted soil in polyvinyl chloride (PVC) laminated columns under controlled conditions, and to the rainfed cultivation, under field conditions, in cohesive soils of Coastal Trails. The growth of the area, the root architecture and the water relations were evaluated through measurements of soil moisture and physiological measurements. In the field condition, the initial production of fruits was also evaluated. The results of the field studies (Chapter I and II) confirm that, independent of the management practices adopted, the root system distribution is characterized by the superficiality, imposed by the cohesive horizons, with a concentration of the first 0.40 m depth, on the projection of the crown, the initial responses being similar to those of the long term. Among the management practices adopted, planting of protected seedlings (PM) grown in a screened nursery, and 'Cravo' lime rootstock (LC), were more effective in the extraction of water from the soil to the greater root vigor and aerial part, being also attributed to this rootstock the greater initial production of fruits. Moisture in the first 0.40 m of the soil along with the upper roots should be the best indicator for vigor, productivity and water status of the plant, grown under rainfed conditions. The soil structure is preponderant for root development, and the use of artificial macropores (Chapter III) serve as channels of lower resistance for the root growth of 'Cravo Santa Cruz' lime in compacted soil columns, however their number and distribution did not influence the growth of the area and root volume, probably due to the exploitation of the soil in the upper layer, in the control condition.

Keywords: Citriculture; Root; Soil Cohesive; Drought Tolerance

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. Valores médios e barras de erro padrão da densidade de comprimento de raiz (A) da combinação laranjeira 'Pera' [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] / limoeiro 'Cravo' (*C. limonia* Osbeck), aos 15 meses de formação do pomar, em diferentes formas de preparo do solo (com subsolagem - CS e sem subsolagem - SS) e tipos de plantio (mudas produzidas em ambiente protegido - PM e plantio de sementes no local definitivo – PS e diâmetro médio de raiz (B) ao longo do solo perfil do solo. Fazenda Lagoa do Coco, Rio Real - Bahia, Brasil, setembro de 2016.....22

Figura 2. Media e erro padrão do comprimento total de raiz (A) e comprimento de raiz para as classes de diâmetro 0-1 mm (B) e > 2 mm (C) da combinação laranjeira 'Pera' [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck]/limoeiro 'Cravo' (*C. limonia* Osbeck), em diferentes tipos de preparo do solo (com subsolagem – CS ou sem subsolagem – SS) e tipos de plantio (mudas produzidas em ambiente protegido – PM e plantio de sementes no local definitivo – PS) ao longo do perfil do solo. Fazenda Lagoa do Coco, Rio Real, Bahia, setembro de 2016.....23

CAPÍTULO II

Figura 1. Balanço hídrico sequencial mensal dos anos de 2017 e 2018, do município de Rio Real –BA.....34

Figura 2. Umidade do solo em função dos plantios de semente (PS) e de muda protegida (PM) associados aos manejos com (CS) e sem subsolagem (SS) ao longo do perfil do solo, em janeiro de 2017 (A) e dos manejos isoladamente em março de 2017 e fevereiro de 2018 (B). Fazenda Lagoa do Coco, BA.....40

Figura 3. Umidade do solo ao longo do perfil, em diferentes épocas de avaliação, em função do plantio de muda (PM) e plantio de semente (PS). Fazenda Lagoa do Coco, BA.....41

Figura 4. Resistência mecânica à penetração do solo em função do plantio de sementes (PS) e do plantio de muda protegida (PM) em agosto de 2018 (A) e fevereiro de 2019 (B). Fazenda Lagoa do Coco, BA.....42

Figura 5. Temperatura foliar (Tf) do limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LC) e da tangerineira 'Sunki Tropical' (TSKT), em diferentes épocas de avaliação. Fazenda Lagoa do Coco, BA.....43

Figura 6. Temperatura foliar (Tf) em função dos tipos de plantio (plantio de mudas protegidas – PM e plantio de sementes no local definitivo – PS) e do preparo inicial do solo (com subsolagem- CS e sem subsolagem - SS) nas diferentes épocas de avaliação. Fazenda Lagoa do Coco, BA.....43

Figura 7. Altura (H), diâmetro do caule inferior (DI), volume da copa (VC), índice de vigor vegetativo (IVV), taxa de cobertura da copa, na linha (TCCL) e entrelinha (TCCE), do limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LC) e da tangerineira 'Sunki Tropical' (TSKT), ao longo das épocas de avaliação. Fazenda Lagoa do Coco, BA.....44

Figura 8. Produção (kg planta⁻¹), produtividade (t ha⁻¹) e número de frutos (NF) sob diferentes combinações de porta-enxerto (Limoeiro 'Cravo Santa Cruz' - LC e Tangerineira 'Sunki Tropical'-TSKT) e de manejo do solo (com subsolagem – CS e sem subsolagem - SS), safra 2018. Fazenda Lagoa do Coco, BA..... 45

Figura 9. Peso médio de frutos, interação dupla entre o manejo do solo e porta-enxertos (A), entre porta-enxertos e tipos de plantio (B) e manejo do solo e o tipo de plantio (C). Fazenda Lagoa do Coco, BA.....45

Figura 10. Distribuição da densidade do comprimento de raiz (DCR), em cm cm⁻³, no perfil longitudinal e ortogonal à fileira de plantas, da laranjeira 'Pera', sob plantio de semente (PS) e plantio de muda (PM). Fazenda Lagoa do Coco, BA.....46

Figura 11. Comprimento total de raiz (A), diâmetro médio total de raiz (B), comprimento total de raiz na classe de diâmetro < 2 mm (C) e > 2 mm (D), no perfil longitudinal à fileira de plantas, de laranjeira 'Pera', sob plantio de semente (PS) e plantio de muda (PM). Fazenda Lagoa do Coco, BA.....47

Figura 12. Distribuição do comprimento específico de raiz (SRL), em cm g⁻¹, no perfil longitudinal e ortogonal à fileira de plantas, da laranjeira 'Pera', sob diferentes combinações de porta-enxerto, Limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LC) e Tangerineira 'Sunki Tropical'(TSKT). Fazenda Lagoa do Coco, BA.....48

Figura 13. Distribuição da massa seca de raiz (MSR), em g, no perfil longitudinal e ortogonal à fileira de plantas, da laranjeira 'Pera'. Fazenda Lagoa do Coco, BA.....49

CAPÍTULO III

Figura 1. Desenho esquemático das unidades experimentais.....65

Figura 2. Desenho esquemático das unidades experimentais.....66

Figura 3. Desenho esquemático das unidades experimentais.....67

Figura 4. Desenho esquemático dos tratamentos em campo.....69

Figura 5. Imagens do corte longitudinal sequencial dos tratamentos Controle (Ctrl) (A), Compactado com um macroporo artificial vertical (1MA) (B), Compactado com três macroporos artificiais verticais (3MA) (C); Compactado com cinco macroporos artificiais verticais (5MA) (D) e Compactado (Comp) (E), aos 150 dias após o transplante do limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (C. limonia Osbeck).....71

Figura 6. Comprimento de raiz em diferentes classes de diâmetro (< 0,5; 0,5-1,0; 1,0-1,5; 1,5-2,0; 2,0-2,5; 2,5-3,0; 3,0-4,0; 4,0-4,5; >4,5 mm) do limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (C. limonia Osbeck), em função dos tratamentos, Controle (Ctrl), Compactado (Comp), Compactado com um macroporo artificial vertical (1MA), Compactado com três macroporos artificiais verticais (3MA) e Compactado com cinco macroporos artificiais verticais (5MA), aos 150 dias após o transplântio (DAT), com destaque para as classes < 0,5 e >4,5 mm..... 72

Figura 7. Altura (H), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e a área foliar (AF) dos tratamentos, Controle (Ctrl), Compactado (Comp), Compactado com um macroporo artificial vertical (1MA), Compactado com três macroporos artificiais verticais (3MA) e Compactado com cinco macroporos artificiais verticais (5MA), em função de dias após o transplântio (DAT)..... 73

Figura 8. Comprimento total de raiz (CTR), (A), densidade de comprimento de raiz (DCR), (B) e comprimento específico de raiz (SRL), (C), do limoeiro 'Cravo Santa Cruz', em função dos tratamentos, Controle (Ctrl), Controle na camada superior e compactado na camada inferior (Ctrl:Comp), Compactado (Comp), Compactado com um macroporo artificial vertical (1MA) e Compactado na camada superior e areia na camada inferior (Comp:areia), aos 150 dias após o transplântio (DAT)..... 74

Figura 9. Comprimento de raiz em diferentes classes de diâmetro (< 0,5; 0,5-1,0; 1,0-1,5; 1,5-2,0; 2,0-2,5; 2,5-3,0; 3,0-4,0; 4,0-4,5; >4,5 mm) do limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (C. limonia Osbeck), em função dos tratamentos, Controle (Ctrl), Controle na camada superior e compactado na camada inferior (Ctrl:Comp), Compactado (Comp), Compactado com um macroporo artificial vertical (1MA) e Compactado na camada superior e areia na camada inferior (Comp:areia), aos 150 dias após o transplântio (DAT)..... 75

Figura 10. Fotossíntese líquida (A), condutância estomática ao vapor de água (gs); transpiração (E) e concentração interna de carbono (Ci) do limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (C. limonia Osbeck), em função dos tratamentos, Controle (Ctrl), Controle na camada superior e compactado na camada inferior (Ctrl:Comp), Compactado (Comp), Compactado com um macroporo artificial vertical (1MA) e Compactado na camada superior e areia na camada inferior (Comp:areia), em diferentes avaliações..... 76

Figura 11. Relação entre fração de água transpirável (FAT) e transpiração (E) do limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (C. limonia Osbeck), em função dos tratamentos, Controle (Ctrl), Controle na camada superior e compactado na camada inferior (Ctrl:Comp), Compactado (Comp), Compactado com um macroporo artificial vertical (1MA) e Compactado na camada superior e areia na camada inferior (Comp:areia), durante o período de duração do déficit hídrico..... 77

Figura 12. Umidade do solo nas camadas dos tratamentos Controle (Ctrl), Controle na camada superior e compactado na camada inferior (Ctrl:Comp), Compactado (Comp), Compactado com um macroporo artificial vertical (1MA) e Compactado na camada superior e areia na camada inferior (Comp:areia), ao longo das avaliações..... 78

Figura 13. Altura (H), diâmetro do caule (DC), a área foliar (AF), e número de folhas (NF), dos tratamentos, Compactado com um macroporo artificial vertical e Controle (1MA:Ctrl) e Compactado (Comp), em função de dias após o transplântio (DAT)...78

Figura 14. Imagem do corte longitudinal sequencial dos tratamentos Compactado com um macroporo artificial vertical e Controle (1MA:Ctrl) e Compactado (Comp) (A); Comprimento total de raiz (CTR), comprimento específico de raiz (SRL), densidade do comprimento de raiz (DCR) e comprimento de raiz na classe de diâmetro < 0,5 mm (B), aos 150 dias após o transplântio (DAT).....79

Figura 15. Fotossíntese líquida (A), condutância estomática ao vapor de água (gs); concentração interna de carbono (Ci) e transpiração (E) do limoeiro 'Cravo Santa Cruz', em função dos tratamentos, Compactado com um macroporo artificial vertical na camada superior e controle na camada inferior (1MA:Ctrl) e Compactado (Comp) aos 64 e 94 dias após o transplântio (DAT).....80

Figura 16. Umidade volumétrica do solo nas camadas, superior (S) e inferior(I), dos tratamentos compactado com um macroporo artificial vertical e controle (1MA:Ctrl) e compactado (Comp), ao final do experimento.....80

Figura 17. Diâmetro do caule inferior (DI), diâmetro do caule superior (DS), volume de copa (VC), índice de vigor vegetativo (IVV), taxa de cobertura da copa na entrelinha (TCCE), taxa de cobertura da copa na linha (TCCL) e altura (H) de plantas jovens de Laranjeira 'Pera', submetidas a quatro tratamentos (controle-Ctrl, três macroporos artificiais-3MA, seis macroporos artificiais-6MA e nove macroporos artificiais-9MA), em três avaliações, 30/01/2018, 23/10/2018 e 17/01/2019. Cruz das Almas, BA.....81

Figura 18. Fotossíntese (A) e condutância estomática (gs) de plantas jovens de laranjeira 'Pera', submetidas a quatro tratamentos (controle-Ctrl, três macroporos artificiais-3MA, seis macroporos artificiais-6MA e nove macroporos artificiais-9MA), em 05/10/2018. Cruz das Almas, BA.....82

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Distribuição de areia, silte e argila, classe textural, densidade do solo (D_s), condutividade hidráulica (K_0) e resistência à penetração (RPM) ao longo do perfil de um Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico. Fazenda Lagoa do Coco, BA, Brasil..... 19

Tabela 2. Caracterização química do solo da área experimental. Fazenda Lagoa do Coco, BA, Brasil..... 19

Tabela 3. Média da altura (H), do diâmetro do porta-enxerto (DPE), do volume de copa (VC), índice de vigor vegetativo (IVV), taxa de cobertura da copa na linha (TCCL) e na entrelinha (TCCE) de plantio, da laranjeira 'Pera' [*C. sinensis* (L.) Osbeck] sobre o limoeiro 'Cravo' (*C. limonia* Osbeck), aos 18 meses, em diferentes tipos de preparo do solo (com subsolagem – CS ou sem subsolagem – SS) e tipos de plantio (mudas produzidas em ambiente protegido – PM e plantio de sementes no local definitivo – PS). Fazenda Lagoa do Coco, Rio Real, Bahia, dezembro de 2016.....22

Tabela 4. Médias do comprimento total das raízes (CRT), densidade do comprimento radicular (DCR), diâmetro médio (DR) e comprimento radicular das classes de diâmetro (0,0-1,0, 1,0-2,0 e > 2 mm) de laranja 'Pera' [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] / combinações de limoeiro Cravo (*C. limonia* Osbeck), sob diferentes formas de preparo do solo (com subsolagem - CS e sem subsolagem - SS) e tipos de plantio (mudas produzidas em ambiente protegido – PM e plantio de sementes no local definitivo – PS). Fazenda Lagoa do Coco, Rio Real, Bahia, setembro de 2016.....23

CAPÍTULO III

Tabela 1. Retenção de água no solo mantida pela relação entre potencial e umidade volumétrica (θ), condutividade hidráulica saturada (K_{0Sat}), densidade (D_s) e porosidade, ao longo do perfil de um Latossolo amarelo coesivo distrófico. Campo experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, BA, 2016.....69

SUMÁRIO

RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	12
3. HIPÓTESES	13
4. CAPÍTULO I	14
INTRODUÇÃO	16
MATERIAL E MÉTODOS	17
RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
CONCLUSÕES	27
AGRADECIMENTOS	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
5. CAPÍTULO II	30
INTRODUÇÃO	32
MATERIAL E MÉTODOS	34
RESULTADOS	39
DISCUSSÃO	49
CONCLUSÕES	54
AGRADECIMENTOS	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
6. CAPÍTULO III	60
INTRODUÇÃO	62
MATERIAL E MÉTODOS	63
RESULTADOS	71
DISCUSSÃO	82
CONCLUSÕES	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
APÊNDICE A	89
APÊNDICE B	90

1. INTRODUÇÃO

A arquitetura radicular pode ser definida como a configuração do sistema radicular de uma planta, essencial para aquisição de recursos no solo, cujo crescimento e estrutura apresentam plasticidade e interação dinamicamente com uma grande variedade de fatores físicos, químicos e biológicos no solo, que variam no tempo e no espaço (LYNCH, 1995).

A importância das raízes é descrita por Rezende, Shibata e Souza (2015) como sede de processos metabólicos essenciais ao desenvolvimento vegetal, a saber: absorção de água e nutrientes; produção de aminoácidos, proteínas, hormônios e outras substâncias orgânicas; excreção de açúcares, ácidos orgânicos e componentes minerais, que contribuem para a dissolução de substâncias minerais e para o desenvolvimento de microorganismos na rizosfera; exerce influência ativa na passagem de íons absorvidos no meio em que se encontra, suprindo a parte aérea da planta com produtos de conversão; contribui para a agregação de partículas do solo; abre canais ao longo do perfil do solo e beneficia sua estrutura.

Os citros possuem sistema radicular do tipo pivotante, desde que sua raiz primária formada após a germinação não seja danificada. A partir desta, podem ocorrer ramificações diversas vezes. Geralmente, essas raízes secundárias são de dois tipos: a) pioneiras, que se caracterizam por um maior tamanho e diâmetro; e b) raízes ramificadas, mais finas e filamentosas, formando um sistema fasciculado (CASTRO NETO, 2013). O sistema radicular da planta cítrica comercial depende do porta-enxerto utilizado (CARVALHO et al., 2016), assim como das condições do clima e do solo (SOUZA et al., 2008), sistemas de irrigação e manejo da cultura (COELHO et al., 2008).

A cultura dos citros é muito vulnerável aos rigores climáticos e são vários os fatores relacionados à maior ou menor tolerância dos citros à seca, entre eles, o volume de raízes, bem como sua distribuição no solo, devido a estreita relação desse órgão com a absorção de água e a exploração dos recursos do solo (CINTRA, 2006; SAMPAIO et al., 2016). Entre as implicações do meio físico, os quais atuam sobre o desenvolvimento do sistema radicular das plantas cítricas em solos de Tabuleiros Costeiros, os horizontes coesos e seus efeitos sobre a resistência mecânica do solo à penetração, má oxigenação e baixa disponibilidade de água para as plantas, durante os períodos de seca, estão entre os mais importantes (CINTRA, 2011).

A presença de horizontes coesos constitui-se um dos principais fatores responsáveis pela quebra do equilíbrio nas relações solo-água-ar-plantas, em função dos elevados índices de resistência mecânica e densidade do solo (CINTRA, 2011). Associado a isso, o tráfego de máquinas e a compactação do solo que ocorrem próximo à copa das plantas de citros aumentam as restrições físicas do solo ao crescimento das raízes (FIDALSKI; TORMENA; SILVA, 2007). O restrito crescimento radicular em profundidade, devido ao impedimento físico associado a baixa armazenagem de água no perfil, reflete na baixa produtividade e longevidade dos citros cultivados nessa unidade geomorfológica (SOUZA et al., 2008; REZENDE, 2011).

Neste sentido, o conhecimento dos fatores físicos do solo que limitam o crescimento radicular devido a impedimentos físicos causados pela compactação do solo é de grande importância para o ajuste de práticas de manejo agrícola, de acordo com as especificidades dos ambientes de produção.

Desse modo, considerando as limitações da citricultura dos Tabuleiros Costeiros, a avaliação da arquitetura radicular e as relações hídricas de plantas cítricas, quanto à tolerância à seca, e a impedimentos físicos no solo, favorecerá ao manejo adequado para as condições edáficas citadas, no sentido de promover melhorias na qualidade físico-hídrica do solo e favorecer o aprofundamento do sistema radicular dos citros, a fim de aumentar o desempenho da cultura.

2. OBJETIVOS

Objetivo Geral

Avaliar a arquitetura radicular e as relações hídricas de plantas cítricas quanto à tolerância à seca e a impedimentos físicos do solo.

Objetivos Específicos

Capítulo I

Avaliar a distribuição radicular e o crescimento inicial da laranjeira 'Pera' submetida a diferentes tipos de plantio e preparos do solo no pomar em formação, estabelecido na unidade de paisagem dos Tabuleiros Costeiros da Bahia.

Capítulo II

Avaliar a influência de dois porta-enxertos, dois tipos de plantio e da subsolagem, na distribuição radicular, fisiologia, vigor vegetativo e produção inicial de plantas jovens de laranjeira 'Pera' cultivadas em solo coeso de Tabuleiro Costeiro da Bahia; e

Verificar a(s) prática(s) de manejo agrícola que maximiza o crescimento radicular em profundidade.

Capítulo III

Avaliar em ambiente protegido e em campo o efeito de macroporos artificiais nas camadas compactadas/adensadas de solo, quanto ao vigor vegetativo e a arquitetura radicular de plantas jovens de laranjeira 'Pera'; e

Verificar se a distribuição de macroporos artificiais nestas camadas influenciam na exploração do volume de solo pelas raízes.

3. HIPÓTESES

Capítulo I

A arquitetura original do sistema radicular se mantido intacto confere a planta cítrica maior aprofundamento radicular e vigor vegetativo, independente da subsolagem, em solo coeso dos Tabuleiros Costeiros.

Capítulo II

Independente do porta-enxerto e da subsolagem, a arquitetura original do sistema radicular intacto confere a planta cítrica maior aprofundamento radicular e maior tolerância à seca, em fase juvenil do pomar, estabelecido na unidade de paisagem dos Tabuleiros Costeiros da Bahia.

Capítulo III

Macroporos artificiais constituem canais de menor resistência ao enraizamento em solos com alta compactação; e

A distribuição de macroporos artificiais em camadas compactadas e/ou adensadas do solo influencia no crescimento radicular e no volume de solo explorado pelas raízes.

4. CAPÍTULO I

CRESCIMENTO INICIAL DA LARANJEIRA 'PERA' SOB DIFERENTES TIPOS DE PLANTIO E PREPAROS DO SOLO ¹

¹ Artigo traduzido e submetido ao Comitê Editorial do periódico científico a revista: Journal of Agricultural Science

CRESCIMENTO INICIAL DA LARANJEIRA 'PERA' SOB DIFERENTES TIPOS DE PLANTIO E PREPAROS DO SOLO

RESUMO: O trabalho teve como objetivo avaliar o vigor vegetativo e a arquitetura radicular da combinação laranjeira 'Pera CNPMF-D6'/limoeiro 'Cravo' em estádios iniciais de desenvolvimento a campo, submetidas a diferentes tipos de plantio (plantio de mudas produzidas em ambiente protegido - PM e plantio de sementes no local definitivo - PS) e de preparos do solo (com subsolagem e sem subsolagem). O experimento foi conduzido na Fazenda Lagoa do Coco, Rio Real, Bahia. Avaliações biométricas foram realizadas para as estimativas das variáveis: volume de copa (VC), índice de vigor vegetativo (IVV) e taxas de cobertura da copa na linha (TCCL) e na entre linha de plantio (TCCE). Também, foram coletadas amostras de raízes até a profundidade de 1,45 m em cinco pontos na linha de plantio. As raízes foram digitalizadas e processadas, obtendo-se a densidade do comprimento de raiz (DCR), o diâmetro médio de raiz (DR) e as classes de diâmetro. As plantas produzidas em ambiente protegido apresentam maior desenvolvimento vegetativo e radicular quando comparadas à semeadura no local definitivo, pelo menos para o pomar jovem e sob condições de sequeiro. A subsolagem não afetou a distribuição do sistema radicular e o PM favoreceu o aumento da CTR ao longo do perfil do solo em relação ao PS, para todas as classes de diâmetro avaliadas, contribuindo para o aumento do vigor vegetativo observado nas plantas. Independentemente das práticas de manejo adotadas, as raízes se concentram nos primeiros 0,35 m de profundidade, devido ao impedimento físico promovido pela presença de horizontes coesos.

Palavras-chave: Muda Cítrica; Sistema Radicular; Solos Coesos; Subsolagem

SUBSOILING AND PLANTING METHOD ON THE INITIAL GROWTH OF 'PERA' ORANGE

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate the vegetative vigor and root architecture of 'Pera CNPMF D-6' sweet orange grafted on Rangpur lime at early stage of development, submitted to different planting methods (planting of nursery trees produced in a protected environment - PNT and planting of seeds at the definitive place - PS) and soil preparation with subsoiling and without subsoiling. The experiment was carried out at the Lagoa do Coco Farm, Rio Real, Bahia, Brazil. Biometric evaluations were performed to estimate the variables: crown volume (CV), vegetative vigor index (VVI) and canopy cover rates in the planting row (CCR-R) and interrow (CCR-I). Root samples were also collected up to a depth of 1.45 m at five points in the planting row. The roots were digitized and processed to obtain total root length (TRL), root length density (RLD), average root diameter (RD) and root length for the diameter classes. Plants produced in protected environment exhibit greater vegetative and root development compared to those produced by sowing at the definitive place, at least for the young orchard and under rainfed conditions. Subsoiling did not affect root system distribution and PNT favored the increase in TRL along the soil profile compared to PS, for all diameter classes evaluated, contributing to the increase in vegetative vigor observed in the plants. Regardless of the management practices

adopted, roots were concentrated in the first 0.35 m, due to physical impediment caused by the presence of cohesive horizons.

Keywords: Nursery Tree; Root System; Cohesive Soils; Subsoiling

INTRODUÇÃO

A citricultura tem grande importância econômica no mundo e no Brasil, gera milhares de empregos diretos e indiretos e contribui para o fortalecimento da economia dos países produtores (NEVES, 2010). Em 2017, o Brasil produziu 17.459.908 toneladas de laranja [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck]. A região Nordeste teve participação de 7,25% nesta produção, com 1.266.525 toneladas de laranja produzidas, o Estado da Bahia foi responsável pela produção de 665.986 toneladas desse total (IBGE, 2017).

Dentre as cultivares de laranjeiras doces, a 'Pera' (*C. sinensis*), utilizada para indústria de suco e consumo in natura, é a cultivar mais produzida e consumida no Brasil, ocupando quase o total das áreas cultivadas nos Estados da Bahia e de Sergipe (PASSOS; CUNHA SOBRINHO; SOARES FILHO, 2013).

No Nordeste brasileiro, a produção citrícola está estabelecida nos Tabuleiros Costeiros, formações terciárias localizadas ao longo da faixa sedimentar costeira do Brasil, em área estimada de 8,42 milhões de hectares, cujas principais características são as superfícies planas a suave onduladas, solos profundos, com caráter coeso em grande parte de seus horizontes (MARTINS; TEODORO; CAVALHO, 2014; REZENDE; SHIBATA; SOUZA, 2015). Entre as implicações do meio físico que atuam sobre o desenvolvimento do sistema radicular de plantas cítricas nessa unidade geomorfológica, os horizontes coesos e seus efeitos sobre o aumento da resistência mecânica do solo, a má oxigenação e a baixa armazenagem de água, durante a estação seca, estão entre os mais importantes (CINTRA, 2006 e 2011).

Estudos anteriores demonstraram que um melhor entendimento sobre a distribuição do sistema radicular contribuirá para o aumento da produtividade e da longevidade dos citros, principalmente em solos com horizontes coesos subsuperficiais (SOUZA et al., 2006; SANTANA et al., 2006, SOUZA et al., 2008, ZACCHEO et al., 2012), mesmo em áreas onde a subsolagem convencional foi realizada para implantação dos pomares (MEDEIROS et al., 2013).

A qualidade da muda cítrica é crucial para as árvores perenes e explica a maior variabilidade do vigor e rendimento das plantas no campo (DAVOGLIO JUNIOR; BORDIN; NEVES, 2006). A baixa qualidade das mudas produzidas em viveiros telados pode estar relacionada à problemas associados à seleção adequada, como por exemplo, a necessidade de descarte das plântulas zigóticas para garantir o potencial genético da variedade do porta-enxerto e descarte de mudas que apresentem malformação radicular.

Tradicionalmente o processo de produção de mudas cítricas (PM) pode ocasionar além do enovelamento, sucessivos cortes nas raízes nos transplantios (sementeira/viveiro/pomar); conseqüentemente, a raiz pivotante perde a dominância e é substituída por um sistema radicular fasciculado que tende a se concentrar nos horizontes superficiais, o que contribui para a vulnerabilidade dos pomares às adversidades ambientais (REZENDE, 2011). Essa prática, segundo Baldassari, Goes e Tannuri (2003), implica na deformação morfológica do sistema radicular em plântulas cítricas, reduzindo seu potencial de crescimento após o transplante no campo.

Atualmente, estudos realizados em parceria com a citricultura baiana têm se concentrado na semeadura do porta-enxerto no local definitivo (PS), como forma de minimizar as restrições impostas por horizontes coesos. Segundo Rezende (2013) e Rezende, Shibata e Souza (2015), a arquitetura original do sistema radicular intacto promove maior aprofundamento radicular e maior tolerância à seca em citros, permitindo a exploração efetiva do solo. Melhorias na qualidade física do solo têm sido observadas na associação de plantio direto em citros com manejo do solo (FIDALSKI, 2009; GONZÁLEZ PEÑALOZA et al., 2012).

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o vigor vegetativo e a arquitetura do sistema radicular de plantas jovens de laranjeira 'Pera' submetidas a diferentes tipos de plantio e preparos do solo, visando reunir informações que possam auxiliar em futuras práticas de manejo agrícola.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização experimental: solo, clima e estabelecimento dos tratamentos

O trabalho foi realizado em área experimental cultivada com laranjeira 'Pera CNPMF-D6' enxertada sobre o limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (*C. limonia* Osbeck),

implantado em 2015 na Fazenda Lagoa do Coco, situada no município de Rio Real – Bahia (latitude 11°34'26" S, longitude 37°52'39" W e 170 m de altitude), em área de 16.128 m² (128 x 126 m) e espaçadas de 6,0 m x 2,0 m, sob condições de sequeiro.

O clima local pela classificação de Köppen, é do tipo 'As', quente e úmido, com temperatura média anual de 24,1°C e pluviosidade média anual de 1100 mm, com período chuvoso entre maio a julho, e mais seco entre outubro a dezembro. O solo é o Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico, de Tabuleiros Costeiros, com os atributos físico-hídricos e químicos expressos nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Distribuição de areia, silte e argila, classe textural, densidade do solo (Ds), condutividade hidráulica (K₀) e resistência à penetração (RPM) ao longo do perfil de um Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico. Fazenda Lagoa do Coco, BA, Brasil

Horiz/Prof (m)	Areia	Silte (g kg ⁻¹)	Argila	Classe Textural	Ds (g cm ⁻³)	K ₀ (cm h ⁻¹)	RPM (MPa)
A 0,00-0,18	30	58	196	Franco-arenosa	1,48	0,84	1,07
AB 0,18-0,39	32	72	202	Franco-argiloarenosa	1,61	0,47	2,74
BA 0,39-0,68	21	63	276	Franco-argiloarenosa	1,75	0,09	5,25
BW1 0,68-1,07	29	36	320	Franco-argiloarenosa	1,41		
BW2 1,07-1,65+	31	60	316	Franco-argiloarenosa	1,50		

Fonte: Calfa (2010)

Tabela 2. Caracterização química do solo da área experimental. Fazenda Lagoa do Coco, BA, Brasil

Prof. (m)	pH em H ₂ O	MO (g kg ⁻¹)	P (mg dm ⁻³)	K	Ca	Mg	Al	Na	H+Al	SB	CTC	V (%)
				————— (cmol _c dm ⁻³) —————								
0,00-0,20	6,3	11,0	5	0,08	2,25	0,43	0	0,05	1,21	2,81	4,02	70
0,20-0,40	6,1	8,0	2	0,05	1,42	0,39	0	0,05	1,21	1,91	3,12	61

MO, matéria orgânica; P, fósforo; K, potássio; Ca, cálcio; Mg, magnésio; Na, sódio; Al, alumínio; H+Al, acidez total; S, soma de bases; CTC, capacidade de troca catiônica; V, saturação por bases.

O experimento foi conduzido em faixas no delineamento em blocos casualizados, para facilitar as operações de mecanização do solo. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de dois tipos de plantio [plantio de mudas produzidas em ambiente protegido (PM) e plantio de sementes no local definitivo (PS)] e dois preparos do solo [com (CS) e sem subsolagem (SS) na profundidade de 0,75 m] com oito repetições. A parcela experimental foi constituída por cinco linhas de

plantio, com quatro plantas cada e, como parcela útil, foram consideradas as seis plantas centrais.

Os materiais propagativos (sementes, borbulhas e mudas protegidas) foram obtidos no Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura – CNPMF. Em ambos os tratamentos, a semeadura do porta-enxerto foi estabelecida na mesma época, com realização da enxertia por borbulhia um ano após a semeadura. A semeadura do porta-enxerto no local definitivo foi realizada em maio de 2014, início do período chuvoso, com o objetivo do maior aproveitamento da água da chuva. Foram inseridas de 15 a 20 sementes no sulco de plantio e, a partir do quinto mês, foi realizado o desbaste para descartar as plantas derivadas de embriões zigóticos e as plantas menos vigorosas. Em junho de 2015, foram realizadas as enxertias em campo e ao mesmo tempo o plantio das mudas produzidas em viveiro telado.

Avaliações da parte aérea da planta

Ao 18º mês após a implantação do pomar foram realizadas as medições: altura de plantas (m), diâmetro da copa na linha e na entrelinha de plantio (m) e os diâmetros dos caules dos porta-enxertos a 5 cm abaixo e acima do ponto de enxertia (mm), em um total de 16 plantas, sendo selecionada uma planta de cada parcela útil. As medidas foram realizadas com um auxílio de uma régua graduada e um paquímetro analógico.

A partir desses dados foram calculados, conforme Portella et al. (2016), a taxa de cobertura da copa na linha (TCCL), a taxa de cobertura da copa na entrelinha (TCCE), o índice de vigor vegetativo (IVV) e o volume médio da copa (VC), de acordo com as equações:

(1) $TCCL = (DL/E) \times 100$, expressa em porcentagem, em que, DL - diâmetro da copa na direção da linha de plantio (m) e E - espaçamento utilizado na linha de plantio (m);

(2) $TCCE = (DE/E) \times 100$, expressa em porcentagem, em que, DE - diâmetro da copa na direção da entrelinha (m) e E - espaçamento utilizado na entrelinha de plantio (m);

(3) $IVV = [H + DC + (DPE \times 1000)]/100$, adimensional, sendo, H - altura da planta (m); DC - diâmetro médio da copa (m) e DPE - diâmetro do tronco do porta-enxerto (mm);

(4) $VC = (\pi/6) \times H \times DL \times DE$, expressa em m^3 , sendo, H - altura da planta (m), DL - diâmetro da copa na direção da linha de plantio (m) e DE - diâmetro da copa na direção da entrelinha (m).

Avaliações do sistema radicular

Para os estudos de arquitetura radicular foram selecionadas 12 plantas, abrangendo os dois tipos de plantio (PS, PM) e as duas formas de preparo de solo (CS e SS), totalizando três repetições.

Aos 15 meses de formação do pomar, foram coletadas as amostras de solo com trado holandês (877 cm^3), em cinco pontos perpendiculares à linha de plantio, a 0,50 m do caule da planta e distanciados horizontalmente a cada 0,20 m, em cinco profundidades (0,0-0,15; 0,15-0,35; 0,35-0,60; 0,60-0,95 e 0,95-1,45 m). Estas posições de amostragem foram definidas em função dos horizontes classificados conforme Calfa (2010).

No laboratório, foi determinada a massa e a umidade das amostras e as raízes foram separadas do solo por imersão em água e peneiramento (malha de 2 mm), armazenadas em álcool a 30%, a 4 °C. Em seguida, foram digitalizadas em um scanner (EPSON Expression 11000 XL) com imagem de 400 dpi de resolução e processadas pelo software WinRhizo® Pro 2013 (Regent Instruments Canada Inc., Québec, Canada) para obtenção das variáveis: diâmetro médio da raiz (DR), classes de diâmetro (0,0-1,0; 1,0-2,0 e > 2 mm) e comprimento total de raiz (CTR). A densidade de comprimento de raiz (DCR) foi calculada pela razão entre o CTR de cada amostra e o volume de solo, este obtido a partir da relação massa/volume e da densidade do solo no perfil conforme Calfa (2010).

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo Teste F e ao teste de média de Tukey ($p < 0,05$) para serem comparados os efeitos dos fatores e os desdobramentos das interações para as variáveis estudadas, quando significativas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa entre os tipos de plantio e os tipos de preparo do solo para os parâmetros de crescimento da parte aérea. O plantio da muda

protegida (PM) favoreceu o crescimento do diâmetro do porta-enxerto (DPE) e o aumento do volume de copa (VC), do índice de vigor vegetativo (IVV) e das taxas de cobertura da copa na linha (TCCL), bem como, entre as linhas de plantio (TCCE), porém a altura (H) não diferiu com as práticas de manejo adotadas (Tabela 3).

Tabela 3. Média da altura (H), do diâmetro do porta-enxerto (DPE), do volume de copa (VC), índice de vigor vegetativo (IVV), taxa de cobertura da copa na linha (TCCL) e na entrelinha (TCCE) de plantio, da laranjeira ‘Pera’ [*C. sinensis* (L.) Osbeck] sobre o limoeiro ‘Cravo’ (*C. limonia* Osbeck), aos 18 meses, em diferentes tipos de preparo do solo (com subsolagem – CS ou sem subsolagem – SS) e tipos de plantio (mudas produzidas em ambiente protegido – PM e plantio de sementes no local definitivo – PS). Fazenda Lagoa do Coco, Rio Real, Bahia, dezembro de 2016

Fator	H (m)	DPE (mm)	VC (m ³)	IVV	TCCL (%)	TCCE (%)
Plantio (A)	0,294ns	0,001**	0,013*	0,002*	0,012*	0,015*
Subsolagem (B)	0,153ns	0,699ns	0,034*	0,035*	0,028*	0,070 ns
A x B	0,423ns	0,346ns	0,225ns	0,557ns	0,259 ns	0,660 ns
Plantio (A)						
Muda protegida	1,21 a	46,01 a	0,67 a	2,69 a	48,31 a	17,94 a
Semente	1,16 a	32,36 b	0,44 b	2,33 b	39,56 b	14,77 b
Subsolagem (B)						
Com subsolagem	1,15 a	38,59 a	0,46 b	2,40 b	40,25 b	15,25 a
Sem subsolagem	1,22 a	39,79 a	0,67 a	2,62 a	47,63 a	17,46 a
CV (%)	7,87	15,47	28,96	7,59	13,44	13,59

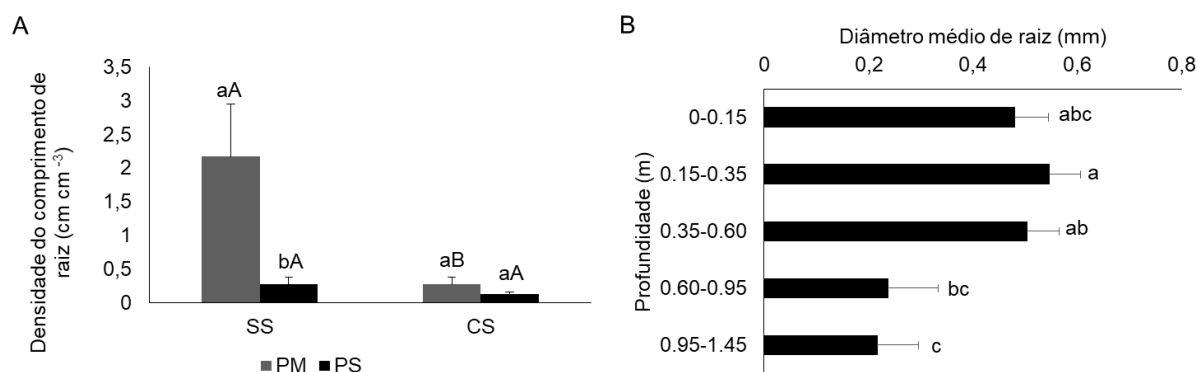
Nota: ** e * significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de Tukey, ns não significativo. As Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os tipos de plantio afetaram o comprimento total das raízes (CTR), a densidade de comprimento radicular (DCR) e as classes de diâmetro, com o plantio de mudas protegidas (PM) estatisticamente superior ao plantio de sementes no local definitivo (PS). Não houve efeito significativo da subsolagem, nem da interação subsolagem e tipo de plantio, exceto para a densidade de comprimento de raiz (DCR) (Tabela 4). Houve aumento de DCR devido ao plantio de mudas protegidas (PM) na condição sem subsolagem (SS) (Figura 1A). As práticas de manejo adotadas não afetaram o diâmetro médio da raiz (RD) (Tabela 4), com maior concentração nos primeiros 0,60 m (Figura 1B).

Tabela 4. Médias do comprimento total das raízes (CRT), densidade do comprimento radicular (DCR), diâmetro médio (DR) e comprimento radicular das classes de diâmetro (0,0-1,0, 1,0-2,0 e > 2 mm) de laranja 'Pera' [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] / combinações de limoeiro Cravo (*C. limonia* Osbeck), sob diferentes formas de preparo do solo (com subsolagem - CS e sem subsolagem - SS) e tipos de plantio (mudas produzidas em ambiente protegido – PM e plantio de sementes no local definitivo – PS). Fazenda Lagoa do Coco, Rio Real, Bahia, setembro de 2016.

Factor	CTR (cm)	CDR (cm cm ⁻³)	DR (mm)	Classes de diâmetro (mm)		
				0-1	1-2	>2
Plantio (A)	0.0002**	0.0046**	0.3724 ns	0.0003**	0.0039**	0.0366*
Subsolagem (B)	0.2496 ns	0.0175**	0.1748 ns	0.2531 ns	0.5710 ns	0.9366 ns
Profundidade (C)	0.0001**	0.0455*	0.0010**	0.0001**	0.0847 ns	0.0265*
A x B	0.0738 ns	0.0145*	0.2620 ns	0.0539 ns	0.9975 ns	0.9367 ns
A x C	0.0069**	0.1017 ns	0.4564 ns	0.0067**	0.5236 ns	0.0265*
B x C	0.3077 ns	0.1405 ns	0.3712 ns	0.2895 ns	0.1920 ns	0.6781 ns
A x B x C	0.6096 ns	0.2640 ns	0.0508 ns	0.6711 ns	0.0517 ns	1.0000 ns
Plantio(A)						
PM	37.18 a	1.22 a	0.42 a	33.99 a	2.56 a	0.62 a
PS	11.38 b	0.19 b	0.37 a	10.98 b	0.41 b	0.00 b
Subsolagem (B)						
CC	19.70 a	0.20 b	0.37 a	18.28 a	1.14 a	0.27 a
SS	28.86 a	1.22 a	0.42 a	26.68 a	1.83 a	0.35 a
CV (%)	98.65	186.98	56.89	98.76	183.04	357.87

Nota: ** e * significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de Tukey, ns não significativo. As Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).



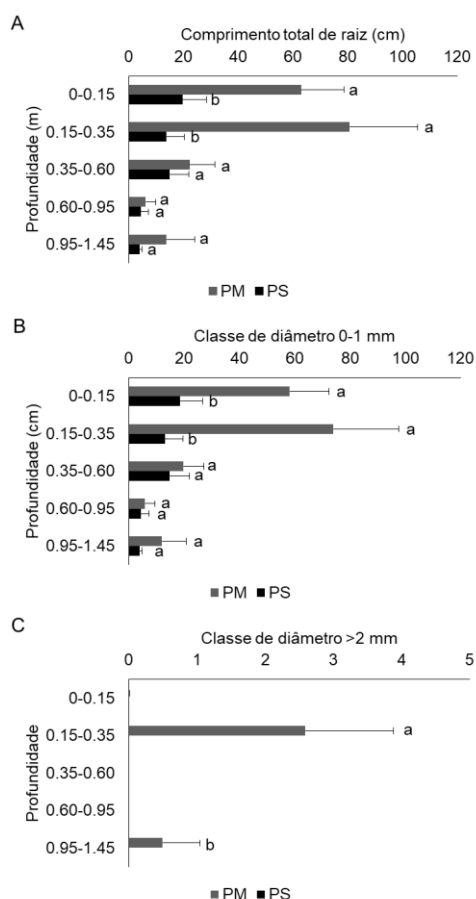
Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Comparação entre tipos de plantio dentro de cada manejo do solo.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferiu pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Comparação entre manejos de solo considerando cada tipo de plantio

Figura 1. Valores médios e barras de erro padrão da densidade de comprimento de raiz (A) da combinação laranjeira 'Pera' [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] / limoeiro 'Cravo' (*C. limonia* Osbeck), aos 15 meses de formação do pomar, em diferentes formas de preparo do solo (com subsolagem - CS e sem subsolagem - SS) e tipos de plantio (mudas produzidas em ambiente protegido - PM e plantio de sementes no local

definitivo – PS e diâmetro médio de raiz (B) ao longo do solo perfil do solo. Fazenda Lagoa do Coco, Rio Real - Bahia, Brasil, setembro de 2016.

Houve interação entre os tipos de plantio e a profundidade (Tabela 4), com diferenças no comprimento de raízes entre os tipos de plantios até 0-35 m de profundidade do solo. O plantio de muda protegida (PM) apresentou maior comprimento de raízes comparado ao plantio de semente no local definitivo (PS) (Figuras 2A e 2B). Não foi verificada a presença de raízes na classe de comprimento de diâmetro > 2 mm no plantio de semente no local definitivo (Figura 2C), o que indica maior capacidade dessas plantas em explorar solos compactados, contrariando os pressupostos da semeadura em local definitivo, como verificado por Oliveira et al. (2018) no plantio de mudas de tangerineira 'Sunki Maravilha' mandarin, em ambiente protegido.



Nota: As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 2. Média e erro padrão do comprimento total de raiz (A) e comprimento de raiz para as classes de diâmetro 0-1 mm (B) e > 2 mm (C) da combinação laranja 'Pera' [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck]/limoeiro 'Cravo' (*C. limonia* Osbeck), em diferentes tipos de preparo do solo (com subsolagem – CS ou sem subsolagem – SS) e tipos de plantio (mudas produzidas em ambiente protegido – PM e plantio de sementes no local

definitivo – PS) ao longo do perfil do solo. Fazenda Lagoa do Coco, Rio Real, Bahia, setembro de 2016

Em geral, as raízes quantificadas concentram-se em superfície 0,0 a 0,35 m (Figura 2A), o que provavelmente é explicado pela coesão e compactação nos horizontes AB (0,18-0,39 m) e BA (0,39-0,68 m), com base na a classificação do solo realizada por Calfa (2010). Segundo Souza et al (2004), esses horizontes apresentam redução visível de macroporos e redução abrupta da concentração de raízes, em relação aos horizontes sobre e subjacentes, como verificado por Santana et al. (2006), Souza, Souza e Ledo (2007), Souza et al. (2008) em pomares de citros estabelecidos nessa unidade de paisagem.

O aprofundamento do sistema radicular é importante para aumentar a produtividade e a longevidade dos citros, principalmente em solos com horizontes coesos subsuperficiais (SOUZA et al., 2008), pois o crescimento radicular é condicionado principalmente pelos atributos físicos do solo onde as plantas são cultivadas (JIN et al., 2017). Para as condições estudadas, a estrutura do solo de até 0,35 m de profundidade é mais importante para o vigor da parte aérea e da raiz da laranja 'Pera', pois concentra maior volume radicular, o que permite a absorção de água e nutrientes necessários seu desenvolvimento.

A concentração de raízes mais finas nas camadas superiores do solo (Figura 2B) pode estar associada ao maior uso de água na superfície do solo, um processo adaptativo da planta aos eventos climáticos irregulares na região e à estrutura do solo. Esse comportamento pode ser uma possível indicação de que plantas sob essas condições se adaptarão melhor aos eventos de variabilidade climática relacionados ao déficit hídrico, como observado por Coelho et al. (2002) em pomar de laranja 'Pera', onde a distribuição de água no solo foi determinante no padrão de distribuição das raízes, com maior concentração de raízes finas (0,5 a 2 mm) nos perfis de solo sob irrigação por microaspersão, comparada à condição não irrigada.

O comprimento total das raízes e o comprimento das raízes para as classes de diâmetro tenderam a diminuir em subsuperfície, com o PM foi superior à PS ao longo do perfil (Figura 2). Os resultados corroboram o fato de que a presença de impedimentos físicos ao crescimento radicular próximo à superfície do solo (Tabela 1) aumenta o diâmetro radicular, pois é uma resposta adaptativa a esse estresse abiótico (GREGORY et al., 2009), conforme Oliveira et al. (2018) observaram para citros.

Souza et al. (2006) também verificaram, em laranjeira 'Valência' enxertada em limão 'Volkameriano' (C. Volkameriana Ten. & Pasq.), a redução na densidade radicular do menor diâmetro para o maior diâmetro nas classes adotadas de $d_1 < 0,5$, $0,5 < d_2 < 1,0$, $1,0 < d_3 < 2,0$, $d_4 > 2,00$ mm, com distribuição percentual de 44% para d_1 , 30% para d_2 , 17% para d_3 e 9% para d_4 , o que é muito importante, segundo os autores, porque raízes com menor diâmetro são mais ativas no solo e, segundo Santos, Coelho e Azevedo (2005), favorecem a absorção de água e absorção de nutrientes do solo.

De acordo com os resultados do presente estudo, o plantio convencional de mudas (PM) contribuiu para o aumento do CTR ao longo do perfil (Figura 2A). Carvalho (2001) discutiu que os procedimentos de poda de raízes realizados no processo convencional de produção de mudas (PM) forçam o crescimento das raízes secundárias, promovendo maior desenvolvimento radicular. Oliveira et al. (2018), em simulação de camada coesa em ambiente protegido, mostrou que o plantio de mudas, simulando o PM, levou a um maior desenvolvimento radicular com impedância física $< 1,52$ MPa, explicado pelo fato deste sistema de plantio já possuir estruturas de secundárias raízes favorecendo o aumento das raízes de absorção. Além disso, o limão 'Cravo Santa Cruz' possui um sistema radicular muito vigoroso, quebrando facilmente a impedância física, aumentando a densidade do comprimento das raízes e sua capacidade de absorver água e nutrientes, pois aumentou o comprimento das raízes finas em relação às plantas oriundas da semeadura direta (PS). Os resultados do presente estudo demonstram maior capacidade de produção de raízes em PM ($1,21 \text{ cm cm}^{-3}$), uma vez que levou a maior densidade radicular em relação ao PS ($0,19 \text{ cm cm}^{-3}$) no campo.

Ao analisar os dados conjuntamente com a parte aérea da planta, ficou constatado que a maior distribuição do sistema radicular das plantas oriundas do PM em relação ao PS, refletiu no maior vigor vegetativo do PM, uma vez que este favoreceu o aumento do volume de copa (VC) e do índice de vigor vegetativo (IVV) de plantas jovens de laranjeira 'Pera', em comparação ao PS (Figuras 1 e 2, Tabelas 3 e 4). Em ambiente protegido, Oliveira et al. (2018) também verificaram que o plantio convencional (PM) associou-se ao maior vigor de raízes e da parte aérea, indicando que em solos com boa estrutura física e porosidade ou permitindo o aprofundamento radicular além da camada coesiva, esse plantio é completamente adequado, a despeito de não cortar a raiz pivotante na semeadura direta (PS).

Davoglio Junior, Bordin e Neves (2006) evidenciaram a existência da correlação entre parte aérea de plantas cítricas e o sistema radicular, aos quatro anos e meio de idade, devido ao maior vigor da muda no momento do plantio e à exploração horizontal do solo por parte das raízes. Portanto, independentemente do manejo do solo (CS e SS), a qualidade das mudas no plantio de pomares (PM) foi importante para manter o crescimento adequado das plantas. Além disso, todos os manejos fitossanitários, nutricionais e edafoclimáticos foram adequados no viveiro, enquanto no campo as plantas estariam sujeitas às condições ambientais adversas, que comprometem seu desenvolvimento.

Segundo Baldassari, Goes e Tannuri (2003), a situação ideal seria uma raiz de plantas cítricas reta e indivisa, pelo menos até o comprimento das sacolas plásticas onde as mudas são cultivadas após o transplante, pois as mudas cítricas com malformação radicular têm crescimento limitado do sistema radicular a maiores profundidades do solo, quando plantadas no campo, mesmo que as condições químicas e físicas do solo sejam favoráveis. Assim, a seleção no viveiro pode ter contribuído para o maior desempenho das mudas cítricas no campo, destacando a importância da qualidade das mudas no estabelecimento do pomar.

Os resultados discutidos neste trabalho foram relacionados a um pomar jovem, de 18 meses de idade, e não foram observadas diferenças no sistema radicular como consequência da prática de preparo do solo, visando melhorar a qualidade da estrutura do solo. Bordin et al. (2005) e Minatel et al. (2006) também não verificaram em pomares cítricos, melhorias nos atributos físicos do solo, após as práticas de escarificação e subsolagem do solo, respectivamente.

O maior vigor das plantas cultivadas a partir do plantio de mudas, em termos de desenvolvimento radicular e vigor vegetativo, quando comparado às plantas semeadas diretamente no local definitivo, pode estar associado à qualidade da muda, seja pelo cuidado envolvido na seleção das plantas (sem deformações no sistema radicular e mais vigorosa) ou a ausência de limitações em termos de nutrição. A variabilidade do clima durante o desenvolvimento inicial da PS e a idade do pomar também podem explicar essas diferenças. A avaliação em longo prazo do crescimento das plantas é necessária para um melhor conhecimento da dinâmica do sistema radicular dos citros nos Tabuleiros Costeiros, relacionado aos sistemas de plantio e suas interações com diferentes porta-enxertos.

CONCLUSÕES

A prática de subsolagem não afetou a distribuição do sistema radicular, que se concentrou nos primeiros 0,35 m do solo, indicando que essa profundidade efetiva é importante para o desenvolvimento da parte aérea e radicular, devido ao impedimento físico causado pelos horizontes coesos em solo dos Tabuleiros Costeiros.

O plantio de muda protegida contribuiu para maior desenvolvimento radicular, o que permitiu maior exploração dos recursos do solo e, conseqüentemente, maior vigor vegetativo de plantas jovens de laranjeira 'Pera', em comparação ao plantio de sementes.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro ao M.A.C.F. (Processo 311327 / 2015-0), à Fundação de Amparo à Pesquisa da Bahia (FAPESB) pela concessão da bolsa de doutorado ao T.N.M. e bolsa de iniciação científica para L.L.A.S., à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte fornecido ao núcleo de engenharia de água e solo (NEAS). M.A.C.F., A.S.G., O.S.P., H.P.S.F. e W.S.S.F. são financiados pelo projeto Embrapa (MP 03.16.05.023.00.00). Ao Sr. Roberto Toyohiro Shibata e sua família pelo apoio ao estudo realizado na Fazenda Lagoa do Coco, e a toda a equipe técnica da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical pelo apoio logístico, em especial ao técnico agrícola Jorge Vieira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baldassari, R. B., Goes, A. D., & Tannuri, F. (2003). Citrus blight: Is there something about the nursery trees production? *Revista Brasileira de Fruticultura*, 2(5), 357-360. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452003000200047>
- Bordin, I., Neves, C. S. V. J., Ainda, F. T., Souza, W. R., Davoglio Junior, A. C., Furlaneto, T. L. R., & Tavares Filho, J. (2005) Sistema radicular de plantas cítricas e atributos físicos do solo em um Latossolo argiloso submetido à escarificação. *Ciência Rural*, 35(4), 820-825. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782005000400011>
- Calfa, C. H. (2010) *Subsolagem em solo coeso de Tabuleiro Costeiro e desenvolvimento da lima da 'Pérsia' com porta-enxerto semeado no local*

- definitivo do pomar* (Unpublished doctoral thesis). Federal University of Bahia, Salvador, Brazil.
- Carvalho, S. A. (2001). *Propagação dos citros*. Informe Agropecuário, 22(209), 21-25.
- Cintra, F. L. D. (2006) Caracterização da região produtora: solo e clima. In: Melo, M. B. & Silva, L. M. S. *Aspectos técnicos dos citros em Sergipe*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p.82.
- Cintra, F. L. D. (2011). Manejo de Solos Coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: Tofanelli, M. B. D., Silva, T. O. (Eds) *Manejo Ecológico e Conservação dos Solos e da Água no Estado de Sergipe*. 1. ed. São Cristóvão: UFS, Cap. 5, p.205-226.
- Coelho, E. F., Oliveira, F. C., Araújo, E. C. E, & Vasconcelos, L. F. L. (2002). Distribuição de raízes de laranjeira 'Pera' sob sequeiro e irrigação por microaspersão em solo arenoso. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 37(5), 603-611. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002000500005>
- Davoglio Junior, A. C., Bordin, I., & Neves, C. S. V. J. (2006). Sistema radicular e desenvolvimento de plantas cítricas provenientes de viveiro telado e aberto. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 28(2), 172-175. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452006000200004>
- Fidalski, J., Barbosa, G. M. C., Auler, P. A. M., Pavan, M. A., & Beraldo, J. M. G. (2009). Qualidade física do solo sob sistemas de preparo e cobertura morta em pomar de laranja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 44(1), 76-83. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009000100011>
- González-Peñaloza, F. A., Cerdà, A., Zavala, L. M., Jordán, A., Giménez-Morera, A., & Arcenegui, V. (2012). Do conservative agriculture practices increase soil water repellency? A case study in citrus-cropped soils. *Soil and Tillage Research*, 124, 233–239. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.06.015>
- Gregory, P. J., Bengough, A. G., Grinev, D. V., Schmidt, S., Thomas, W. B. T. B., Wojciechowski, T., & Young, I. M. (2009). Root phenomics of crops: opportunities and challenges. *Functional Plant Biology*. 36(11), 922-929. <http://doi.org/10.1071/FP09150>
- Instituto Brasileiro de Geografia Estatística-IBGE (2017). *Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: produção agrícola municipal*. http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/brasil/laranja/b1_laranja.pdf.
- Jin, K., White, P. J., Whalley, W. R., Shen, J. & Shi, L. (2017). Shaping an Optimal Soil by Root–Soil Interaction. *Trends in Plant Science*, 22(10), 823–829. doi:10.1016/j.tplants.2017.07.008
- Martins, C. R., Teodoro, A. V. & Carvalho, H. W. L. (2014) *Citricultura no Estado de Sergipe*. *Citricultura Atual*, 17(103), 14-17. <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/115244/1/Citricultura-no-estado-de-Sergipe.pdf>
- Medeiros, J. C., Figueiredo, G. C., Mafra, Á. L., Rosa, J. D., & Yoon, S. W. (2013). Deep subsoiling of a subsurface-compacted typical hapludult under citrus orchard. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37(4), 911-919. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000400008>
- Minatel, A. L. G., Andrioli, I., Centurion, J. F., & Natale, W. (2006). Efeitos da subsolagem e da adubação verde nas propriedades físicas do solo em pomar de citros. *Engenharia Agrícola*, 26(1), 86-95. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162006000100010>
- Neves, M. F. (2010). *O retrato da Citricultura brasileira*. Ribeirão Preto: Markestrat, 138 p.
- Oliveira, L. B., Coelho Filho, M. A., Arriero, S. S., Gomes Júnior, F. A., Cova, A. M. W., Soares Filho, W. S., & Gesteira, A. S. (2018). Ability of citrus root system to

- overcome a strong wax layer. *Journal of Agricultural Science*. 10(10), 213-223
<http://doi.org/10.5539/jas.v10n10p213>
- Passos, O. S, Cunha Sobrinho, A. P. & Soares Filho, W. S. (2013). Cultivares copa. In: Cunha Sobrinho, A.P. da, Magalhães, A.F. de J., Souza, A. da S, Passos, O. S, Soares Filho, W. dos S. (Org.). *Cultura dos citros*. Brasília, DF: Embrapa, v.1, 293-297.
- Portella, C. R., Marinho, C. S., Amaral, B. D., Carvalho, W. S. G., Campos, G. S., Silva, M. P. S., & Sousa, M. C. (2016). Desempenho de cultivares de citros enxertadas sobre o trifoliato 'Flying Dragon' e limoeiro 'Cravo' em fase de formação do pomar. *Bragantia*, 75(1), 70-75, <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.267>
- Rezende, J. O. (2011). Um olhar sobre a citricultura do Estado da Bahia. *Revista Bahia Agrícola*, v.9, n.1, p.72-83.
- Rezende, J. O. (2013) O plantio direto dos citros: mito ou realidade? *Revista Bahia Agrícola*, 9(2), p.72-85.
- Rezende, J. O., Shibata, R. T. & Souza, L. S. (2015). "Plantio direto" dos citros. In: _____ . *Justificativa e recomendações técnicas para o "plantio direto" dos citros nos tabuleiros costeiros: ênfase na citricultura dos Estados da Bahia e Sergipe*. Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. v.1, 88-101.
- Rodrigues, M. J. D. S., Oliveira, E. R. M. D., Girardi, E. A., Ledo, C. A. D. S., & Soares Filho, W. D. S. (2016). Produção de mudas de citros com diferentes combinações copa e porta-enxerto em viveiro protegido. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 38(1), 187–201. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-284/14>
- Santana, M. B., Souza, L. S., Souza, L. D. & Fontes, L. E. F. (2006). Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do estado da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30(1), 1-12
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000100001>
- Santos, D. B., Coelho, E. F. & Azevedo, C. A. V. (2005). Absorção de água pelas raízes do limoeiro sob distintas frequências de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9, 327-333. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662005000300006>
- Souza, L. D., Cunha Sobrinho, A. P., Ribeiro, L. S., Souza, L. S., & Ledo, C. A. S. (2004). Avaliação de plantas cítricas, em diferentes profundidades de plantio, em latossolo amarelo dos Tabuleiros Costeiros. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(2), 241-244. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452004000200015>
- Souza, L. D., Ribeiro, L. S., Souza, L. S., Ledo, C. A. S., & Cunha Sobrinho, A. P. (2006). Distribuição das raízes dos citros em função da profundidade da cova de plantio em Latossolo amarelo dos Tabuleiros Costeiros. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 28(1), 87-91. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452004000200015>
- Souza, L. D., Souza, L. S., & Ledo, C. A. S. (2007). Sistema radicular dos citros em Neossolo Quartzarênico dos Tabuleiros Costeiros sob irrigação e sequeiro. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 42(10), 1373-1381. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007001000002>
- Souza, L. S., Souza, L. D., Paiva, A. Q., Rodrigues, A. C. V., & Ribeiro, L. S. (2008). Distribuição do sistema radicular de citros em uma toposseqüência de solos de tabuleiro costeiro do estado da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(2), 503-513. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000200005>
- Zaccheo, P. V. C., Neves, C. S. V. J, Srenzel, N. M. C., & Okumura, R. S. (2012). Distribuição do sistema radicular de porta-enxertos sob laranja 'Folha Murcha' em clima subtropical. *Semina: Ciências Agrárias*, 33(3), 921-930. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n3p921>

5. CAPÍTULO II

DISTRIBUIÇÃO RADICULAR E VIGOR VEGETATIVO DA LARANJEIRA 'PERA' SOBRE DIFERENTES PORTA-ENXERTOS, TIPOS DE PLANTIO E PREPAROS DO SOLO ²

² Artigo ajustado e submetido ao Comitê Editorial do periódico científico: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.

DISTRIBUIÇÃO RADICULAR E VIGOR VEGETATIVO DA LARANJEIRA 'PERA' SOBRE DIFERENTES PORTA-ENXERTOS, TIPOS DE PLANTIO E PREPAROS DO SOLO

RESUMO: O desempenho das plantas está relacionado a arquitetura radicular e a estrutura do solo que envolve as raízes. Práticas de manejo que atenuem restrições impostas pelo meio físico (solos coesos e estiagem) constituem alternativas para revitalização da citricultura estabelecida nos Tabuleiros Costeiros. Para romper os horizontes coesos e aumentar o volume de solo explorado pelas raízes, foram adotadas as seguintes práticas de manejo: dois sistemas de preparo inicial do solo (com e sem subsolagem, na profundidade de 0,75 m), dois tipos de plantio (plantio de mudas protegidas – PM e plantio de sementes no local definitivo – PS) e duas combinações Laranja 'Pera CNPMF-D6' sobreposta em Limoeiro 'Cravo Santa Cruz' e Tangerineira 'Sunki Tropical'. O experimento foi conduzido em pomar comercial, localizado na Fazenda Lagoa do Coco, Rio Real, Bahia, com plantas espaçadas de 6 x 2 m, sob sequeiro, em um Latossolo Amarelo Distrocoeso. Foram realizadas medidas, biométricas, fisiológicas e umidade do solo ao longo do experimento, ao final também foram avaliados a resistência à penetração mecânica do solo (RPM), a distribuição do sistema radicular e produção inicial de frutos. Não houve efeito da subsolagem nas variáveis avaliadas. Independente das práticas de manejo adotadas, as raízes se concentraram na superfície, nos primeiros 0,40 m do solo, estendendo-se horizontalmente até 1,5 m da planta. O comprimento total de raiz, a densidade do comprimento de raiz, o diâmetro médio total de raiz e as classes de diâmetro de raiz (< 2 mm e > 2 mm), foi superior para o PM, que resultou em maior extração de água no perfil do solo, RPM e maior vigor das plantas. As plantas cultivadas sobre o porta-enxerto limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LC) foram mais precocemente produtivas e vigorosas. Aos três anos de formação do pomar, foi verificado que o plantio de muda protegida associado ao porta-enxerto limoeiro 'Cravo Santa Cruz' contribuíram para o melhor desempenho horticultural.

Palavras-chave: Muda protegida. Semeadura Direta. Subsolagem. Tabuleiros Costeiros.

ROOT DISTRIBUTION AND VEGETATIVE VIGOR OF 'PERA' LARANJEIRA ON DIFFERENT ROOTSTOCK, PLANT TYPES AND SOIL PREPARATIONS

ABSTRACT: The development of the plants is related to the root architecture and the soil structure that surrounds the roots. Management practices that attenuate restrictions imposed by the physical environment (cohesive soils and drought) are alternatives for the revitalization of the citricultura established in the coastal Tablelands. In order to break the cohesive horizons and increase the volume of soil explored by the roots, the following practices were adopted: two initial tillage systems (with and without subsoiling, at 0.75 m depth), and two combinations 'Pera CNPMF-D6' Sweet Orange superimposed on Rangpur 'Cravo Santa Cruz' and Mandarin 'Sunki Tropical'. The experiment was carried out in a commercial orchard, located at Fazenda Lagoa do Coco, Rio Real, Bahia, with 6 x 2 m spaced plants, under rainy conditions, in a Yellow Latosol Distrocoeso. Biometric, physiological and soil moisture

measurements were carried out during the experiment. At the end of the experiment, resistance to soil mechanical penetration (RPM), root system distribution and initial fruit yield. There was no subsoiling effect on the evaluated foods. Regardless of the management practices adopted, roots were concentrated in the first 0.40 m of the soil, extending up to 1.5 m from the plant. Total root length, root length, root mean diameter and root diameter classes (<2 mm and > 2 mm) were higher for PM at higher water extraction in the root profile soil, RPM, and greater vigor of plants. As plants grown under the 'Cravo Santa Cruz' lemon tree (LC) were earlier productive and vigorous. This study was conducted for the planting of protected orchard associated with the 'Cravo Santa Cruz' lime rootstock, contributing to the best horticultural performance.

Key words: Nursery Tree. Direct seeding. Subsoiling. Coastal Tablelands.

INTRODUÇÃO

A citricultura tem grande importância socioeconômica nos Tabuleiros Costeiros do Nordeste oriental brasileiro. Os Estados da Bahia e Sergipe, terceiro e quarto produtores nacionais, respectivamente, ocupam cerca de 87.782 hectares nessa unidade geomorfológica e representam 6,2% da produção de citros no Brasil (IBGE, 2017).

Os Tabuleiros Costeiros são formações terciárias localizadas ao longo da faixa sedimentar costeira do Brasil, em área estimada de 8,42 milhões de hectares, cujas principais características são as superfícies planas a suave onduladas, solos profundos, em grande parte com caráter coeso (CINTRA, 2011).

A compactação do solo e a irregularidade de distribuição das chuvas, face às características de produção predominantemente de sequeiro, constituem um desafio constante à citricultura dos Tabuleiros Costeiros, por influenciarem diretamente a produtividade dos pomares, a qualidade dos frutos, bem como a redução da vida útil das plantas, contribuindo para a vulnerabilidade dos pomares cítricos (CINTRA, 2011; MARTINS; TEODORO; CARVALHO, 2014).

A presença de horizonte(s) coeso(s) na subsuperfície do solo implica na redução da profundidade efetiva do solo e, devido ao elevado grau de adensamento, dificulta a infiltração e o transporte de água no perfil deste, o que prejudica a aeração e impede o aprofundamento do sistema radicular, que então se concentra na superfície (FONSECA et al., 2007; CINTRA, 2011).

Essa camada coesa tem origem pedogenética e é caracterizada por horizonte(s) adensado(s), muito duros ou extremamente duros quando secos e

geralmente friáveis quando úmidos, sendo normalmente encontrados entre 0,20 e 0,60 m de profundidade, podendo, no entanto, atingir até um metro ou pouco mais (JACOMINE, 2001; CINTRA, 2006).

Recentemente, alguns produtores de citros adotaram a semeadura direta de porta-enxertos no local definitivo como manejo alternativo para mitigar as restrições impostas pela camada coesa. Rezende, Shibata e Souza (2015) citam que a arquitetura original do sistema radicular intacto, promovido por essa prática, confere à planta cítrica maior aprofundamento radicular, tolerância à seca, vigor, precocidade, produtividade e, possivelmente, maior longevidade em relação àquelas formadas de modo convencional, em viveiros. Uma das hipóteses é que as sucessivas podas de raiz das transplantações sementeira-viveiro-local definitivo eliminam a dominância da raiz principal (pivotante), alteram a morfologia e fisiologia da planta, comprometendo seu desenvolvimento e aclimatação, em detrimento da precocidade e produtividade do pomar.

De acordo com Sampaio et al. (2016), o predomínio de um ou poucos porta-enxertos deixa o setor citrícola brasileiro vulnerável aos riscos bióticos e abióticos e perde em competitividade por não diversificar o uso de porta-enxertos para os diferentes ecossistemas de produção. O limoeiro 'Cravo' (*Citrus limonia* Osbeck) é o porta-enxerto mais difundido nos Tabuleiros Costeiros e o principal na citricultura baiana e sergipana, devido às características de maior produção de frutos e de tolerância à seca, transmitidas para diversas variedades copa (CUNHA SOBRINHO; PASSOS; SOARES FILHO, 2013). Contudo, esse porta-enxerto é susceptível ao declínio e à morte súbita dos citros, além de promover a produção de frutos com qualidade inferior, comparado a porta-enxertos como a tangerineira 'Sunki' [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka] (CARVALHO et al., 2016). Portanto, além dos fatores produção e fitossanidade, certas características dos porta-enxertos, como a tolerância à seca e a maior capacidade para o desenvolvimento radicular, têm sido consideradas na busca de novos materiais alternativos ao limoeiro 'Cravo' nos Tabuleiros Costeiros da Bahia.

Outra prática recomendada para solos com horizontes coesos situados a uma profundidade igual ou maior do que 0,35 m é a subsolagem, a qual tem como princípio o rompimento do solo, mantendo a ordem natural de seus horizontes, promovendo melhorias na porosidade, facilitando a aeração, a armazenagem de água, a disponibilidade de nutrientes e a penetração radicular ao longo do perfil do solo,

proporcionando, por consequência, maior produtividade agrícola (REZENDE, 2011; REZENDE, 2013; MEDEIROS et al., 2013).

Assim, esse trabalho teve como objetivo avaliar a influência de dois porta-enxertos, dois tipos de plantio, assim como da subsolagem, no crescimento, fisiologia, produção inicial e distribuição radicular da laranjeira 'Pera', em fase juvenil do pomar, estabelecido na unidade de paisagem dos Tabuleiros Costeiros da Bahia.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido entre os anos de 2017 e 2018 na Fazenda Lagoa do Coco, Rio Real, Bahia (latitude 11°34'26" S, longitude 37°52'39" W e 170 m de altitude), em pomar comercial com 3 anos de formação, numa área de 16.128 m² (128 x 126 m) e 1.280,0 plantas, espaçadas de 6,0 m x 2,0 m, sob condições de sequeiro. A fazenda está inserida na unidade de paisagem dos Tabuleiros Costeiros, que lhe confere, como características do meio físico, horizontes coesos (Tabela 1, Capítulo I) em um Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (Ferralsols), relevo plano, clima quente e úmido, do tipo 'As', pela classificação de Köppen, temperatura média anual de 24,1°C e pluviosidade média anual de 1100 mm, com cerca de 80% da distribuição de chuvas concentradas entre os meses de abril e setembro, em conformidade com o balanço hídrico climatológico de 2017 e 2018 (Figura 1), estimado pelo método de Thornthwaite e Mather, 1955 (ROLIM; SENTELHAS; BARBIERI, 1998), com base nos dados de precipitação da Fazenda Lagoa do Coco e da temperatura do ar do município de Alagoinhas-BA, cuja estação meteorológica (OMM: 83249, BDMEP – INMET) é a mais próxima do experimento.

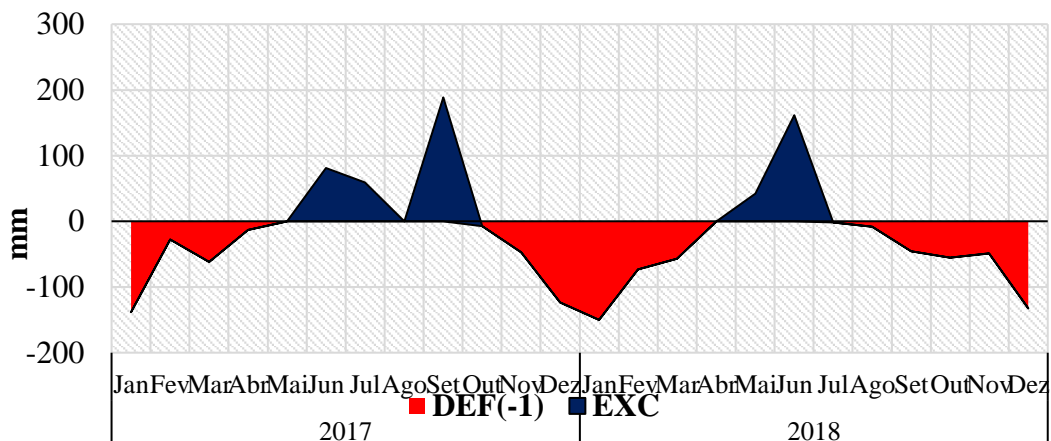


Figura 1. Balanço hídrico sequencial mensal dos anos de 2017 e 2018, do município de Rio Real –BA.

Material vegetal

A planta em estudo é a laranjeira ‘Pera’ (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), seleção ‘CNPMF D-6’, obtida via semente pela Embrapa Mandioca e Fruticultura, premiunizada por um isolado atenuado do vírus da tristeza dos citros (VTC), não apresenta sintomas de descamamento eruptivo e está livre do viróide da exocorte e da bactéria *Xylella fastidiosa*, agente causal da clorose variegada dos citros, além de atender ao mercado de fruta in natura e ao processamento de suco (PASSOS; SOARES FILHO; BARBOSA, 2009).

Para formação da planta cítrica, essa cultivar copa foi combinada com os porta-enxertos limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus limonia* Osbeck), seleção ‘Santa Cruz’ e a tangerineira ‘Sunki Tropical’ (*Citrus sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka), por meio de enxertia por borbulhia (T invertido a 12 cm). O primeiro porta-enxerto foi selecionado devido à sua difusão e características de tolerância à seca, à tristeza dos citros, como também pela facilidade de obtenção de sementes, vigor em viveiro e no campo, além da excelente compatibilidade com a referida copa (CUNHA SOBRINHO; PASSOS; SOARES FILHO, 2013). Já o segundo porta-enxerto foi escolhido como alternativa para citricultura baiana por sua tolerância ao declínio dos citros, moderada resistência à gomose causada por *Phytophthora*, associada a produção superior de frutos e de sementes (SOARES FILHO et al., 2002; PASSOS et al., 2006) vigor vegetativo e desenvolvimento radicular (RODRIGUES et al., 2015) e a tolerância à seca (VIEIRA et al., 2016).

Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi instalado no ano de 2015, em delineamento em blocos ao acaso, distribuídos em faixas, com oito repetições, duas combinações de copa e porta-enxerto (Laranjeira ‘Pera CNPMF-D6’ x Limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ e Laranjeira ‘Pera CNPMF-D6’ x Tangerineira ‘Sunki Tropical’); dois sistemas de preparo inicial do solo (com e sem subsolagem, na profundidade de 0,75 m) e dois tipos de plantio (plantio de mudas protegidas – PM e plantio de sementes no local definitivo – PS). Cada bloco é composto por oito parcelas, e cada parcela é constituída por cinco linhas de plantio, com quatro plantas cada, conduzidas no espaçamento de 6 x 2 m, resultando em uma área de 144 m² (24 m x 6 m) por parcela. Como parcela útil, foram consideradas as seis plantas centrais, correspondendo a uma área de 24 m² (12 m x 2 m), (Apêndice A).

A subsolagem foi realizada na linha de plantio, a 0,75 m de profundidade, com três hastes e largura útil de 1,5 m. Essa operação foi realizada apenas uma vez com o subsolador, no mês de abril de 2014.

O plantio de sementes no local definitivo (PS) consistiu na semeadura direta do porta-enxerto e realização da enxertia no local definitivo do pomar, enquanto o plantio da muda protegida (PM) consistiu no plantio convencional da muda produzida em viveiro telado. Os materiais propagativos (sementes, borbulhas e mudas protegidas) foram obtidos da Embrapa Mandioca e Fruticultura – CNPMF.

A semeadura no local definitivo foi realizada em maio de 2014, início do período chuvoso, com vistas no maior aproveitamento da disponibilidade de água. Foram inseridas de 15-20 sementes no sulco de plantio e, a partir do quinto mês, foi realizado o desbaste para descartar as plantas derivadas de embriões zigóticos e as plantas menos vigorosas. Em junho de 2015 foram realizadas a enxertia dos porta-enxertos em campo, deixando apenas uma planta, e o plantio das mudas produzidas em viveiro telado. Todas as plantas receberam nesse período a mesma adubação.

Nos dois tipos de plantio fez-se a semeadura do porta-enxerto na mesma época, porém as mudas formadas em viveiro telado passaram pelas etapas semeadura dos porta-enxertos em tubetes; formação da muda em sacos de polietileno e, somente em junho de 2015, foram transplantadas em campo, em covas de 0,40 x 0,40 x 0,40 m. Após o plantio das mudas, foram realizadas regas em todas as plantas, com aplicação de 12 L de água por planta, em dias alternados nos meses mais críticos.

A partir de fevereiro de 2017 foram selecionadas 24 plantas para avaliação do crescimento da parte aérea, da arquitetura radicular e da fisiologia, sendo cada planta pertencente a uma parcela útil, para cada combinação dos fatores adotados.

Avaliação de crescimento da parte aérea e da arquitetura radicular

Avaliações do crescimento da parte aérea foram realizadas entre agosto de 2017 e outubro de 2018, totalizando seis épocas de avaliação, para obtenção das seguintes medidas: altura (H), expressa em m; diâmetro da copa na direção da linha (DL) e entrelinha (DE) de plantio, expressos em m e os diâmetros do caule, 0,05 m abaixo (DI) e a acima (DS) do ponto de enxertia, expresso em mm. A partir desses dados foram calculados, conforme Portella et al. (2016), o índice de vigor vegetativo

(IVV), a taxa de cobertura da copa na linha (TCCL), a taxa de cobertura da copa na entrelinha (TCCE) e o volume médio da copa (VC), conforme descrito no capítulo I.

Em outubro de 2018, foram coletadas amostras (solo e raiz), para avaliação da arquitetura radicular, em sete pontos de amostragens, distribuídos em dois eixos perpendiculares, a partir do caule das plantas, a saber: três pontos na linha plantio (0,50; 1,00 e 1,50 m) e quatro pontos na entrelinha de plantio (0,50; 1,00; 1,50 e 3,00 m), nas profundidades de 0,0 - 0,20; 0,20 - 0,40; 0,40 - 0,60; 0,60 - 0,80; 0,80 - 1,00 e 1,00 - 1,20 m, em relação ao nível do solo, exceto para o último ponto (3,00 m) em que foram coletadas amostras até a profundidade de 0,40 m, totalizando 912 amostras coletadas com cilindros de aço de 1,50 m de comprimento e 0,067 m de diâmetro interno, inseridos no solo a cada 0,20 m, com golpes de marreta.

As raízes foram separadas do solo por imersão em água e peneiramento (malha de um milímetro), armazenadas em solução de água e álcool a 30%, a uma temperatura entre 4 e 10 °C. Em seguida, foram dispostas em bandeja de acrílico (0,30 x 0,20 m) com lâmina de água (350 mL) e digitalizadas em escâner (Epson Expression 11000XL), com imagens na resolução de 400 dpi. As imagens obtidas foram analisadas pelo software WinRhizo (Regent Instruments Inc., Quebec, QC, Canadá) para obtenção das variáveis: comprimento total de raiz (CTR), expresso em cm; diâmetro médio total de raiz (DR), expresso em mm; e classes de diâmetro (< 2 e > 2), expressas em mm.

Posteriormente, as amostras foram secas em estufa a 60 °C até atingir massa constante, para obtenção da variável massa seca da parte radicular (MSR), expressa em g, e o comprimento específico de raiz (SRL), obtido pela razão do CTR pela MSR, expresso em cm g^{-1} ; também foi dividido o CTR pelo volume de solo coletado (cm^{-3}) de cada amostra, para obtenção da densidade do comprimento de raiz (DCR), expressa em cm cm^{-3} .

A partir dos dados de DR, DCR, SLR e classes de diâmetro, foram gerados mapas de isolinhas, com a média de cada ponto amostrado por tratamento, utilizando o software Surfer, versão 8.

Produção inicial de frutos

Foram realizadas colheitas nos anos de 2017 e 2018, para o monitoramento inicial da produção de frutos (kg planta^{-1}), produtividade (t ha^{-1}), peso médio de frutos (g) e número de frutos, quando as plantas apresentavam 35 e 40 meses de idade,

após o plantio das mudas em campo. Foram selecionadas as seis plantas de cada parcela útil, de acordo a combinação dos tratamentos (dois porta-enxertos x dois sistemas de preparo do solo x dois tipos de plantio x 3 repetições = 24 parcelas), totalizando o monitoramento de 144 plantas, das quais foram colhidos os frutos, contados e pesados.

Avaliações fisiológicas

Foram realizadas medidas de condutância estomática ao vapor de água (gs), expressa em $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, potencial hídrico foliar (Ψ_w), expresso em MPa, e temperatura foliar (Tf), expressa em °C, visando caracterizar o estado hídrico da planta nos períodos seco e úmido, entre outubro de 2017 e outubro de 2018.

O potencial hídrico foliar (Ψ_w) foi medido entre 8h e 10h, em duas folhas medianas da copa, usando câmara de pressão tipo 'Scholander', modelo 3115 (Soilmoisture Equipment Corp., Santa Barbara, USA). As folhas foram envoltas por um saco de papel alumínio laminado, 14 h a 16 h antes da excisão, a fim de manter os ramos em equilíbrio com a planta e evitar a perda de umidade, conforme descrito por Stevens, Harvey e Aspinall (1995).

A condutância estomática (gs) foi determinada com o uso do porômetro de difusão, modelo AP4 (Delta-T Devices, Cambridge, Inglaterra). As leituras foram realizadas das 10 h às 12 h, em duas folhas do terço médio da copa, em lados opostos da planta (leste e oeste), foram consideradas as folhas totalmente expandidas preferencialmente com mesmo padrão de crescimento e sem sintomas de deficiência nutricional ou ataque de pragas e doenças.

A temperatura foliar (Tf) foi determinada com o uso de termômetro de infravermelho (Extech instruments, modelo RH101), a partir das 10 h, em quatro quadrantes da planta (norte, sul, leste e oeste), com medidas realizadas em três folhas por quadrante, totalizando 12 folhas por planta, a uma distância entre 0,05 e 0,10 m da folha, e aproximadamente a 1,0 m de altura a partir da superfície do solo. Foram amostradas folhas completamente expandidas e na parte externa da copa.

Umidade e resistência mecânica do solo à penetração

Para monitoramento da umidade no solo, utilizou-se o método baseado no princípio da reflectometria no domínio do tempo (Time Domain Reflectometry -TDR), por meio de sensores distribuídos verticalmente (0-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,70; 0,70-

1,10; 1,10-1,70 m), a 0,5 m do caule da planta, distanciadas perpendicular à linha de plantio, a cada 0,20 m da superfície do solo.

Foram instaladas 60 sondas de TDR, cinco por planta, em um total de doze plantas de limoeiro 'Cravo'. O posicionamento dos sensores em profundidade foi estabelecido de acordo com os horizontes caracterizados por Calfa (2010) (Tabela 1). As medidas tiveram início em janeiro de 2017, sendo realizadas seis épocas de avaliação neste ano e sete épocas de avaliação no ano de 2018, com o equipamento TDR 100, fabricado pela Campbell Scientific, para obtenção das leituras.

As sondas de TDR foram confeccionadas no Laboratório de Irrigação e Drenagem da Embrapa Mandioca e Fruticultura com as seguintes especificações: três hastes de aço inoxidável com comprimento de 0,10 m, espaçadas entre si por 0,017 m, fixas a um bloco de resina de poliéster com dimensões de 0,05 m x 0,045 m x 0,015 m e conectadas a um cabo coaxial de 50 ohms, de comprimento variável (1,25; 1,50 e 2,00 m).

Para as medidas de resistência à penetração mecânica do solo, foi utilizado o penetrômetro convencional modelo Stolf (STOLF et al., 1983). As leituras foram realizadas em agosto de 2018 e fevereiro de 2019, em 24 pontos de amostragem (três repetições por tratamento), a um metro de distância da planta, na linha de plantio, até a profundidade de 0,60 m. Os resultados foram transformados em MPa (unidade de pressão), de acordo com a equação descrita por Stolf (1991) e Stolf et al. (2014), em intervalos de 0,10 m de profundidade.

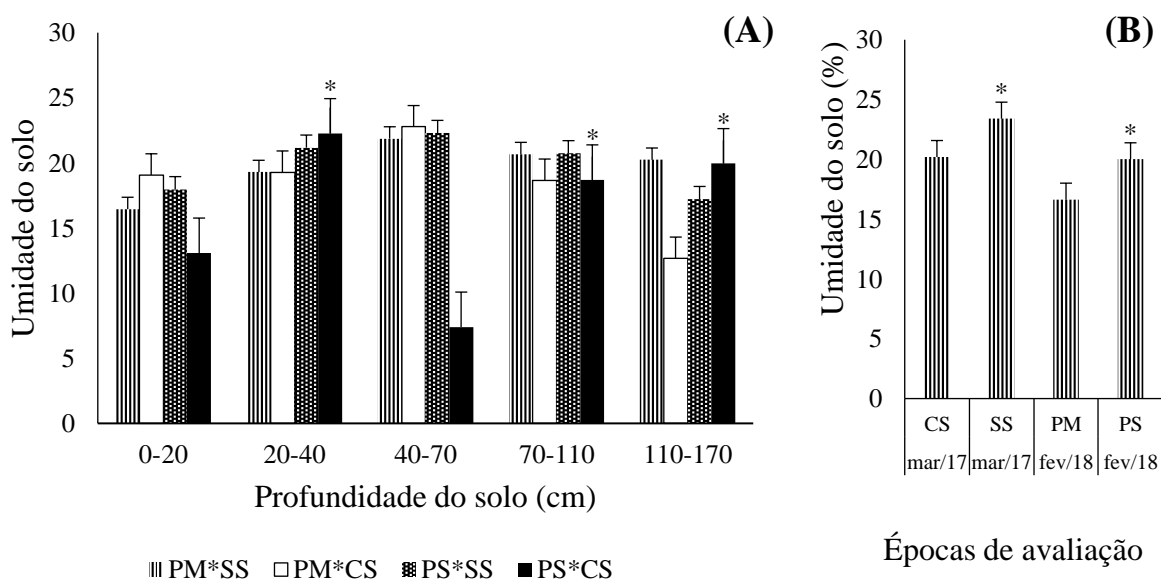
Análise estatística

Os dados de cada época de avaliação foram submetidos à análise de variância. As interações significativas foram desdobradas, e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

RESULTADOS

Água no solo e resistência mecânica do solo à penetração

Não houve interação significativa ($p < 0,05$) entre os fatores tipo de plantio e subsolagem para as umidades no perfil do solo, exceto na avaliação de janeiro de 2017, cuja umidade nas profundidades de 0-0,20 m e 0,40-0,70 m, do plantio de semente associado ao manejo com subsolagem, foram inferiores às demais, dentro desta combinação (Figura 2A).



*Médias significativamente superiores pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), dentro de cada combinação (A) ou manejo (B).

Figura 2. Umidade do solo em função dos plantios de semente (PS) e de muda protegida (PM) associados aos manejos com (CS) e sem subsolagem (SS) ao longo do perfil do solo, em janeiro de 2017 (A) e dos manejos isoladamente em março de 2017 e fevereiro de 2018 (B). Fazenda Lagoa do Coco, BA.

Apenas nas avaliações de março de 2017 e fevereiro de 2018, houve efeito isolado dos fatores subsolagem e do tipo de plantio, respectivamente. Na avaliação de março de 2017, houve maior conservação de água no solo para o manejo sem subsolagem (Figura 2B).

Em fevereiro de 2018, a umidade do solo foi superior para as plantas cultivadas sob semeadura direta em local definitivo (PS) comparada às plantas de muda protegida (PM), sugerindo maior extração de água deste tratamento. Essa mesma tendência é observada para outras épocas avaliadas (Figura 3), apesar de não ser constatada diferença significativa. Nos períodos mais secos do ano, os perfis de umidades do solo ficaram mais próximos (Figura 3).

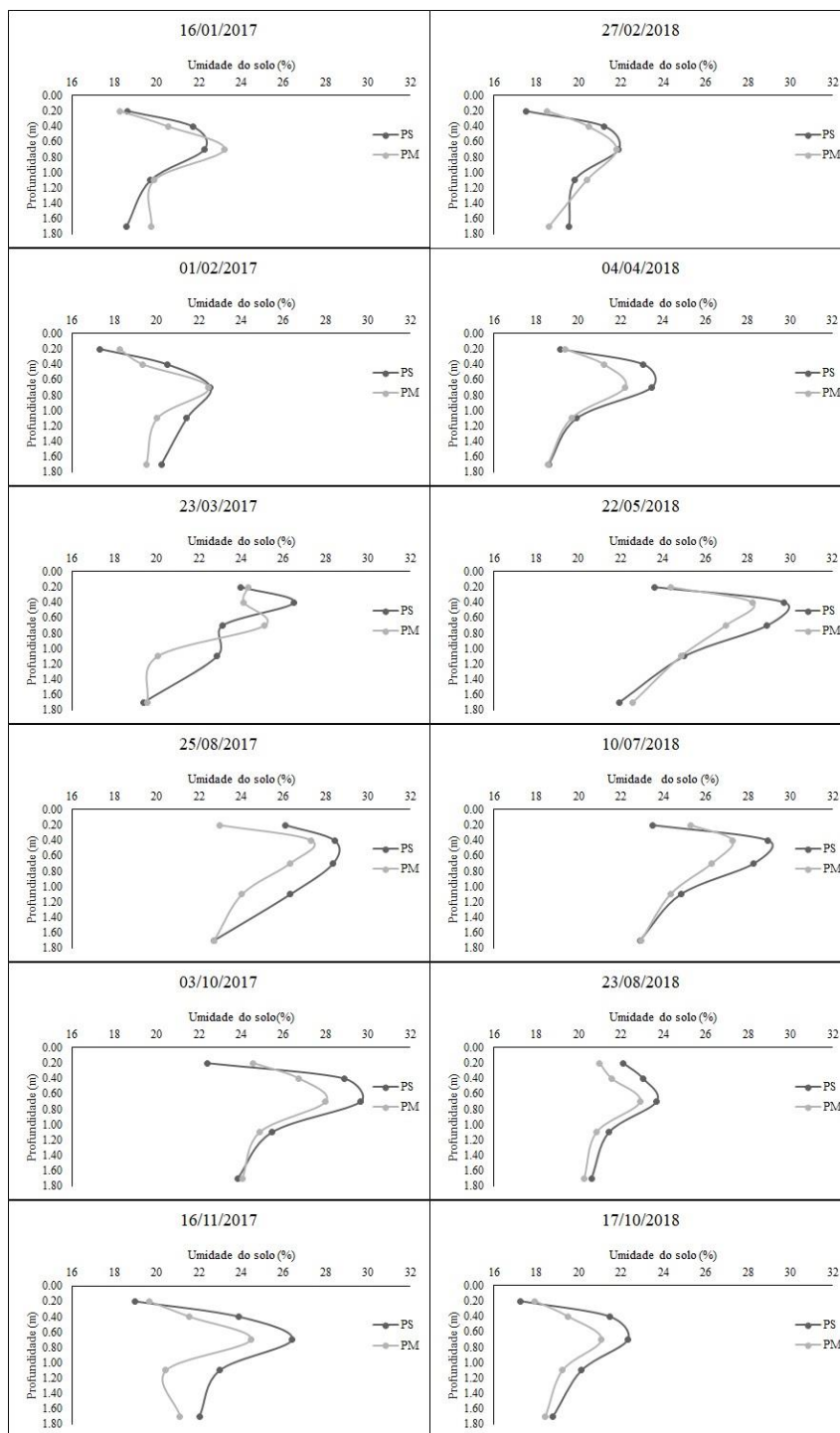


Figura 3. Umidade do solo ao longo do perfil, em diferentes épocas de avaliação, em função do plantio de muda (PM) e plantio de semente (PS). Fazenda Lagoa do Coco, BA.

Verifica-se também ao longo do perfil maiores resistências mecânica do solo à penetração (RPM) para o plantio de muda protegida (Figura 4), provavelmente devido ao maior secamento do solo, relacionado à sua maior extração de água.

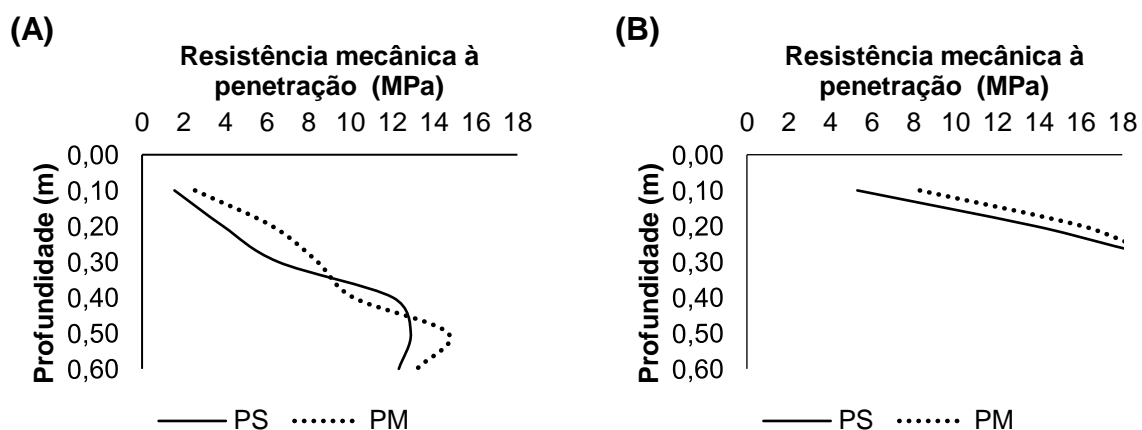


Figura 4. Resistência mecânica à penetração do solo em função do plantio de sementes (PS) e do plantio de muda protegida (PM) em agosto de 2018 (A) e fevereiro de 2019 (B). Fazenda Lagoa do Coco, BA.

Potencial hídrico, condutância estomática e temperatura foliar

Houve interação entre porta-enxerto e tipo de plantio para o potencial de água na folha (Ψ_w) apenas na avaliação de agosto de 2018; sendo que as plantas de limoeiro ‘Cravo’ (LC) oriundas de mudas protegidas (PM) estavam mais estressadas, com potenciais da água nas folhas mais negativos comparadas às plantas de tangerineira ‘Sunki Tropical’ (TSKT) oriundas da mesma prática. Não houve efeito isolado dos fatores estudados para o potencial de água na folha (Ψ_w) e a condutância estomática (gs).

No que se refere à condutância estomática (gs), em outubro de 2018 ocorreu interação tripla entre os fatores estudados, sendo superior para o plantio de semente (PS) do limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ (LC) com subsolagem (CS), em relação às outras combinações.

Com relação à temperatura foliar (T_f), houve efeito do porta-enxerto ($p < 0,05$) apenas nos meses mais secos do ano (agosto a novembro), com valores superiores para tangerineira ‘Sunki Tropical’ (TSKT), exceto no mês de outubro de 2018, em que se observou maior T_f para o limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ (LC), como pode ser visualizado na Figura 5. Houve interação entre tipo de plantio e subsolagem para T_f em cinco épocas avaliadas. As temperaturas foliares foram sempre superiores na prática sem subsolagem do solo (Figura 6).

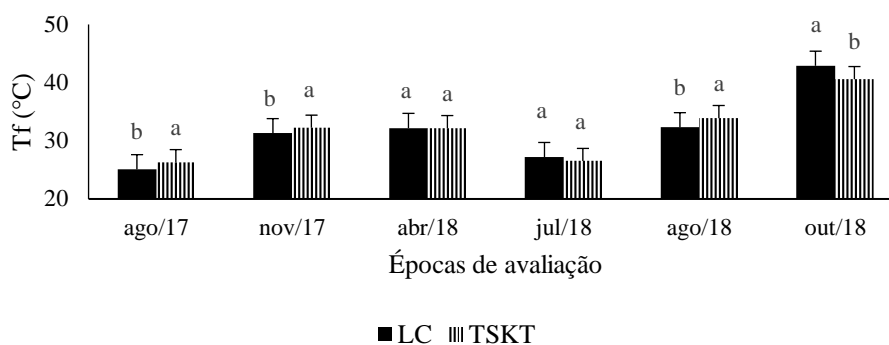
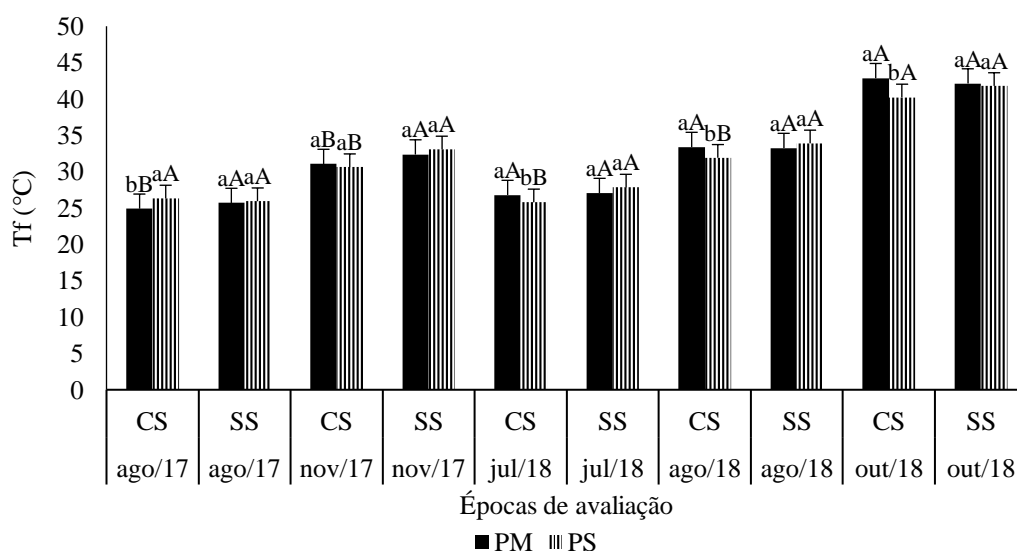


Figura 5. Temperatura foliar (Tf) do limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LC) e da tangerineira 'Sunki Tropical' (TSKT), em diferentes épocas de avaliação. Fazenda Lagoa do Coco, BA.



Médias seguidas de mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Comparação entre tipos de plantio, dentro de cada manejo do solo.
 Médias seguidas de mesma letra maiúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Comparação entre manejos do solo, dentro de cada tipo de plantio.

Figura 6. Temperatura foliar (Tf) em função dos tipos de plantio (plantio de mudas protegidas – PM e plantio de sementes no local definitivo – PS) e do preparo inicial do solo (com subsolagem- CS e sem subsolagem - SS) nas diferentes épocas de avaliação. Fazenda Lagoa do Coco, BA.

Crescimento da parte aérea

Aos 40 meses de formação do pomar, a altura (H), os diâmetros do caule, inferior (DI) e superior (DS), o índice de vigor vegetativo (IVV), a taxa de cobertura da copa na linha (TCCL), a taxa de cobertura da copa na entrelinha (TCCE) e o volume médio da copa (VC) foram sempre maiores para o limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LC) em relação à tangerineira 'Sunki Tropical' (TSKT). Exceto para altura (H), também

houve efeito significativo da subsolagem para as demais variáveis, sendo o manejo sem subsolagem superior ao subsolado. Houve interação significativa entre o manejo do solo e o tipo de plantio para o DI e entre o tipo de plantio e o tipo de porta-enxerto, para o VC e a TCCL, com o plantio da muda protegida (PM) favorável ao incremento destas variáveis. De maneira geral, ao longo das avaliações, verificou-se a superioridade do LC em relação a TSKT para as variáveis biométricas, como pode ser visualizado na Figura 7.

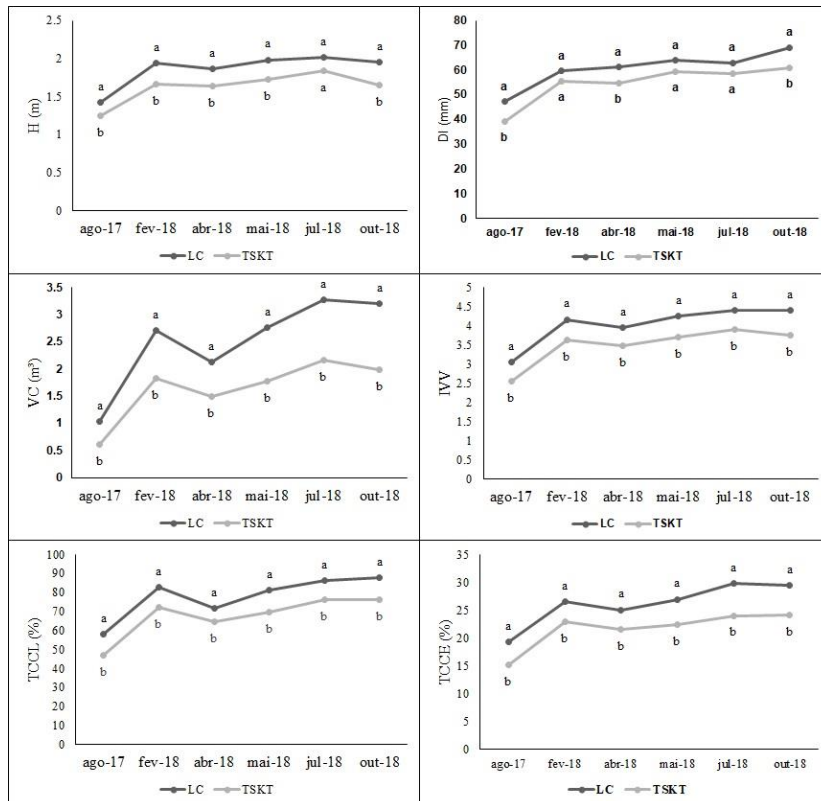
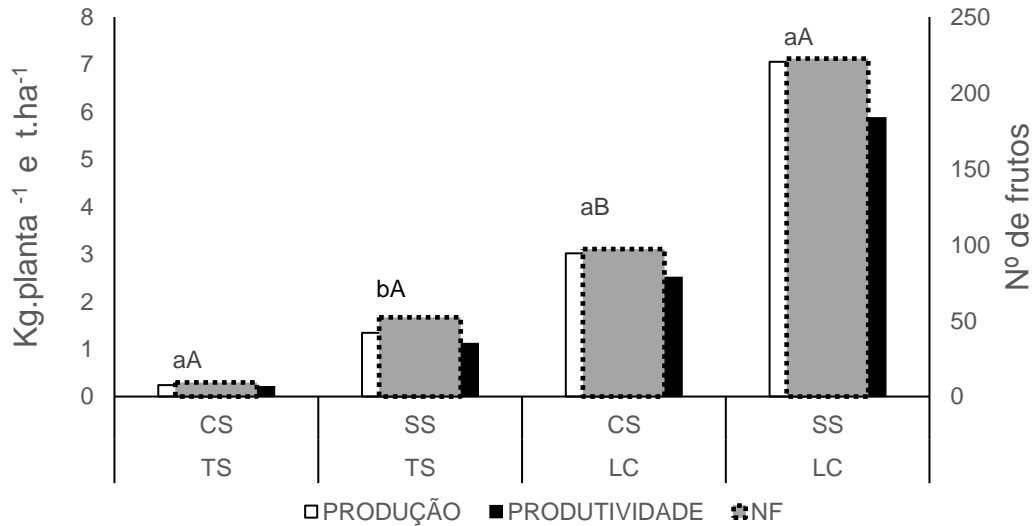


Figura 7. Altura (H), diâmetro do caule inferior (DI), volume da copa (VC), índice de vigor vegetativo (IVV), taxa de cobertura da copa, na linha (TCCL) e entrelinha (TCCE), do limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LC) e da tangerineira 'Sunki Tropical' (TSKT), ao longo das épocas de avaliação. Fazenda Lagoa do Coco, BA.

Produção inicial de frutos

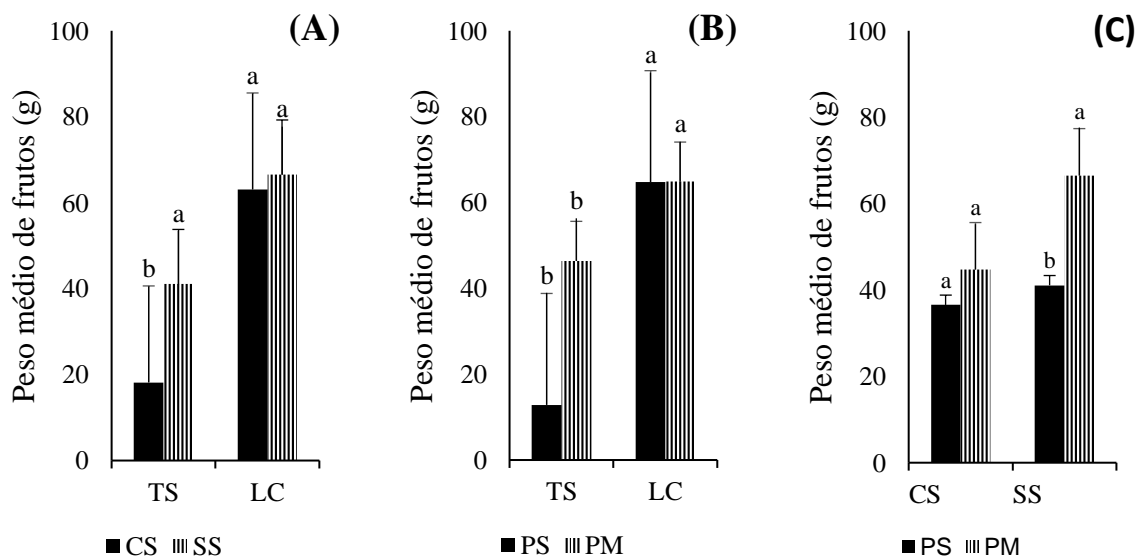
Houve efeito isolado das práticas de manejo para todos os componentes de produção avaliados (produção, produtividade, número de frutos e peso médio de frutos), sendo o limoeiro 'Cravo' (LC), o plantio de muda (PM) e o preparo do solo sem subsolagem (SS) superiores à tangerineira 'Sunki Tropical' (TSKT), ao plantio de semente (PS) e ao preparo do solo com subsolagem (CS), respectivamente. Ocorreu interação significativa ($p < 0,05$) entre os porta-enxertos e o manejo inicial do solo, para todas as variáveis analisadas (Figuras 8 e 9C).



Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Comparação entre porta-enxertos, dentro de cada manejo do solo.

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Comparação entre manejos do solo, dentro de cada porta-enxerto.

Figura 8. Produção (kg planta⁻¹), produtividade (t ha⁻¹) e número de frutos (NF) sob diferentes combinações de porta-enxerto (Limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ - LC e Tangerineira ‘Sunki Tropical’-TSKT) e de manejo do solo (com subsolagem – CS e sem subsolagem - SS), safra 2018. Fazenda Lagoa do Coco, BA.



*Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Figura 9. Peso médio de frutos, interação dupla entre o manejo do solo e porta-enxertos (A), entre porta-enxertos e tipos de plantio (B) e manejo do solo e o tipo de plantio (C). Fazenda Lagoa do Coco, BA.

Para o peso médio de frutos (PMF), houve interação entre o manejo do solo e porta-enxertos (Figura 9A), entre os tipos de plantio e porta-enxertos (Figura 9B) e tipos de plantio e manejo do solo (Figura 9C). Nessas combinações, o LC foi sempre

superior à TSKT, independente da prática adotada, assim como o plantio da muda protegida.

Distribuição do sistema radicular

A prática da subsolagem não afetou as variáveis de raiz analisadas. Houve efeito significativo ($p < 0,05$) do tipo de plantio para o comprimento total de raiz (CTR), a densidade do comprimento de raiz (DCR), o diâmetro médio total de raiz (DR) e as classes de diâmetro de raiz (< 2 mm e > 2 mm) no perfil longitudinal à fileira de plantas, com o plantio de muda protegida (PM) favorável ao incremento dessas variáveis, enquanto que no perfil ortogonal à fileira de plantas não houve efeito isolado e nem interação entre os fatores estudados para essas variáveis (Figuras 10 e 11).

Independente das práticas de manejo e das condições climáticas, a concentração de raízes no perfil longitudinal à fileira de plantas ($p < 0,05$) foi superior ($p < 0,05$) ao perfil ortogonal à fileira de plantas, para todas as variáveis analisadas, a exceção da massa seca de raiz (MSR), em que não foi observada diferença significativa.

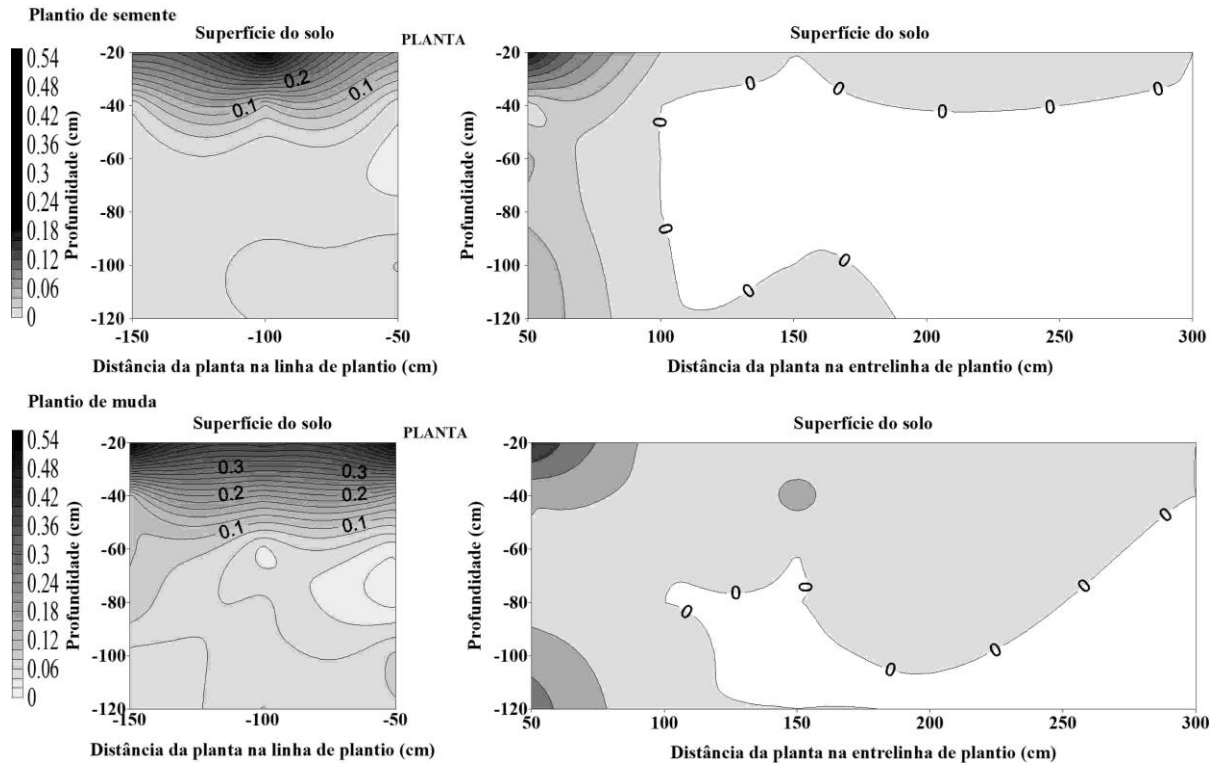
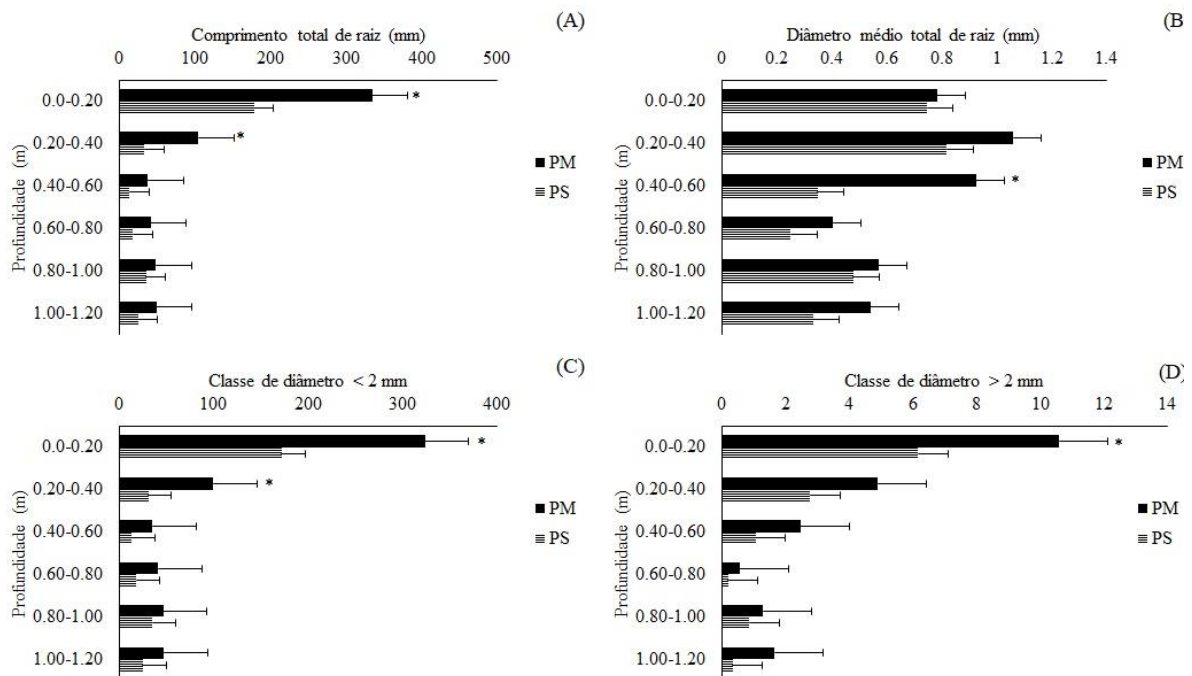


Figura 10. Distribuição da densidade do comprimento de raiz (DCR), em cm cm^{-3} , no perfil longitudinal e ortogonal à fileira de plantas, da laranjeira 'Pera', sob plantio de semente (PS) e plantio de muda (PM). Fazenda Lagoa do Coco, BA.

Tanto no perfil longitudinal como no ortogonal, a densidade do comprimento de raiz (DCR), o comprimento total de raiz (CTR), o diâmetro médio total de raiz (DR) e as classes de diâmetro (<2 mm e > 2 mm) diferiram significativamente em profundidade, com incidência maior nos primeiros 0,20 m e a menores distâncias horizontais da planta, não foi verificada a presença de raízes de citros a três metros de distância na entrelinha de plantio.

A densidade do comprimento de raiz (DCR) foi superior nos primeiros 0,40 m para o plantio de muda protegida (PM) em relação ao plantio de semente no local definitivo (PS), no perfil longitudinal à linha de plantio (Figura 10). No perfil ortogonal à linha de plantio, houve maior concentração de raiz próxima à planta (0,50 m), nos primeiros 0,20 m de profundidade. O comprimento total de raiz (CTR) apresentou resposta semelhante à DCR, uma vez que essas variáveis têm relação direta entre si.

Com relação à distribuição de DR no perfil longitudinal à fileira de planta, as raízes ficaram concentradas nos primeiros 0,40 m de profundidade para o plantio de semente e para o plantio de muda protegida até 0,60 m, diferindo das demais profundidades. Na profundidade de 0,40-0,60 m houve diferença significativa entre os tipos de plantio, com o PM superior ao PS (Figura 11B).



*Médias significativamente superiores pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Figura 11. Comprimento total de raiz (A), diâmetro médio total de raiz (B), comprimento total de raiz na classe de diâmetro < 2 mm (C) e > 2 mm (D), no perfil longitudinal à fileira de plantas, de laranjeira ‘Pera’, sob plantio de semente (PS) e plantio de muda (PM). Fazenda Lagoa do Coco, BA.

Independente do tipo de plantio, as raízes mais finas (< 2 mm) se concentraram nos primeiros 0,20 m, sendo essa profundidade significativamente superior às demais (Figura 11B). Houve maior concentração de raízes com diâmetros inferiores a 2 mm para o PM nos primeiros 0,40 m (Figura 11B). As raízes com diâmetros superiores a 2 mm se concentraram nos primeiros 0,20 m, com o PM significativamente superior ao PS, nesta profundidade (Figura 11C).

As raízes mais finas (< 2 mm) ocorreram até 1,5 m de distância da planta, com maior incidência a 0,5 m da planta. Quanto mais distante da planta, observou-se menor atividade radicular tanto na posição longitudinal quanto na ortogonal. Essa tendência também foi observada para a classe de diâmetro > 2 mm e o diâmetro médio.

Houve efeito significativo ($p < 0,05$) do porta-enxerto para o comprimento específico de raiz (SRL), o qual foi sempre maior para o limão cravo (LC) independentemente da posição (Figura 12). Não ocorreu interação entre os fatores estudados para o SRL, tanto no perfil ortogonal quanto no longitudinal à fileira de plantas.

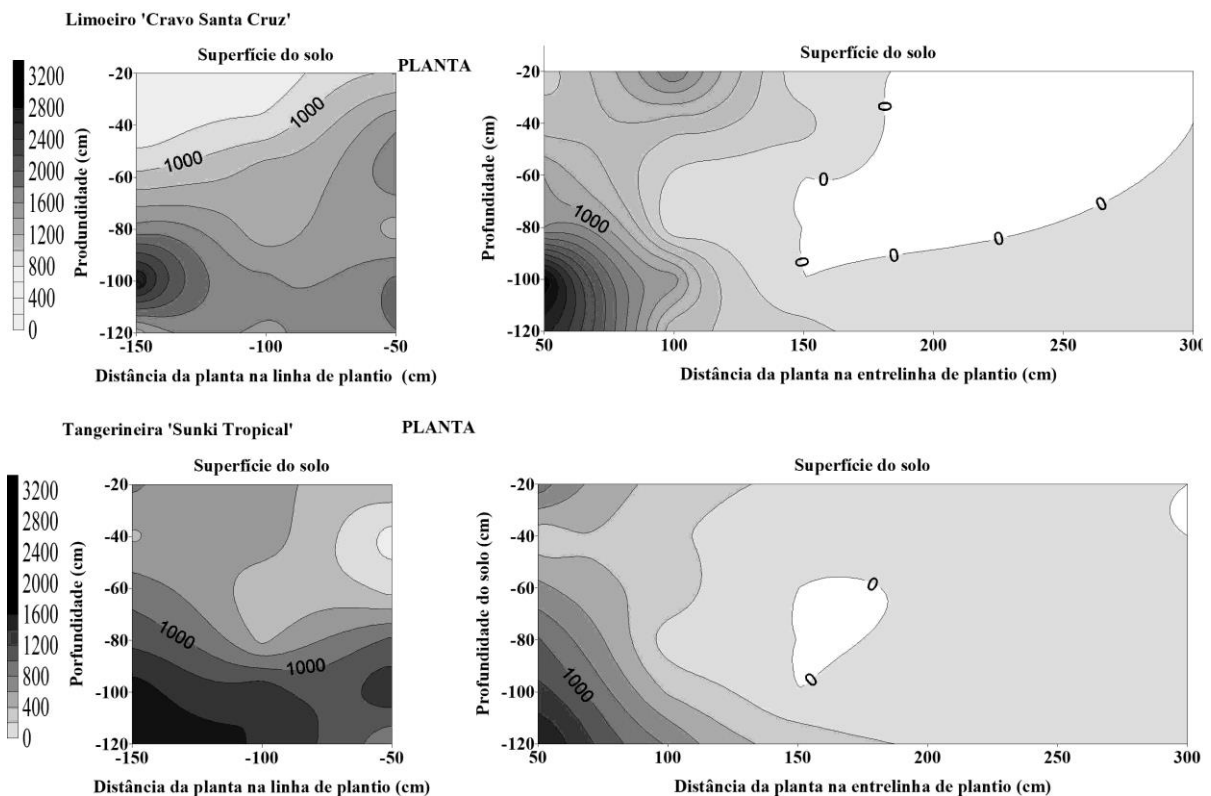


Figura 12. Distribuição do comprimento específico de raiz (SRL), em cm g^{-1} , no perfil longitudinal e ortogonal à fileira de plantas, da laranjeira 'Pera', sob diferentes combinações de porta-enxerto, Limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LC) e Tangerineira 'Sunki Tropical' (TSKT). Fazenda Lagoa do Coco, BA.

As práticas de manejo adotadas não alteraram significativamente a massa seca de raiz (MSR) ao longo da linha e entrelinha de plantio. Em geral, observa-se valores maiores em superfície devido à maior concentração de raiz (Figura 13).

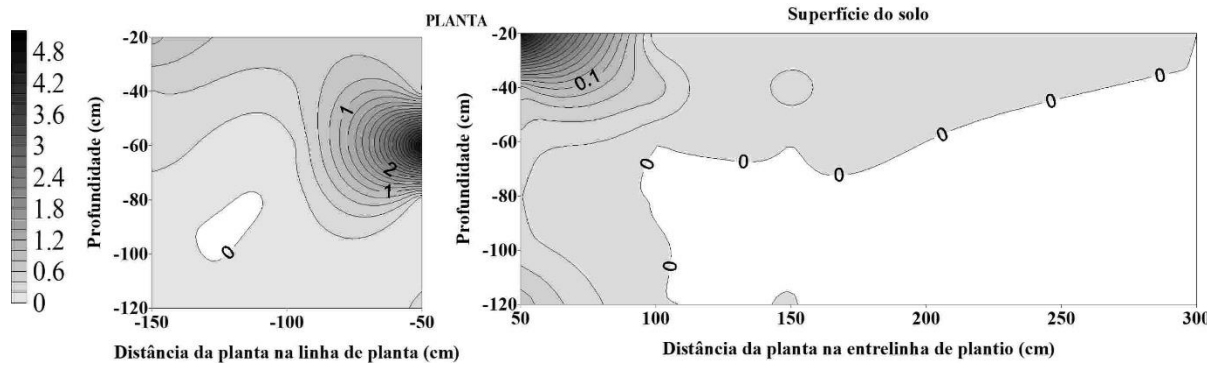


Figura 13. Distribuição da massa seca de raiz (MSR), em g, no perfil longitudinal e ortogonal à fileira de plantas, da laranjeira 'Pera'. Fazenda Lagoa do Coco, BA.

DISCUSSÃO

Independente das condições climáticas e das práticas de manejo adotadas (tipo de plantio e manejo do solo), a umidade do solo atinge valores maiores próximo à superfície (Figura 3), nos primeiros 0,40 m, onde também se concentraram as raízes (Figura 10), como resultado do impedimento físico promovido pela presença dos horizontes coesos (Tabela 1), que pode ter efeitos sobre o aumento da resistência mecânica do solo em níveis críticos para expansão radicular, má oxigenação e baixa disponibilidade de água para as plantas (CINTRA, 2011; TRACY et al., 2011), contribuindo, conforme Cintra, Libardi e Jorge (1999), para a formação de um sistema radicular denso e raso, que cresce de forma paralela à superfície, acima da camada coesa.

O perfil de enraizamento longitudinal à linha de plantio foi superior ao perfil ortogonal à linha de plantio, provavelmente devido à contribuição do sistema radicular de ambos os porta-enxertos atribuída ao espaçamento de plantio com maior densidade de plantas, que vem sendo recomendado para citricultura (WHEATON et al. 1990; AZEVEDO et al., 2015); como também por ser uma área mais sombreada, sem tráfego de máquinas e revolvimento do solo, comparativamente mais úmida (SOUZA; SOUZA; LEDO, 2007) devido ao reduzido potencial de evaporação da água do solo somado a menor competição com as plantas invasoras e a maior concentração

de adubos, fatores que contribuem para maior concentração de raízes sob a projeção da copa.

As raízes se concentraram a uma distância horizontal de até 1,5 m da planta, nos primeiros 0,40 m de profundidade (64% de todo sistema radicular), com 50% nos primeiros 0,20 m a partir da superfície do solo, posição no perfil do solo associada às maiores umidades do solo ao longo das datas avaliadas (Figura 3). A superficialização do sistema radicular também foi verificada para outros pomares cítricos de idades diferentes (REZENDE et al., 2002; SOUZA et al., 2008), mesmo sob condições irrigadas (COELHO et al., 2002; SOUZA; SOUZA; LEDO, 2007) e sem impedimentos físicos do solo (ABRÊU; SALVIANO, 2007; ZACCHEO et al., 2012), o que pode ser uma característica natural da planta.

Santana et al. (2006) salientam que a maior concentração de raízes nos horizontes mais superficiais está também associada à maior atividade biológica e à disponibilidade de água e de nutrientes. Já o decréscimo na densidade de raízes em profundidade relaciona-se com o aspecto coeso e conseqüente aumento da densidade do solo e da resistência do solo à penetração, aliados ao maior teor de argila, aumento da microporosidade e diminuições da matéria orgânica, da porosidade total e da macroporosidade. Esse aspecto se agrava em pomares perenes devido aos efeitos do tráfego de máquinas e da mecanização ao longo dos anos (FIDALSKI; TORMENA; SILVA, 2007). No presente estudo, limitações físico-hídricas do solo foram constatadas pela redução da armazenagem de água abaixo do horizonte BA (0,18-0,39 m) ao longo das avaliações (Tabela 1, Figura 3) associada ao aumento da resistência mecânica à penetração de raiz - RPM (Figura 4), o que de fato reforça a relação inversa entre umidade do solo e a RPM, no aprofundamento radicular, corroborando com os resultados obtidos por Silveira et al. (2010).

Gao et al. (2016) citam que o crescimento radicular é inibido em RPM > 2,5 MPa e na maioria das circunstâncias os aumentos da RPM em profundidade são suficientemente grandes para confinar a maioria das raízes profundas ao alongamento dos poros estruturais existentes. Segundo esses autores, o enraizamento profundo está mais relacionado à interação entre a arquitetura radicular e a estrutura do solo do que a capacidade da raiz em deformar solos com elevado impedimento mecânico; embora essa capacidade seja uma característica importante; ainda sugerem que ela esteja mais relacionada à exploração de raízes de camadas superficiais do que ao enraizamento profundo, o que pode ter acontecido nas condições em estudo, devido

à RPM superior a 2,5 MPa a partir de 0,20 m da superfície do solo (Tabela 1, Figura 4).

As raízes crescem em condições adequadas de umidade e aeração, e segundo Souza, Souza e Carvalho (2014), a umidade do solo pode afetar tanto na aeração como nas trocas de calor entre o solo e a atmosfera, sendo a condução favorecida no solo úmido; por conseguinte, a profundidade de 0-0,40 m do solo foi a mais importante para raízes na aquisição de recursos do solo, que, por sua vez, tem influência no desempenho da planta cítrica, como Coelho et al. (2008) citam que a extração de água pelas fruteiras ocorre onde houver concentração de raízes e umidade no solo; e para as plantas com maior vigor é de se esperar uma maior expansão do sistema radicular tanto em distância da planta como em profundidade.

Segundo Clark, Whalley e Barraclough (2003) a capacidade de penetração das raízes em solos com alto impedimento mecânico está diretamente relacionada às diferenças nos diâmetros de raiz. A compactação do solo reduz o espaço poroso do solo e, nessas condições, as plantas modificam sua arquitetura radicular, via expansão de raízes laterais (pioneiras) mais curtas e mais espessas; quando o impedimento físico é imposto à raiz principal e às pioneiras, a planta lança raízes ramificadas, mais finas e filamentosas (< 2 mm), responsáveis pela extração de água e absorção de nutrientes (EISSENTAT; ACHOR, 1999; HODGE et al., 2009; JIN et al., 2017). As raízes finas, a uma profundidade de um metro, podem equilibrar a adversidade química no solo natural (RICHTER; WALTHERT, 2007). Fica evidente nesse estudo, a influência dos horizontes coesos subsuperficiais, localizados entre 0,18-0,68 m (Tabela 1), acima dos quais ocorreram as raízes mais grossas (> 2 mm) e o predomínio de raízes mais finas (< 2 mm), (Figura 11C e D), que contribuem para manter a turgescência da planta e, conseqüentemente, pelas respostas fisiológicas de tolerância à seca e vigor da planta.

Segundo Nippert e Holdo (2015), a profundidade máxima de enraizamento é comumente usada para caracterizar a susceptibilidade de espécies de plantas à seca. Isto baseia-se no pressuposto de que as espécies de plantas profundamente enraizadas teriam um maior volume de solo a explorar e deveriam ser menos suscetíveis às mudanças temporais na disponibilidade de água. A prática do plantio direto em citros presume o maior aprofundamento radicular, devido a arquitetura original do sistema radicular intacto (REZENDE, 2013; REZENDE; SHIBATA; SOUZA, 2015). Apesar disso, não houve diferença no aprofundamento do sistema radicular

entre os tipos de plantio; os resultados observados a nível de campo corroboram com Oliveira et al (2018) em estudo desenvolvido em casa de vegetação, no qual o plantio convencional (PM) do limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ associou-se ao maior vigor de raiz e parte aérea, indicando que esse sistema de plantio é adequado, a despeito do possível benefício de não cortar a raiz pivotante na semeadura direta.

Pelos resultados de arquitetura radicular associados aos dados edafoclimáticos, as plantas oriundas do plantio de sementes (PS) estão mais suscetíveis a deficiência hídrica em relação às plantas do plantio de muda protegida (PM). Isso decorre devido ao maior desenvolvimento radicular do PM (Figuras 10 e 11), propiciado pelo aumento de raízes secundárias, que pode estar relacionado ao processo convencional de formação das mudas em viveiro telado, que, devido à morte do meristema da raiz pivotante e consequente poda aérea, em tubetes suspensos, força a emissão de raízes mais finas (CARVALHO, 2001) (Figura 3), que favorecem a maior extração de água do solo (SANTOS; COELHO; AZEVEDO, 2005). Diferenças na extração de água, afetando a disponibilidade de água no perfil do solo foram observadas na avaliação de fevereiro de 2018 (Figura 2).

As características próprias de cada porta-enxerto influenciaram o vigor vegetativo, o comprimento específico de raiz (SRL) e a resistência mecânica à penetração do solo (RPM), sendo as plantas enxertadas sobre limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ (LC) mais vigorosas (Figura 7), o que pode ser um indicador da maior capacidade de extração de água no solo deste porta-enxerto, em função do SRL superior à tangerineira ‘Sunki Tropical’ (TSKT) (Figura 12), uma vez que esta variável possui relação direta com o menor diâmetro radicular, maior condutividade hidráulica radicular e maiores taxas de proliferação de raízes de porta-enxertos de citros (EISSENTAT, 1991; EISSENTAT; ACHOR, 1999).

A capacidade de maior extração de água do limoeiro ‘Cravo’ também foi verificada em estudos conduzidos em casa de vegetação (GONÇALVES et al., 2016; SANTOS et al., 2017), evidenciado pelo aumento de comprimento, volume e área de raízes e menores variações no acúmulo de flavonóides, que contribuem para sua capacidade de extrair água do solo mais rápido e que induz à manutenção do turgor, mesmo sob condições de deficiência hídrica. Assim também, em condição de campo, Sampaio et al. (2016) observaram, para o limoeiro ‘Cravo’, maior capacidade de extração de água do solo no período seco, que lhe conferiu a capacidade de manter o potencial hídrico (Ψ_w) da copa mais elevado, mesmo para níveis mais baixos de

umidade do solo, comparado com os demais porta-enxertos (limoeiro 'Volkameriano' (LVK), tangerineira 'Cleópatra'(CLEO), tangerineira 'Sunki Maravilha' (TSKMA), os citrandarins 'Indio' e 'Riverside', híbridos LVK x LCR (limoeiro 'Cravo')-010 e HTR (híbrido trifoliado)-051.

Vieira et al. (2016) constataram que o limoeiro 'Cravo' possui uma estratégia de prevenção da desidratação e mantém o crescimento sob condições de deficiência hídrica, enquanto na tangerineira 'Sunki Maravilha' a estratégia de tolerância à desidratação é focada na sobrevivência da planta, e por causa dessas estratégias contrastantes o limoeiro 'Cravo' entra em colapso mais rapidamente, enquanto a tangerineira 'Sunki Maravilha' se recupera de secas prolongadas mais eficientemente. Essas estratégias podem explicar o maior vigor vegetativo do limoeiro 'Cravo' ao longo das avaliações (Figura 7) e a precocidade na produção de frutos comparado à tangerineira Sunki Tropical (Figuras 8 e 9).

Portella et al. (2016) também verificaram o aumento das variáveis H, IVV, TCCL, TCCE e VC de plantas enxertadas sobre o porta-enxerto limoeiro 'Cravo', quando comparadas ao porta-enxerto 'Flying dragon'. Essa característica também foi observada para os componentes de produção, os quais foram dependentes da interação entre os tipos de porta-enxertos e a subsolagem (Figura 8), mas, independente da combinação dos fatores, os componentes de produção foram sempre superiores para o LC, devido ao seu maior vigor em campo (Figura 7) e maior comprimento específico de raiz-SRL (Figura 12), que provavelmente lhe possibilitou explorar maior volume de solo por unidade de investimento metabólico em seus tecidos, sendo assim mais eficiente na aquisição de água e nutrientes por unidade de carbono (GONÇALVES et al., 2016).

Dessa forma, Rezende, Shibata e Souza (2015) destacam a relevância da escolha do porta-enxerto e suas interações com a cultivar copa para formação de um pomar, especialmente levando em consideração a arquitetura radicular, em virtude da importância das raízes na absorção de água e nutrientes, nos processos metabólicos e na possibilidade de rompimento de camadas adensadas, como em solos de Tabuleiros Costeiros. Isso ressalta a supremacia do limoeiro 'Cravo' como porta-enxerto no Nordeste, confirmada com os resultados desta pesquisa.

Esse estudo deixa evidente que a compactação na estrutura do solo exercem influência sobre o crescimento radicular, isso reflete no desempenho da cultura e, apesar da variabilidade espacial e temporal, devido aos efeitos do ambiente no solo,

a prática da subsolagem não interferiu no vigor da parte aérea e radicular, sendo o plantio de muda protegida o manejo mais apropriado para o pomar nas condições de Tabuleiros Costeiros, além disso, o porta-enxerto limoeiro 'Cravo' pode ser o mais adaptativo para a citricultura nesta unidade geomorfológica.

CONCLUSÕES

O plantio de muda (PM) favoreceu o aumento do CTR, da DCR e das classes de diâmetro ao longo do perfil, além de existir uma tendência de maior extração de água do solo comparativamente ao plantio de semente (PS).

As plantas cultivadas sobre o porta-enxerto limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LC) foram mais precocemente produtivas e vigorosas comparadas ao porta-enxerto tangerineira 'Sunki Tropical' (TSKT).

O incremento dos componentes de produção foi superior para o plantio de muda PM, associado ao limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LC) e à prática de manejo sem subsolagem (SS).

Independente das práticas de manejo adotadas, as raízes se concentraram a menores distâncias horizontais da planta e em superfície, nos primeiros 0,40 m do solo, juntamente com a umidade do solo, devendo ser o melhor indicador do vigor, produtividade e status hídrico da planta, cultivada em condições de sequeiro.

AGRADECIMENTOS

À Fazenda Lagoa do Coco, à EMBRAPA-CNPMPF, à FABESP e à CAPES, por todo apoio e suporte necessários à realização deste trabalho. Ao CNPq pelo suporte financeiro ao autor MACF (processo: 311327/2015-0).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrêu, F. L. G. & Salviano, A. A. C. (2007). Sistema radicular de três porta-enxertos para lima ácida 'tahiti' no estado do Piauí. *Semina: Ciências Agrárias*, 28 (2), 187-194.
- Azevedo, F. A., Pacheco, C. A., Schinor, E. H., Carvalho, S. A. & Conceição, P. M. (2015). Produtividade de laranja Folha Murcha enxertada em limoeiro Cravo sob adensamento de plantio. *Bragantia*, Campinas, 74 (2), 184-188. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0374>.

- Calfa, C. H. Subsolação em solo coeso de Tabuleiro Costeiro e desenvolvimento da lima da 'Pérsia' com porta-enxerto semeado no local definitivo do pomar. 2010.110 f. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental, Hidrogeologia e Recursos Hídricos) – Instituto de Geociências da UFBA, Salvador, 2010.
- Carvalho, L. M., Carvalho, H. W. L., Soares Filho, W. S., Martins, C. R. & Passos, O. S. (2016) Porta-enxertos promissores, alternativos ao limoeiro 'Cravo', nos Tabuleiros Costeiros de Sergipe. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 51(2), 132-141.
- Carvalho, S. A. Propagação dos citros. *Informe Agropecuário*, v.22, n.209, p.21-25, 2001.
- Cintra, F. L. D. Caracterização da região produtora: solo e clima. In: MELO, M. B., SILVA, L. M. S. Aspectos técnicos dos citros em Sergipe. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2006.
- Cintra, F. L. D. Manejo de Solos Coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: Tofaneli, M. B. D., Silva, T. O. Manejo Ecológico e Conservação dos Solos e da Água no Estado de Sergipe. 1. ed. São Cristóvão: UFS, 2011. Cap. 5, p.205-226.
- Coelho, E. F., Oliveira, F. C., Araújo, E. C. E. & Vasconcelos, L. F. L. (2002) Distribuição de raízes de laranja 'Pera' sob sequeiro e irrigação por microaspersão em solo arenoso. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 37(5), 603-611. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002000500005>
- Clark, L. J., Whalley, W. R. & Barraclough, P. B. (2003). How do roots penetrate strong soil? *Plant and Soil*, 255(1), 93–104. doi:10.1023/a:1026140122848
- Coelho, E. F., Simões, W. L., Carvalho, J. E. B. & Coelho Filho, M. A. Distribuição de raízes e extração de água do solo em fruteiras tropicais sob irrigação. 1. ed. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2008, 80 p.
- Cunha Sobrinho, A. P., Passos, O. S & Soares Filho, W. S. Cultivares porta-enxerto. In: Cunha Sobrinho, A. P., Magalhães, A. F. J., Souza, A. S, Passos, O. S, Soares Filho, W. S. Ed(s). *Cultura dos citros*. Brasília, DF: Embrapa, 2013, Cap.9, p.233-271.
- Eissenstat, D. (1991). On the relationship between specific root length and the rate of root proliferation: a field study using citrus rootstocks. *New Phytologist*. 118. 63 - 68. 10.1111/j.1469-8137.1991.tb00565.x.
- Eissenstat, D. & Achor, D. (1999). Anatomical Characteristics of Roots of Citrus Rootstocks that Vary in Specific Root Length. *The New Phytologist*, 141(2), 309-321. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/2588562>

- Fidalski, J., Tormena, C. A., & Scapim, C. A. (2007). Espacialização vertical e horizontal dos indicadores de qualidade para um latossolo vermelho cultivado com citros. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 31(1), 9–19. doi:10.1590/s0100-06832007000100002
- Fonseca, M. H. P., Guerra, H. O. C., Lacerda, R. D. & Barreto, A. N. (2007) Uso de propriedades físico-hídricas do solo na identificação de camadas adensadas nos Tabuleiros Costeiros, Sergipe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11(4), 368–373.
- Gao, W., Hodgkinson, L., Jin, K., Watts, C. W., Ashton, R. W., Shen, J., Ren, T., Dodd, I. C., Binley, A. M., Phillips, A. L., Hedden, P., Hawkesford, M. J. & Whalley, W. R. (2016). Deep roots and soil structure. *Plant, Cell & Environment*. 39 (8),1662-1668.
- Gonçalves, L. P., Alves, T. F. O., Martins, C. P. S., Sousa, A. O., Santos, I. C., Pirovani, C. P., Almeida, A. F., Coelho Filho, M. A., Gesteira, A. S., Soares Filho, W. S., Girardi, E. A. & Costa, M. G. C. (2016). Rootstock-induced physiological and biochemical mechanisms of drought tolerance in sweet orange. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38(7). doi:10.1007/s11738-016-2198-3
- Hodge, A., Berta, G., Doussan, C., Merchan, F., & Crespi, M. (2009). Plant root growth, architecture and function. *Plant and Soil*, 321(1-2), 153–187. doi:10.1007/s11104-009-9929-9.
- Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: produção agrícola municipal, 2017. Disponível em:http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/brasil/laranja/b1_laranja.pdf. Acesso em: 30/11/2018.
- Jacomine, P. K. T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: *Workshop-Coesão Em Solos Dos Tabuleiros Costeiros, 2001, Aracaju, SE. Anais...* Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p. 19-46.
- Jin, K., White, P. J., Whalley, W. R., Shen, J. & Shi, L. (2017). Shaping an Optimal Soil by Root–Soil Interaction. *Trends in Plant Science*, 22(10), 823–829. doi:10.1016/j.tplants.2017.07.008
- Martins, C. R., Teodoro, A. V. & Carvalho, H. W. L. (2014) Citricultura no Estado de Sergipe. *Citricultura Atual*, 17(103),14-17.
- Medeiros, J. C., Figueiredo, G. C., Mafra, Á. Luiz., Rosa, J. D. & Yoon, S. W. (2013). Deep subsoiling of a subsurface-compacted typical hapludult under citrus orchard. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37(4), 911-919.

- Nippert, J. B. & Holdo, R. M. (2015) Challenging the maximum rooting depth paradigm in grasslands and savanas. *Functional Ecology*, 29, 739–745.
- Oliveira, L. B., Coelho Filho, M.A., Arriero, S. S., Gomes Júnior, F.A., Cova, A. M. W., Soares Filho, W. S. & Gesteira, A. S. (2018) Ability of citrus root system to overcome a strong wax layer. *Journal of Agricultural Science*. 10(10), 2018. <http://doi.org/10.5539/jas.v10n10p213>
- Passos, O. S., Peixoto, L. S.; Santos, L. C., Caldas, R. C. & Soares Filho, W. S. (2006) Caracterização de híbridos de *Poncirus trifoliata* e de outros porta-enxertos de citros no Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 28 (3), 410-413.
- Passos, O. S., Soares Filho, W. S. & Barbosa, C. J. (2009) A laranjeira 'Pera D-6 CNPMF' é portadora de estirpe fraca de VTC e tem sido a base da citricultura do Nordeste e Norte do Brasil. *Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical*. 4p.
- Portella, C. R., Marinho, C. S., Amaral, B. D., Carvalho, W. S. G., Campos, G. S., Silva, M. P. S. & Sousa, M. C. (2016) Desempenho de cultivares de citros enxertadas sobre o trifoliato 'Flying Dragon' e limoeiro 'Cravo' em fase de formação do pomar. *Bragantia*, 75 (1), 70-75.
- Rezende, J. O., Magalhães A. F. J., Shibata, R. T., Rocha, E. S., Fernandes, J. C., Brandão, F. J. C. & Rezende, V. J. R. P. *Citricultura nos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros: análise e sugestões*. Salvador: SEAGRI/SPA, 2002.
- Rezende, J. O. (2011). Um olhar sobre a citricultura do Estado da Bahia. *Revista Bahia Agrícola*, 9(1), 72-83.
- Rezende, J. O. (2013) O plantio direto dos citros: mito ou realidade? *Revista Bahia Agrícola*, 9(2), p.72-85.
- Rezende, J. O., Shibata, R. T. & Souza, L. S. *Justificativa e recomendações técnicas para o "plantio direto" dos citros nos Tabuleiros Costeiros: ênfase na citricultura dos Estados da Bahia e Sergipe*. 1. ed. Cruz das Almas: UFRB, 2015. 240 p.
- Richter, A. K., Walthert, L., Frossard, E., & Brunner, I. (2007). Does low soil base saturation affect fine root properties of European beech (*Fagus sylvatica* L.)? *Plant and Soil*, 298(1-2), 69–79. doi:10.1007/s11104-007-9338-x
- Rodrigues, M. J. S., Ledo, C. A. S., Girardi, E. A., Almeida, L. A. H. & Soares Filho, W.S. (2015). Caracterização de frutos e propagação de porta-enxertos híbridos de citros em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 37(2). 457-470. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-068/14>

- Rolim, G. S., Sentelhas, P. C. & Barbieri, V. (1998) Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 6(1),133-137.
- Sampaio, A. H. R., Coelho Filho, M. A., Souza, L.D., Brito, R.F. & Silva, R. O. (2016) Yield and quality of 'pera' sweet Orange grafted on different rootstocks under rainfed conditions. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 38, (3), 771-779.
- Santana, M. B., Souza, L. S., Souza, L. D. & Fontes, L. E. F. (2006) Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de Tabuleiros Costeiros do estado da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30(1),1-12. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000100001>
- Santos, D. B., Coelho, E. F. & Azevedo, C. A. V. (2005). Absorção de água pelas raízes do limoeiro sob distintas frequências de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9(327-333). <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662005000300006>.
- Santos, I. C., Almeida, A. F., Pirovani, C. P., Costa, M. G. C., Silva, M. F. G. F., Belleite, B. S., Freschi, L., Soares Filho, W. S, Coelho Filho, M. A. & Gesteira, A. S. (2017). Differential accumulation of flavonoids and phytohormones resulting from the canopy/rootstock interaction of citrus plants subjected to dehydration/rehydration. *Plant Physiol Biochem*. 119, 147-158. doi: 10.1016/j.plaphy.2017.08.019.
- Silveira, D. C., Melo Filho, J. F., Sacramento, A. S. & Silveira, E. C. P. (2010). Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo amarelo distrocoeso no Recôncavo da Bahia, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 34, 659-667.
- Soares Filho, W. S. et al. (2002) 'Tropical': uma nova seleção de tangerina 'Sunki'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 24 (1), 127-132, 2002.
- Souza, L. D., Souza, L. S. & Ledo, C. A. S. (2007) Sistema radicular dos citros em Neossolo Quartzarênico dos Tabuleiros Costeiros sob irrigação e sequeiro. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 42(10),1373-1381. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007001000002>
- Souza, L.S., Souza, L. D. & Carvalho, J. E. B. (2014) Adubação verde na física do solo. In: Lima Filho, O. F., Ambrosano, E. J., Rossi, F., Carlos, J. A. D. (Eds). *Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática*. Brasília, DF: Embrapa, Cap 9, p. 355-370.
- Souza, L. S., Souza, L. D., Paiva, A. Q., Rodrigues, A. C. V. & Ribeiro, L. S. (2008) Distribuição do sistema radicular de citros em uma toposseqüência de solos de

- tabuleiro costeiro do estado da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(2), 503-513, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000200005>
- Stevens, R. M., Harvey, G. & Aspinall, D. (1995). Grapevine growth of shoots and fruit linearly correlate with water stress indices based on root-weighted soil matric potential. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 1(2), 58–66. doi:10.1111/j.1755-0238.1995.tb00079.
- Stolf, R., Fernandes, J. & Furlani Neto, V. L. Penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf: recomendação para seu uso. *STAB*, 1:18-23, 1983. [(Reeditado: Piracicaba, IAA/PLANALSUCAR, 1983. 9p. (Série Penetrômetro de Impacto. Boletim, 1)]
- Stolf, R. (1991) Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 15, 229-235.
- Stolf, R et al. (2014). Penetrômetro de impacto stolf - programa computacional de dados em EXCEL-VBA. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 38(3), 774-782. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000300009>.
- Tracy, S. R., Black, C.R., Roberts, J. A. & Mooney, S. J. (2011). Soil compaction: a review of past and present techniques for investigating effects on root growth. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 91 (9), 1528-1537. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4424>
- Vieira, D. D. S. S., Freschi, L., Almeida, L. A. H., Moraes, D. H. S., Neves, D. M., Santos, L. M. & Gesteira, A. S. (2016). Survival strategies of citrus rootstocks subjected to drought. *Scientific Reports*, 6(1). doi:10.1038/srep38775
- Wheaton, T. A., Castle, William, Whitney, J. D., Tucker, D. P. H. & Muraro, R. P. (1990). A High Density Citrus Planting. *Proc. Florida State Horticultural Society*. 103. 55-59.
- Zaccheo, P. V. C., Neves, C. S. V. J, Srenzel, N. M. C. & Okumura, R. S. (2012) Distribuição do sistema radicular de porta-enxertos sob laranja 'Folha Murcha' em clima subtropical. *Semina: Ciências Agrárias*, 33(3), 921-930. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n3p921>

6. CAPÍTULO III

RAÍZES DE CITROS CRESCEM PREFERENCIALMENTE POR MACROPOROS ARTIFICIAIS EM SOLOS COM ALTA COMPACIDADE³

³ Artigo a ser ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico: Plant Soil.

RAÍZES DE CITROS CRESCEM PREFERENCIALMENTE POR MACROPOROS ARTIFICIAIS EM SOLOS COM ALTA COMPACIDADE

RESUMO: Macroporos artificiais (MA) são canais de menor resistência ao enraizamento da planta, e que permitem o acesso a água, oxigênio e nutrientes em solos com alta compactação. Avaliamos o efeito do número e da distribuição vertical de macroporos artificiais (MA) em colunas de solo compactado em casa de vegetação (experimentos I, II e III), durante um ciclo de secamento do solo e em campo (experimentos IV), na presença de horizontes coesos (Latosolo Amarelo Distrocoeso), quanto ao crescimento vegetativo, arquitetura radicular e trocas gasosas de plantas cítricas (limoeiro 'Cravo Santa Cruz' e laranjeira 'Pera' enxertada em limoeiro 'Cravo Santa Cruz'). Todos os experimentos foram instalados nas dependências da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, Bahia. As imagens do sistema radicular revelaram que as raízes do limoeiro 'Cravo Santa Cruz' cresceram preferencialmente pelos macroporos artificiais em colunas de solos compactados, embora seu número e distribuição não tenham afetado o crescimento da parte aérea, trocas gasosas e o volume de raiz, o que pode ser atribuído a exploração máxima dos recursos do solo na camada superior, sem impedimento físico. Fica evidente nos demais experimentos em casa de vegetação, que o crescimento das raízes é condicionado aos atributos físicos do solo, sendo as camadas controle, sem impedimento físico, favoráveis ao melhor desempenho da cultura e a tolerância a deficiência hídrica. Em campo, para obter resultados mais substanciais por se tratar do primeiro trabalho com macroporos artificiais envolvendo uma planta perene, são necessárias mais avaliações para caracterização das respostas fisiológicas no período seco e úmido, bem como a distribuição do sistema radicular.

Palavras-chave: arquitetura radicular, deficiência hídrica, coesão, porosidade do solo

CITRUS ROOTS PREFERENTIALLY GROW BY ARTIFICIAL MACROPORES IN SOILS WITH HIGH COMPACTNESS

ABSTRACT: Artificial macropores (MA) are channels of lower resistance to plant rooting, allowing access to water, oxygen and nutrients in soils with high compactness. We evaluated the effect of number and vertical distribution of artificial macropores (MA) on columns of compacted soil in greenhouse (experiments I, II and III) during a soil and field drying cycle (IV experiments), in the presence (Latosolo Amarelo Distrocoeso), as regards vegetative growth, root architecture and gaseous exchanges of citrus plants ('Cravo Santa Cruz' lemon tree and 'Pera' orange tree grafted on 'Cravo Santa Cruz' lemon tree). All the experiments were installed in the Embrapa Mandioca and Fruticultura facilities, Cruz das Almas, Bahia. The images of the root system showed that the roots of the 'Cravo Santa Cruz' lime grew preferentially by the artificial macropores in columns of compacted soils, although their number and distribution did not affect area growth, gaseous exchanges and root volume, attributed to the maximum exploitation of the soil resources in the upper layer, without physical impediment, used in all treatments of experiment I. It is evident in the other greenhouse

experiments that root growth is conditioned to the physical attributes of the soil, and the layers are unimpeded, in favor of better crop performance and tolerance to water deficiency. In the field, to obtain more substantial results because it is the first work with artificial macropores involving a perennial plant, further evaluations are necessary to characterize the physiological responses in the dry and humid period, as well as the distribution of the root system.

Key words: root architecture, water deficiency, cohesion, soil porosity

INTRODUÇÃO

A compactidade (compactação e/ou adensamento) do solo tem implicações sobre a arquitetura radicular, embora seus efeitos iniciais sobre a planta não sejam imediatamente óbvios, o que torna difícil mensurá-los, especialmente porque as raízes crescem no solo, em meio poroso e opaco, de onde não podem ser extraídas ou observadas sem introduzir artefatos, destruindo-as, ou impedindo a análise subsequente do mesmo indivíduo no tempo (LYNCH, 1995).

Além disso, os fatores físicos do solo, que limitam o crescimento radicular devido à impedimentos físicos causados pela compactação e/ou adensamento, como em solos coesos dos Tabuleiros Costeiros, não atuam isoladamente, mas sim em conjunto, incluindo o aumento da resistência à penetração, má aeração, redução do fluxo de água, acúmulo de gases tóxicos e exsudados radiculares, entre outros.

A interação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros com o clima, caracterizado pela distribuição irregular de chuvas, face às características de produção predominantemente de sequeiro, constituem um desafio constante à citricultura, por causar estresses na planta, com efeito na sua longevidade e na redução da produtividade, peso e qualidade dos frutos.

Cintra (2006, 2011) ressaltam que as restrições ao sistema radicular dos citros impostas pelos horizontes coesos, em solos de Tabuleiros Costeiros, tornam a cultura vulnerável à escassez hídrica e, sua maior ou menor tolerância à seca está diretamente relacionada à distribuição radicular e à densidade de raízes, devido à estreita relação deste órgão com a absorção da água. Dessa forma, o desempenho de pomares cítricos nessa unidade geomorfológica está condicionado ao conhecimento das peculiaridades do impacto da compactidade do solo, aliada ao seu secamento, na arquitetura radicular e do ajuste de práticas de manejo agrícola para as condições específicas, como a criação de macroporos artificiais.

De acordo com Nakamoto (2000), desde que haja poros suficientemente grandes, as raízes podem se desenvolver em solos com alta resistência à penetração mecânica. A presença de macroporos ou fissuras permite as raízes atravessarem camadas de solos que seriam impenetráveis e terem acesso a um reservatório maior de água e de nutrientes. Os macroporos não são apenas fisicamente diferentes dos demais poros, eles podem ser ricos em microorganismos, sendo as raízes que neles crescem beneficiadas de várias maneiras, através de simbiose e liberação de nutrientes (PASSIOURA, 1991).

Estudos recentes (ZHOU et al., 2013; MORI; FUJIHARA; YAMAGISHI, 2014; MORI; HIRAI, 2014; PFEIFER; KIRCHGESSNER; WALTER, 2014; COLOMBI et al., 2017) evidenciam que a criação de macroporos artificiais em solos excessivamente compactados podem melhorar a estrutura do solo, reduzir o escoamento superficial, aumentar a infiltração em profundidade, favorecer o incremento de matéria orgânica e, conseqüentemente, da biomassa vegetal, por constituir um canal de menor resistência e fonte de oxigênio para as raízes, ambos resultando em maior desenvolvimento das culturas. Além disso, pode servir como alternativa às operações de mecanização comumente praticadas nos pomares, para melhorar a drenagem e a aeração do solo.

Portanto, esse é o primeiro estudo com uso de macroporos artificiais no cultivo de uma cultura perene, que tem por objetivo avaliar o efeito de macroporos artificiais em camadas compactadas/adensadas de solo, quanto ao vigor, trocas gasosas e arquitetura radicular de plantas cítricas, na condição de campo e em ambiente protegido, e ainda, verificar se o número e a distribuição de macroporos artificiais influenciam na exploração do volume de solo pelas raízes.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi dividido em quatro experimentos, três conduzidos em casa de vegetação e um em campo, todos nas instalações da Embrapa Mandioca e Fruticultura, situada no Município de Cruz das Almas, BA (Latitude, 12°40'39''S, Longitude, 39°06' 23''W e Altitude, 225m), no período compreendido entre os anos de 2017 e 2018.

Material vegetal

Em casa de vegetação foram avaliados seedlings nucelares (plantas oriundas de semente, transplantadas aos dois meses após a semeadura) do porta-enxerto, limoeiro 'Cravo' (*Citrus limonia* Osbeck), seleção 'Santa Cruz', devido à sua importância e difusão na citricultura baiana, relacionadas às características de tolerância à seca e ao vírus da tristeza dos citros, como também, pela facilidade de obtenção de sementes, vigor no viveiro e bom desenvolvimento em campo (CUNHA SOBRINHO; PASSOS; SOARES FILHO, 2013).

Em campo, utilizou-se a muda cítrica formada pela combinação do referido porta-enxerto com a copa de laranjeira 'Pera' (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), seleção 'CNPMF D-6', cultivar bastante difundida no Brasil, com destaque no mercado in natura e na indústria de suco (PASSOS; CUNHA SOBRINHO; SOARES FILHO, 2013).

Experimentos em casa de vegetação

As plantas foram cultivadas em colunas de solo em tubos de policloreto de vinila (PVC), com 0,15 m de diâmetro externo e 0,50 m de altura, revestidas internamente com caulim (38% de Al_2O_3) umedecido, visando prevenir o crescimento preferencial de raízes na interface solo e PVC, baseado em estudos realizados por Alvarenga et al (1996), Foloni, Lima e Büll (2006) e Jimenez (2008). O solo (Latossolo Amarelo distrocoeso) após receber calagem e adubação, foi seco ao ar, homogeneizado e peneirado em malha de 4 mm, para posterior montagem das unidades experimentais.

As colunas foram preenchidas com materiais fisicamente distintos, areia lavada e/ou solo. As camadas que receberam solo foram preenchidas de modo que sua densidade correspondesse a $1,3 \text{ g cm}^{-3}$ ou $1,6 \text{ g cm}^{-3}$, representando o solo solto, sem restrições físicas à raiz, e o solo compactado, com restrições físicas ao crescimento radicular, respectivamente. As camadas que receberam areia, material poroso, representaram a ausência de impedimento físico ao desenvolvimento radicular. Diferentes combinações foram adotadas, visando testar a influência e a distribuição de macroporos artificiais (MA) como canais de menor resistência para o enraizamento e para aumentar o volume do solo explorado pela planta cítrica em solos compactados, durante um ciclo de secamento do solo.

O processo de compactação consistiu na aplicação de golpes sucessivos de uma barra de ferro concretada até atingir a espessura correspondente à camada

inferior, sendo necessário elevar a umidade do solo a 10% para realização deste procedimento.

Para confecção dos macroporos artificiais (MA) foi necessário à construção de um guia de alumínio com encaixe nas bordas do tubo, por onde se passou(ram) o(s) fio(s) de 1 mm, fixado(s) numa barra superior e inferior, para posterior compactação a cada 0,10 m até atingir a altura necessária (Apêndice B).

Experimento I

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com dez repetições e cinco perfis em colunas de solo estratificadas a saber: Controle (Ctrl): coluna totalmente preenchida com solo na densidade de $1,3 \text{ g cm}^{-3}$; Compactado (Comp): solo na densidade de $1,3 \text{ g cm}^{-3}$ na camada superior de 0,035-0,160 m e na camada inferior de 0,160-0,500 m solo compactado na densidade de $1,6 \text{ g cm}^{-3}$; coluna preenchida de acordo com o tratamento anterior e na camada inferior perfurado verticalmente por fio(s) de aço inoxidável de 1 mm de diâmetro, ao centro, Compactado com um macroporo artificial (1MA); a 1/4, 1/2 e 3/4 da parede do tubo na mesma linha, Compactado com três macroporos artificiais (3MA) e Compactado com cinco macroporos artificiais (5MA), alocados em forma de cruz, como pode ser visualizado na Figura 1.

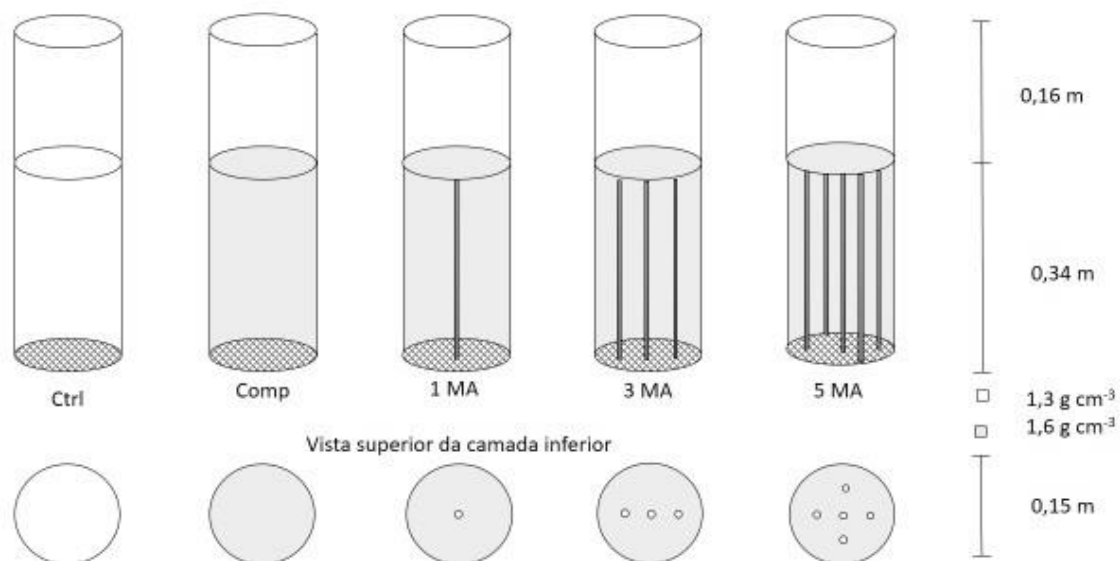


Figura 1. Desenho esquemático das unidades experimentais

A divisão das camadas superior e inferior se deu em função da altura do tubete (0,125 m) no qual as plantas foram semeadas, deixando 0,035 m de borda livre mais altura do tubete para camada superior e 0,16 m a 0,50 m para camada inferior.

Experimento II

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 5, com seis repetições, sendo dois manejos hídricos [irrigado (I) e não irrigado (NI)] e cinco perfis [Controle (Ctrl): coluna totalmente preenchida com solo na densidade de $1,3 \text{ g cm}^{-3}$; Controle e compactado (Ctrl:Comp): coluna com solo na camada superior de 0,035-0,250 m na densidade de $1,3 \text{ g cm}^{-3}$ e na camada inferior de 0,250-0,500 m, solo compactado na densidade de $1,6 \text{ g cm}^{-3}$; Compactado e areia (Comp:areia): solo compactado ($1,6 \text{ g cm}^{-3}$) na camada superior de 0,035-0,250 m e areia na camada inferior de 0,250-0,500 m; Um macroporo artificial (1MA): um macroporo artificial vertical no centro da coluna totalmente preenchida com solo compactado ($1,6 \text{ g cm}^{-3}$) e Compactado (Comp): coluna totalmente preenchida com solo na densidade de $1,6 \text{ g cm}^{-3}$], Figura 2.

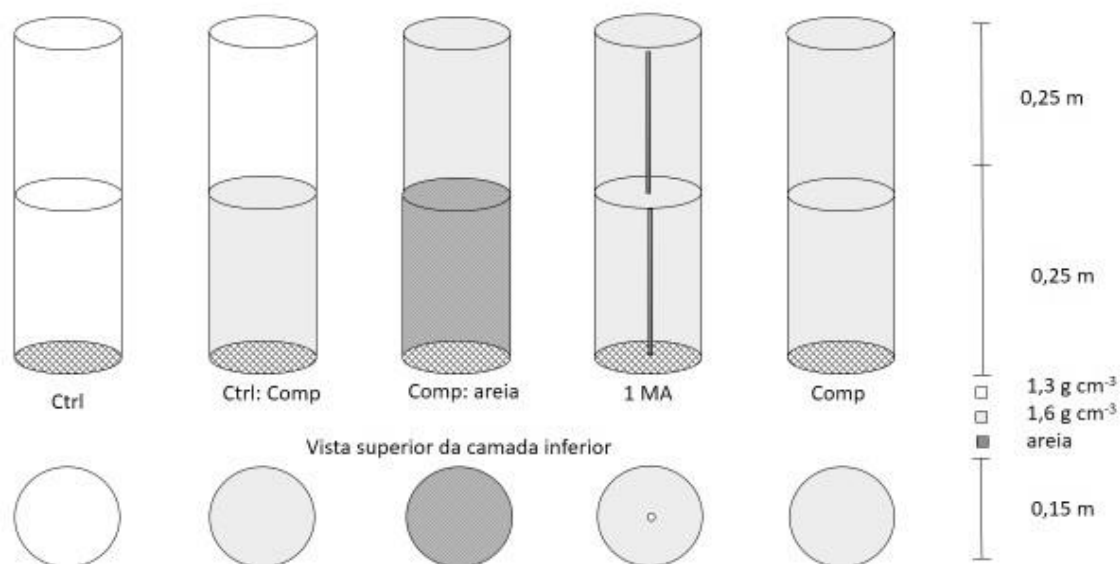


Figura 2. Desenho esquemático das unidades experimentais

Experimento III

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com dez repetições e dois perfis [Macroporo artificial e controle (1MA:Ctrl): coluna com solo compactado e um macroporo artificial vertical central, na camada superior de 0,035 - 0,250 m, e na camada inferior de 0,250 – 0,500 m, solo na densidade de $1,3 \text{ g cm}^{-3}$ e Compactado (Comp): coluna totalmente preenchida com solo na densidade de $1,6 \text{ g cm}^{-3}$], Figura 3.

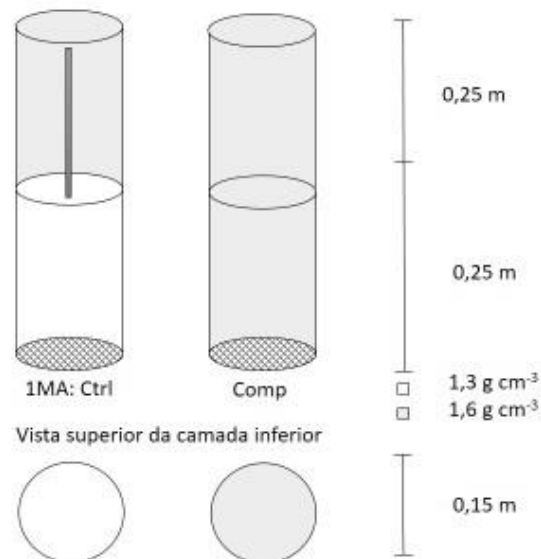


Figura 3. Desenho esquemático das unidades experimentais

Água no solo e manejo hídrico

Para monitoramento da umidade do solo, utilizou-se o método baseado no princípio da reflectometria no domínio do tempo (Time Domain Reflectometry - TDR), por meio de sensores distribuídos verticalmente e instalados a $\frac{1}{4}$ da parede do tubo, nas camadas superiores e inferiores das colunas.

As sondas de TDR foram confeccionadas no Laboratório de Irrigação e Drenagem da Embrapa Mandioca e Fruticultura com as seguintes especificações: três hastes de aço inoxidável com comprimento de 0,15 m, espaçadas entre si por 0,017 m, fixadas a um bloco de resina de poliéster com dimensões de 0,05 m x 0,05 m x 0,015 m e conectadas a um cabo coaxial de 50 ohms de 0,70 m de comprimento.

Todas as plantas foram irrigadas igualmente durante 60 dias após transplantação, elevando a umidade do solo para capacidade de vaso; passado esse período de aclimatação, a irrigação foi suspensa para os tratamentos não irrigados

por 90 dias. No experimento I os sensores foram instalados em duas repetições, enquanto que no experimento II foram instalados sensores em três repetições, com metade dos tratamentos controles irrigados até o final (Ctrl:I), sempre elevando a umidade do solo para capacidade de vaso, nos demais tratamentos foi realizado apenas o monitoramento do secamento contínuo do solo. No experimento III não foi monitorada a água no solo.

Experimento em campo

Este experimento foi instalado na área experimental pertencente à Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, Bahia, em solo classificado por Souza e Souza (2001) como Latossolo Amarelo distrocoeso, referência LAd2, de textura franco-argilosa, apresentando compactação no horizonte Ap e coesão nos horizontes AB e Bw1. Na Tabela 1, podem ser visualizados os resultados das análises físicas do solo.

Tabela 1: Retenção de água no solo mantida pela relação entre potencial e umidade volumétrica (θ), condutividade hidráulica saturada (K_{0Sat}), densidade (D_s) e porosidade, ao longo do perfil de um Latossolo amarelo coesivo distrófico. Campo experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, BA, 2016.

Prof. dos Horizontes	Potencial (k Pa) x θ (cm cm ⁻³)					K_{0Sat} mm h ⁻¹	D_s kg dm ⁻³	Porosidade (%)	
	10	33,3	100	300	1500			Macro	Micro
Ap 00-16	0,206	0,190	0,190	0,179	0,156	463	1,52	11,6	24,6
AB 16-44	0,179	0,162	0,161	0,157	0,134	23	1,56	9,8	22,0
Bw1 44-92	0,245	0,227	0,236	0,213	0,185	7	1,63	5,3	26,8
Bw2 92-140	0,228	0,183	0,183	0,178	0,166	34	1,46	12,8	26,1

Fonte: Sampaio et al. 2016.

As plantas foram conduzidas no espaçamento 4 x 2 m. A parcela experimental foi constituída por duas plantas, possuindo 4,0 m de comprimento e 4,0 m de largura, que receberam os tratamentos com macroporos artificiais (3MA, 6MA e 9MA) e o controle (Ctrl: macroporos artificiais ausentes), com 3 repetições, distribuídas ao acaso.

Perfurações com trado foram realizadas para a criação de macroporos artificiais de 0,05 m de diâmetro, preenchidos com areia lavada e a um metro de profundidade, distanciados de 0,20 m da planta, alocados no entorno das mudas da seguinte maneira: malha com três macroporos por planta (3MA) dispostos na forma triangular; malha

com seis macroporos por planta (6MA) e com nove macroporos por planta (9MA), distanciados a 0,20 m entre si na linha e entrelinha de plantio (Figura 4).

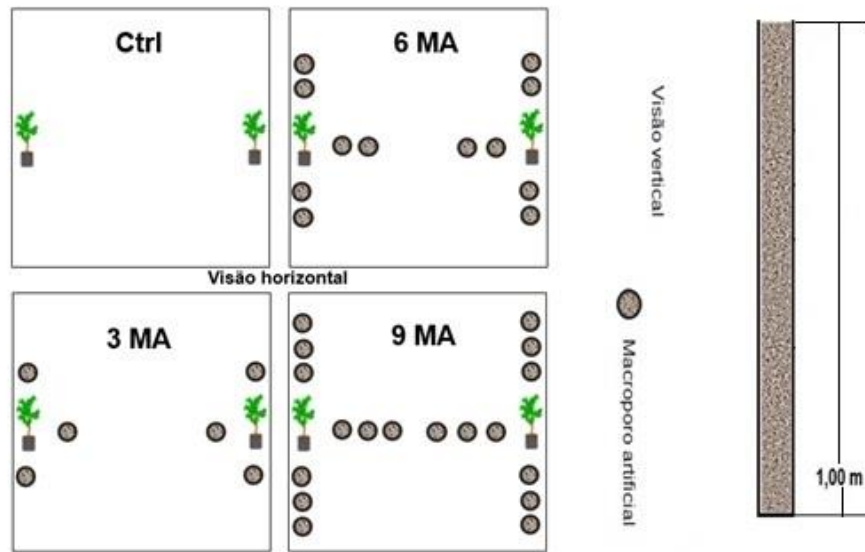


Figura 4. Desenho esquemático dos tratamentos em campo

Avaliação do crescimento da parte aérea e da arquitetura radicular

Foram mensuradas a altura (H), expressa em cm, o diâmetro do caule (DC), expresso em mm, a área foliar (AF), expressa em cm², e o número de folhas (NF), em diferentes avaliações.

Ao final dos experimentos I, II e III, após a poda da parte aérea, as raízes foram coletadas e separadas do solo/areia por lavagem e peneiramento em malha de 2 mm, posteriormente foram acondicionadas em solução de água e álcool a 30%, a uma temperatura de 4 °C até o processo de digitalização e análise, feito por meio de um scanner (EPSON Expression 11000 XL) com imagem na resolução de 400 dpi e do software WinRhizo® Pro 2013 (Regent Instruments Canada Inc., Québec, Canada), para obtenção das medidas: comprimento total de raiz (CTR), diâmetro médio total de raiz (DR) e classes de diâmetro (< 0,5; 0,5-1,0; 1,0-1,5; 1,5-2,0; 2,0-2,5; 2,5-3,0; 3,0-4,0; 4,0-4,5; >4,5 mm).

Por último, as amostras foram secas em estufa a 60° C até peso constante, para obtenção da massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), ambas expressas em g, e a relação raiz: parte aérea (RRPA), obtida pela divisão da MSR pela MSPA, adimensional. Calculou-se também a densidade de comprimento de raiz (DCR) e o comprimento específico de raiz (SRL), o primeiro obtido pela razão

entre o CTR (cm) e o volume de solo/areia (cm³) de cada coluna e o segundo pela razão entre CTR (cm) e a MSR (g).

Em campo foram realizadas três avaliações biométricas, que consistiram na determinação das seguintes medidas: altura (H), expressa em m; diâmetro da copa na direção da linha (DL) e entrelinha (DE) de plantio, expressos em m e os diâmetros do caule, 3 cm abaixo (DI) e acima (DS) do ponto de enxertia, expresso em m. A partir desses dados foram calculados conforme Portella et al. (2016), o índice de vigor vegetativo (IVV), a taxa de cobertura da copa na linha (TCCL), a taxa de cobertura da copa na entrelinha (TCCE) e o volume médio da copa (VC).

Avaliações fisiológicas

Foram realizadas medidas de fotossíntese líquida (A), expressa em $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; condutância estomática ao vapor de água (gs), expressa em mol de H₂O $\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, concentração interna de carbono (Ci), expressa em $\mu\text{mol mol}^{-1}$, e transpiração (E), expressa em $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, utilizando o analisador de gás infravermelho IRGA (ADC, modelo LCPro SD, Hoddesdon, UK) com fluxo de ar de 200 MI min^{-1} e fonte de luz acoplada de $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. As leituras foram realizadas a partir de 10h da manhã, entre a terceira e a quarta folha totalmente expandidas e fisiologicamente madura de cada planta.

Também foi mensurado o potencial hídrico foliar (Ψ_w), ao final do Experimento I com a câmara de pressão tipo 'Scholander', modelo 3115 (Soilmoisture Equipment Corp., Santa Barbara, USA), com leitura realizada a partir de 7:30, na terceira folha expandida de cada planta, sendo essa medida indicativa do estresse hídrico, quando houve murcha intensa das plantas (Apêndice B).

No experimento II foi calculada a fração de água transpirável (FAT) a partir dos valores de umidade do solo, de acordo com a metodologia adotada por Neves et al (2013), relacionada posteriormente com a variável de transpiração foliar, medida em cada planta que foi monitorada a umidade do solo, durante o período de duração do déficit hídrico (60-150 dias após o transplântio para as colunas de PVC), com os dados de cada tratamento ajustados pelo modelo, $\text{Transpiração} = 1/[1+a*\text{EXP}(-b*\text{FAT})]$.

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo Teste F ($p < 0,05$) e quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (Experimento

I, III, IV) e as interações desdobradas pelo teste de Scott-Knott (Experimento II), a 5% de probabilidade, sendo os dados de cada avaliação analisados separadamente.

RESULTADOS

Experimento I

As raízes do limoeiro 'Cravo Santa Cruz' cresceram preferencialmente pelos macroporos artificiais em colunas de solos compactados, como pode ser visualizado na Figura 5B,5C,5D.

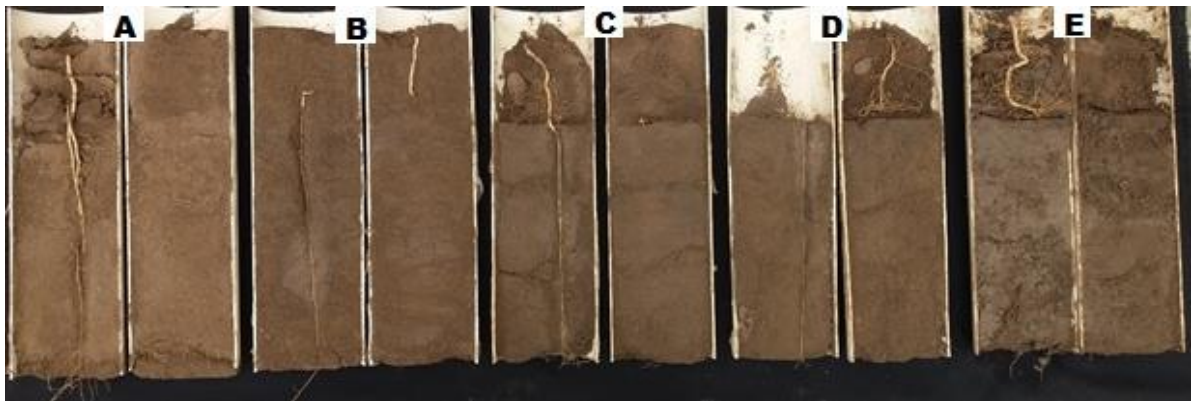
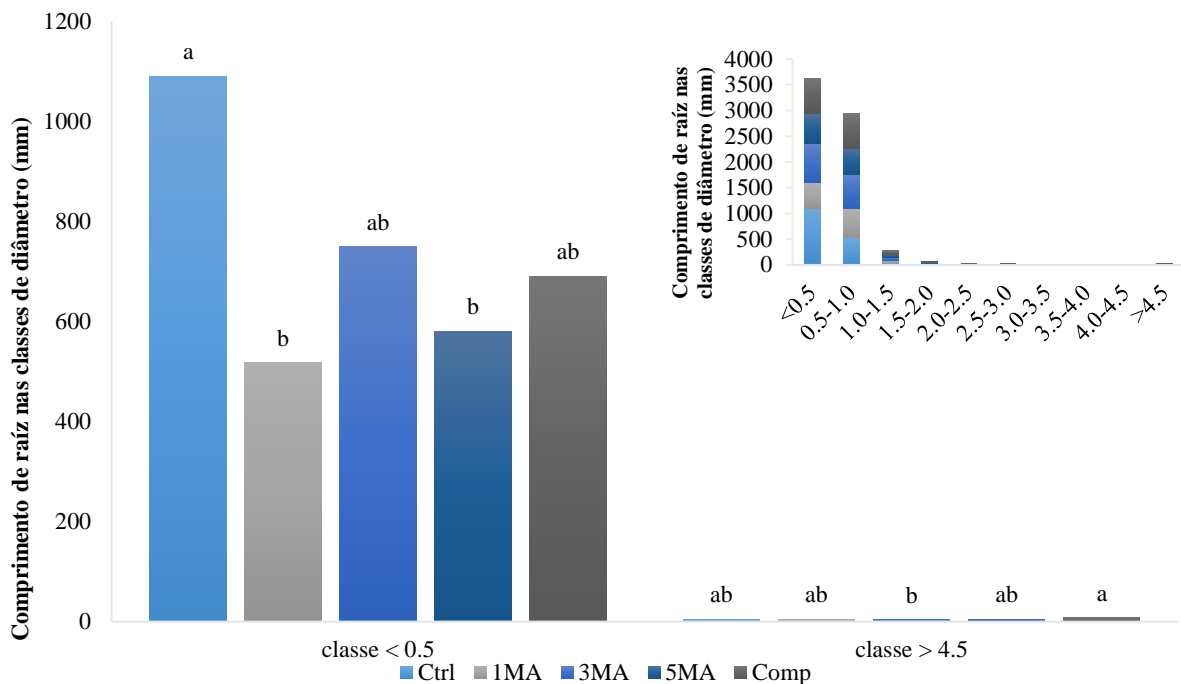


Figura 5. Imagens do corte longitudinal sequencial dos tratamentos Controle (Ctrl) (A), Compactado com um macroporo artificial vertical (1MA) (B), Compactado com três macroporos artificiais verticais (3MA) (C); Compactado com cinco macroporos artificiais verticais (5MA) (D) e Compactado (Comp) (E), aos 150 dias após o transplante do limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (C. limonia Osbeck).

Embora não tenha afetado o crescimento aéreo e radicular, à exceção do comprimento de raiz nas classes de diâmetro inferior a 0,5 mm e superior a 4,5 mm, para as raízes mais finas (<0,5 mm), houve uma maior concentração no controle (Ctrl), no entanto, não diferiu do tratamento totalmente compactado (Comp) e compactado com três macroporos artificiais verticais (3MA). Para as raízes com diâmetro superior 4,5 mm, a maior concentração foi no tratamento Comp, sendo superior ao tratamento com 3MA, o qual não diferiu dos demais. Em geral, houve o predomínio de raízes inferiores a 1 mm (Figura 6).

As medidas fisiológicas não foram afetadas pelos tratamentos adotados (Apêndice B) ao longo das avaliações e as umidades do solo apresentaram mesma tendência para o secamento contínuo das camadas superior (solo na densidade de 1,3 g cm⁻³) e inferior (solo na densidade de 1,6 g cm⁻³), que se igualaram ao final do experimento (Apêndice B).

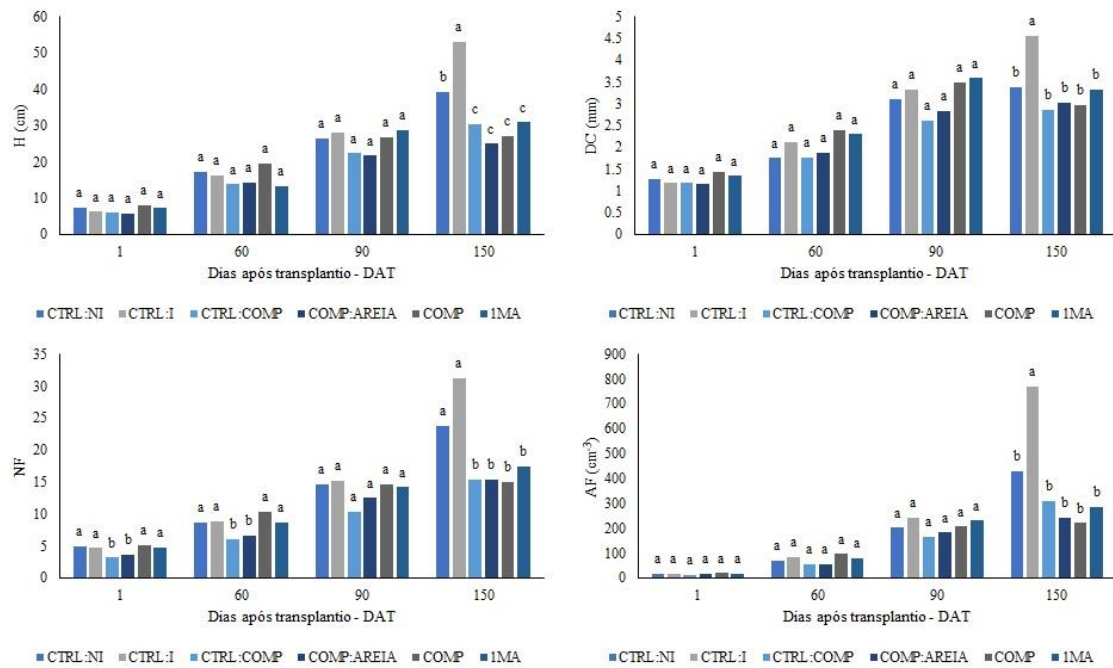


*Médias seguidas de mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 6. Comprimento de raiz em diferentes classes de diâmetro (< 0,5; 0,5-1,0; 1,0-1,5; 1,5-2,0; 2,0-2,5; 2,5-3,0; 3,0-4,0; 4,0-4,5; >4,5 mm) do limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ (*C. limonia* Osbeck), em função dos tratamentos, Controle (Ctrl), Compactado (Comp), Compactado com um macroporo artificial vertical (1MA), Compactado com três macroporos artificiais verticais (3MA) e Compactado com cinco macroporos artificiais verticais (5MA), aos 150 dias após o transplântio (DAT), com destaque para as classes < 0,5 e >4,5 mm.

Experimento II

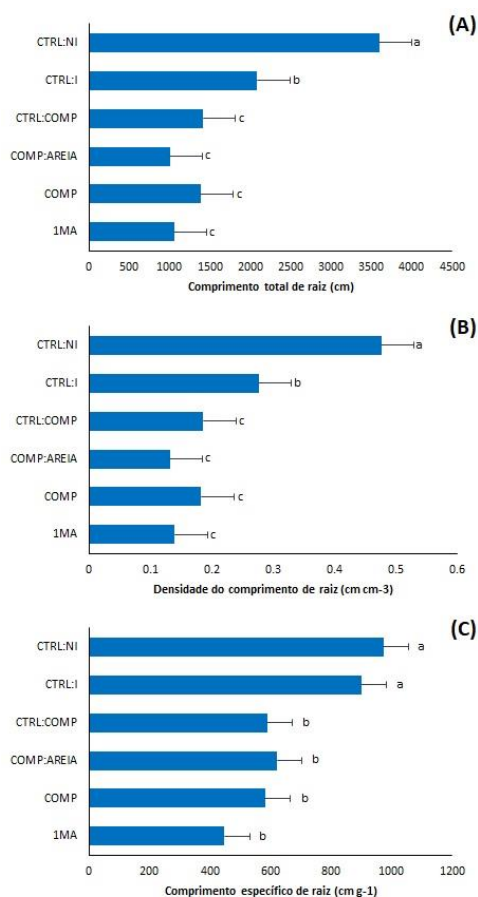
Aos 150 dias após o transplântio (DAT) das plantas de limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ para as colunas de PVC, verifica-se a superioridade dos tratamentos controle, para todas as variáveis biométricas, sendo a altura (H), o diâmetro do caule (DC) e a área foliar (AF) do controle irrigado superior aos demais tratamentos (Figura 7). A diferença do número de folha com 1 e 60 DAT, não influenciou na área foliar. As matérias seca da parte área (MSPA) e radicular (MSR) foram superiores para as plantas do tratamento controle irrigado (Ctrl:I), diferindo dos demais tratamentos. Não houve efeito significativo para relação raiz/parte aérea (RRPA).



*Médias seguidas de mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

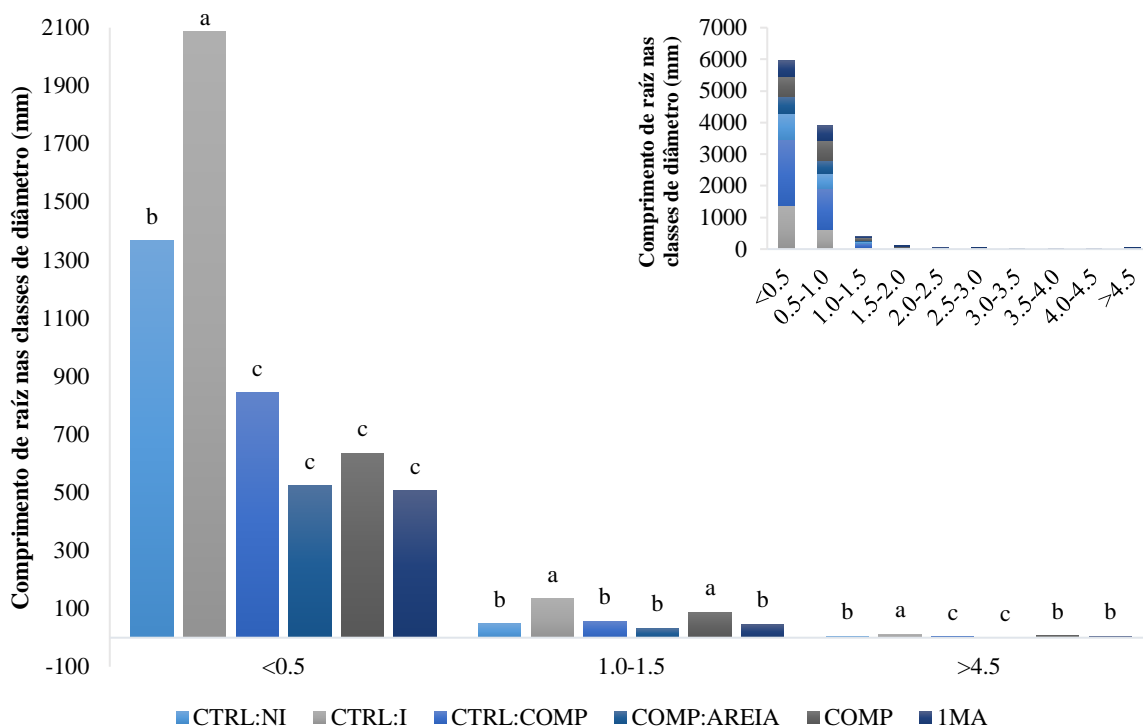
Figura 7. Altura (H), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e a área foliar (AF) dos tratamentos, Controle (Ctrl), Compactado (Comp), Compactado com um macroporo artificial vertical (1MA), Compactado com três macroporos artificiais verticais (3MA) e Compactado com cinco macroporos artificiais verticais (5MA), em função de dias após o transplante (DAT)

Houve diferença significativa ($p < 0,5$) para as variáveis de raiz, comprimento total de raiz (CTR), densidade de comprimento de raiz (DCR), comprimento específico de raiz (SRL) e classes de diâmetro. O CTR, DCR, SRL foi sempre maior para as plantas dos tratamentos controles, irrigado (Ctrl:I) e não irrigado (Ctrl:NI) em relação aos demais tratamentos, sendo o Ctrl:I favorecido pela irrigação no aumento do CTR e DCR, comparado ao Ctrl:NI (Figura 8).



*Médias seguidas de mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). **Figura 8.** Comprimento total de raiz (CTR), (A), densidade de comprimento de raiz (DCR), (B) e comprimento específico de raiz (SRL), (C), do limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, em função dos tratamentos, Controle (Ctrl), Controle na camada superior e compactado na camada inferior (Ctrl:Comp), Compactado (Comp), Compactado com um macroporo artificial vertical (1MA) e Compactado na camada superior e areia na camada inferior (Comp:areia), aos 150 dias após o transplântio (DAT).

Para a classe de raízes mais finas ($< 0,5$ mm) também foi verificado a superioridade dos tratamentos, controle irrigado e não irrigado, em relação aos demais, com destaque para o Ctrl:I, cuja concentração foi maior. Na classe de raízes mais grossas ($> 4,5$ mm) o Ctrl:I manteve sua superioridade, porém para os tratamentos sem irrigação, observa-se uma menor concentração nos tratamentos Ctrl:Comp e Comp:areia, enquanto para a classe entre 1,0-1,5 mm, o Ctrl:I não diferiu do compactado (Comp), sendo superiores aos demais tratamentos. Nas demais classes do comprimento de diâmetro de raízes, apenas houve diferença significativa ($p < 0,5$) para o Ctrl:I, o qual sempre foi superior aos outros tratamentos. Em geral, houve o predomínio do comprimento de raízes com diâmetros inferiores 1,5 mm (Figura 9).



*Médias seguidas de mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 9. Comprimento de raiz em diferentes classes de diâmetro (< 0,5; 0,5-1,0; 1,0-1,5; 1,5-2,0; 2,0-2,5; 2,5-3,0; 3,0-4,0; 4,0-4,5; >4,5 mm) do limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (*C. limonia* Osbeck), em função dos tratamentos, Controle (Ctrl), Controle na camada superior e compactado na camada inferior (Ctrl:Comp), Compactado (Comp), Compactado com um macroporo artificial vertical (1MA) e Compactado na camada superior e areia na camada inferior (Comp:areia), aos 150 dias após o transplante (DAT).

Os tratamentos adotados não afetaram a concentração intracelular de carbono ao longo das avaliações. Nas três primeiras avaliações não houve diferença significativa ($p < 0,5$) entre os tratamentos. A transpiração e a fotossíntese do tratamento compactado com areia (Comp:areia), em 9 junho de 2018, foram inferiores aos demais tratamentos. Os tratamentos sem impedimento físico na camada superior (solo na densidade de $1,3 \text{ g cm}^{-3}$) tiveram fotossíntese, transpiração e condutância estomática maior em relação aos tratamentos compactados (solo na densidade de $1,3 \text{ g cm}^{-3}$) nas avaliações de 20 e 27 de junho de 2018. No mês julho, apenas o controle irrigado foi superior aos outros tratamentos (Figura 10).

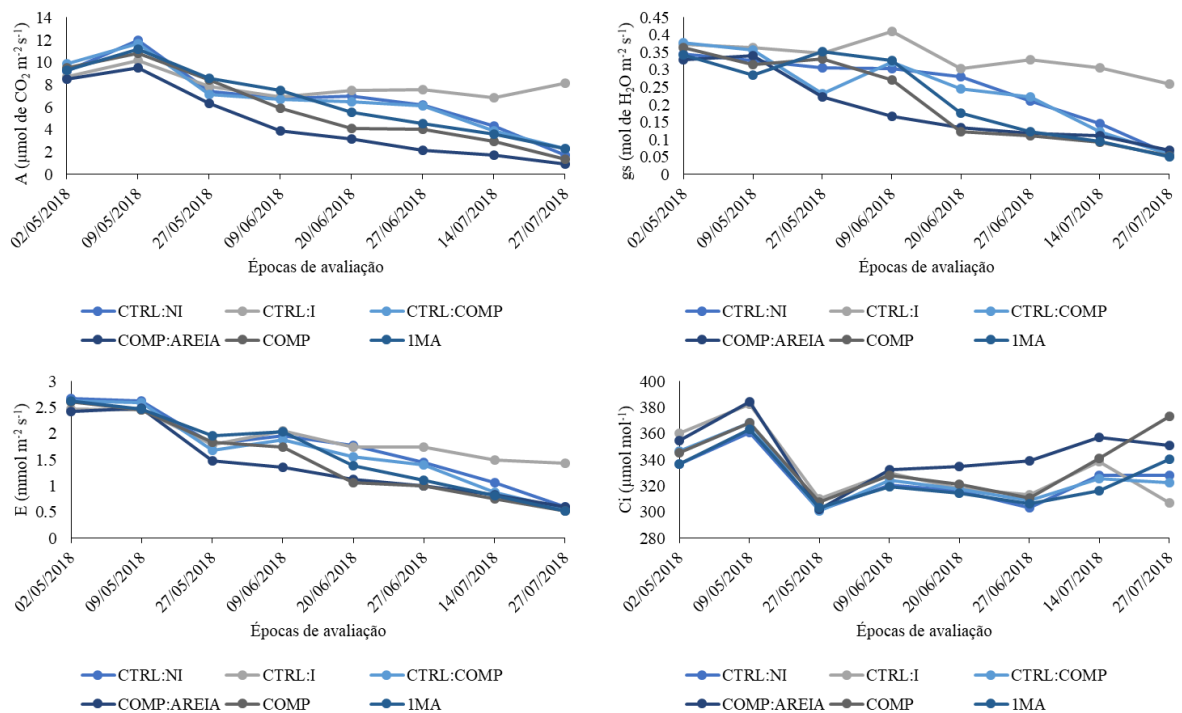


Figura 10. Fotossíntese líquida (A), condutância estomática ao vapor de água (gs); transpiração (E) e concentração interna de carbono (Ci) do limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ (*C. limonia* Osbeck), em função dos tratamentos, Controle (Ctrl), Controle na camada superior e compactado na camada inferior (Ctrl:Comp), Compactado (Comp), Compactado com um macroporo artificial vertical (1MA) e Compactado na camada superior e areia na camada inferior (Comp:areia), em diferentes avaliações.

A transpiração das plantas dos tratamentos Ctrl e Ctrl:Comp permaneceu constante com a variação da fração de água transpirável (FAT) entre 1 - 0,3 enquanto que para os demais tratamentos compactados a redução da FAT diminuiu consideravelmente a transpiração das plantas, sendo mais acentuada para as plantas do tratamento totalmente compactado (Comp); já as plantas do tratamento Ctrl foram mais conservadoras em relação ao uso da água, mantendo a transpiração praticamente constante com o secamento contínuo do solo (Figura 11).

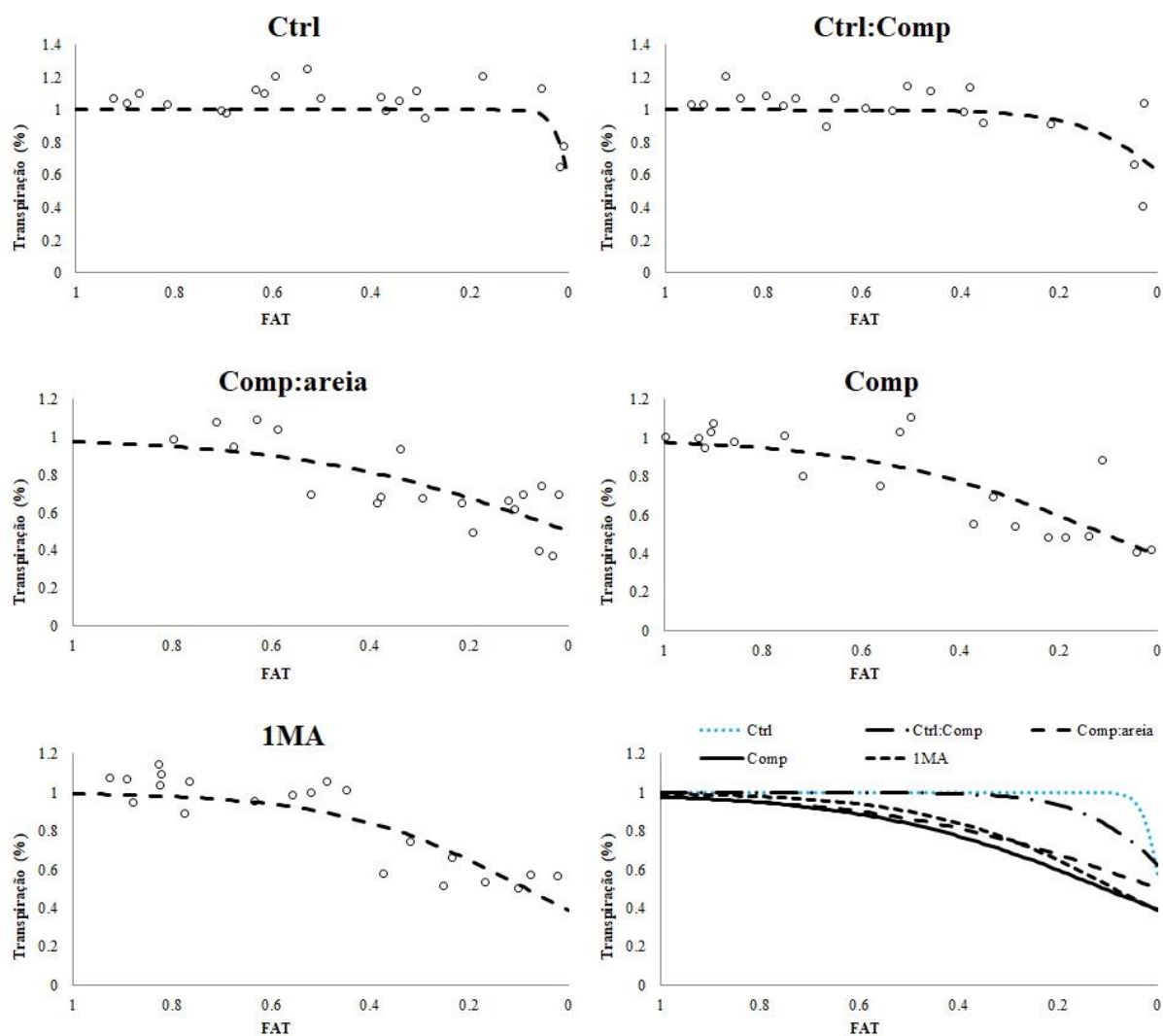


Figura 11. Relação entre fração de água transpirável (FAT) e transpiração (E) do limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ (*C. limonia* Osbeck), em função dos tratamentos, Controle (Ctrl), Controle na camada superior e compactado na camada inferior (Ctrl:Comp), Compactado (Comp), Compactado com um macroporo artificial vertical (1MA) e Compactado na camada superior e areia na camada inferior (Comp:areia), durante o período de duração do déficit hídrico.

Com relação à umidade do solo, observa-se na Figura 12 o secamento do solo ao longo do tempo, sendo a umidade do tratamento compactado com areia (Comp:areia) abaixo das demais. Independente do manejo hídrico, as colunas com solo sem a compactação na camada superior, apresentaram umidades superiores àquelas em que o solo foi compactado. Ao final, apenas os tratamentos controle, irrigado e não irrigado, diferiram dos demais, apresentando as umidades mais elevadas.

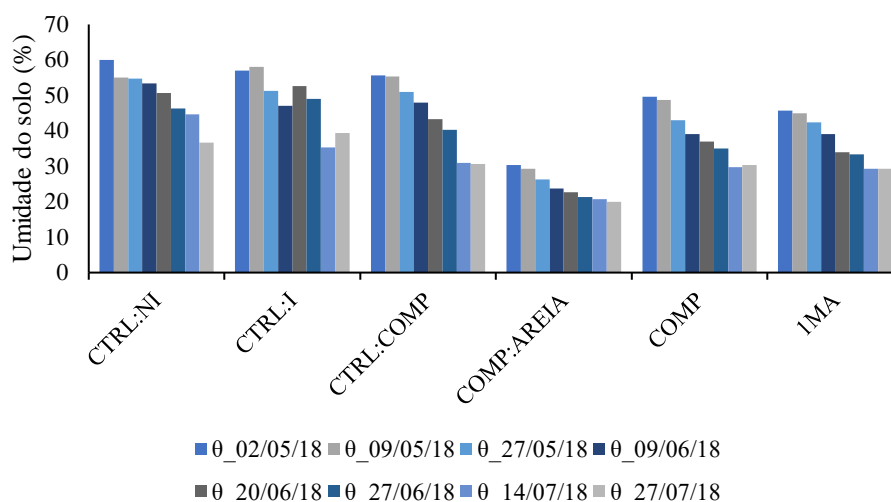
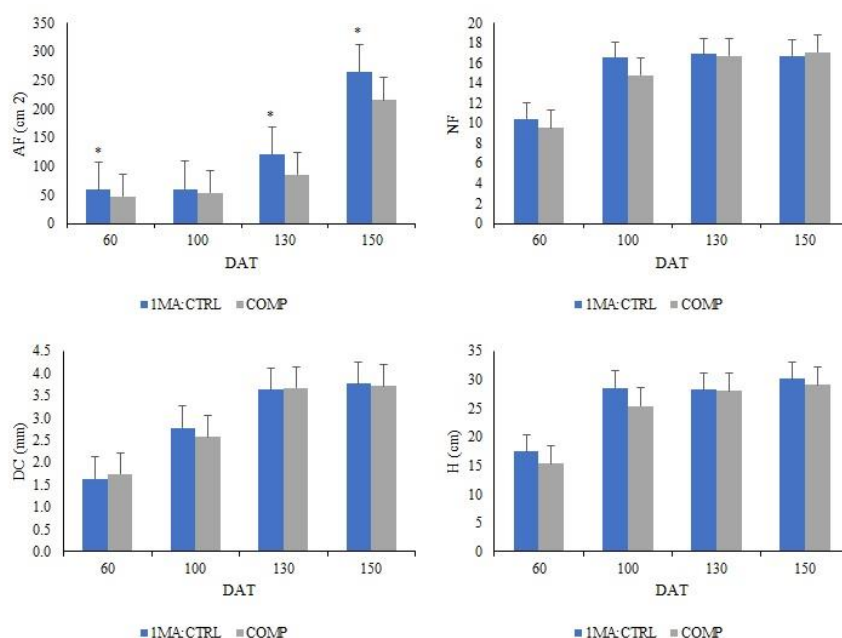


Figura 12. Umidade do solo nas camadas dos tratamentos Controle (Ctrl), Controle na camada superior e compactado na camada inferior (Ctrl:Comp), Compactado (Comp), Compactado com um macroporo artificial vertical (1MA) e Compactado na camada superior e areia na camada inferior (Comp:areia), ao longo das avaliações.

Experimento III

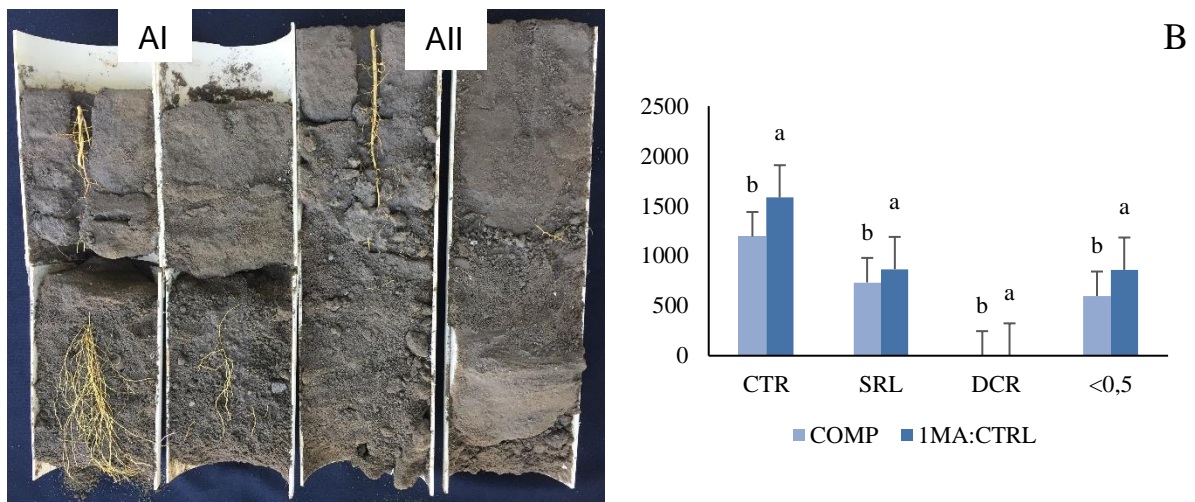
A área foliar foi afetada pela compactação, sendo superior para o tratamento com um macroporo artificial controle (1MA: Controle), por outro lado, para o número de folhas, o diâmetro do caule e a altura não houve diferença significativa entre os tratamentos (Figura 13).



*Médias significativamente superiores pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 13. Altura (H), diâmetro do caule (DC), a área foliar (AF), e número de folhas (NF), dos tratamentos, Compactado com um macroporo artificial vertical e Controle (1MA:Ctrl) e Compactado (Comp), em função de dias após o transplante (DAT).

Nota-se na Figura 14AI que as raízes cresceram pelo macroporo artificial e se desenvolveram em maior quantidade na condição controle, sem impedimento físico. Nas camadas superiores, observa-se que o crescimento radicular ficou restrito ao volume da cova de plantio, que possuía a mesma conformação do tubete (cônico com altura de 0,125 m e diâmetro superior e inferior correspondentes a 0,027 e 0,011 m respectivamente), no qual as plantas foram semeadas, sem expansão lateral (Figura 14 AI e AII).

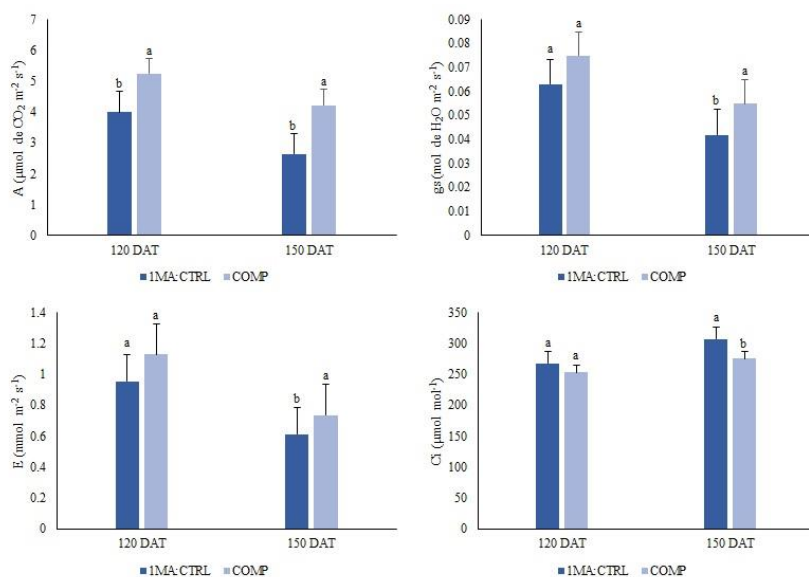


*Médias significativamente superiores pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 14. Imagem do corte longitudinal sequencial dos tratamentos Compactado com um macroporo artificial vertical e Controle (1MA:Ctrl) e Compactado (Comp) (A); Comprimento total de raiz (CTR), comprimento específico de raiz (SRL), densidade do comprimento de raiz (DCR) e comprimento de raiz na classe de diâmetro < 0,5 mm (B), aos 150 dias após o transplantio (DAT).

O CTR, SRL, DRC e classe de diâmetro < 0,5 mm do tratamento compactado com um macroporo artificial vertical e controle (1MA:Ctrl) foram significativamente superiores ao tratamento totalmente compactado (Comp) (Figura 14B).

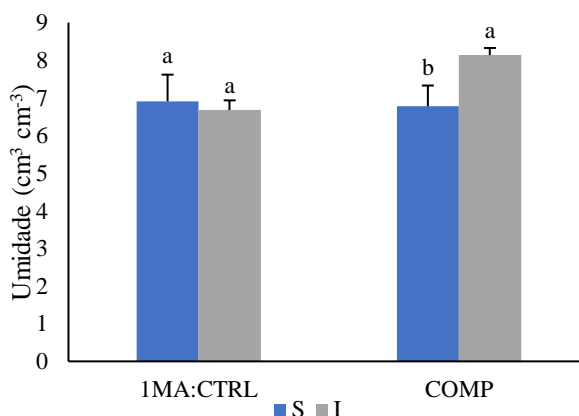
Com relação às variáveis fisiológicas aos 120 DAT, apenas houve diferença significativa para a fotossíntese, que foi superior para o tratamento Comp, o qual, ao final do experimento, aos 150 DAT, também apresentou fotossíntese, condutância estomática e transpiração mais elevada; por outro lado, a concentração interna de carbono foi maior para o tratamento 1MA:Ctrl (Figura 15).



*Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 15. Fotossíntese líquida (A), condutância estomática ao vapor de água (gs); concentração interna de carbono (Ci) e transpiração (E) do limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, em função dos tratamentos, Compactado com um macroporo artificial vertical na camada superior e controle na camada inferior (1MA:Ctrl) e Compactado (Comp) aos 64 e 94 dias após o transplântio (DAT).

A umidade do solo na camada inferior do tratamento Comp, foi superior a camada superior, não existindo diferença significativa entre as camadas do tratamento 1MA:Ctrl (Figura 16).



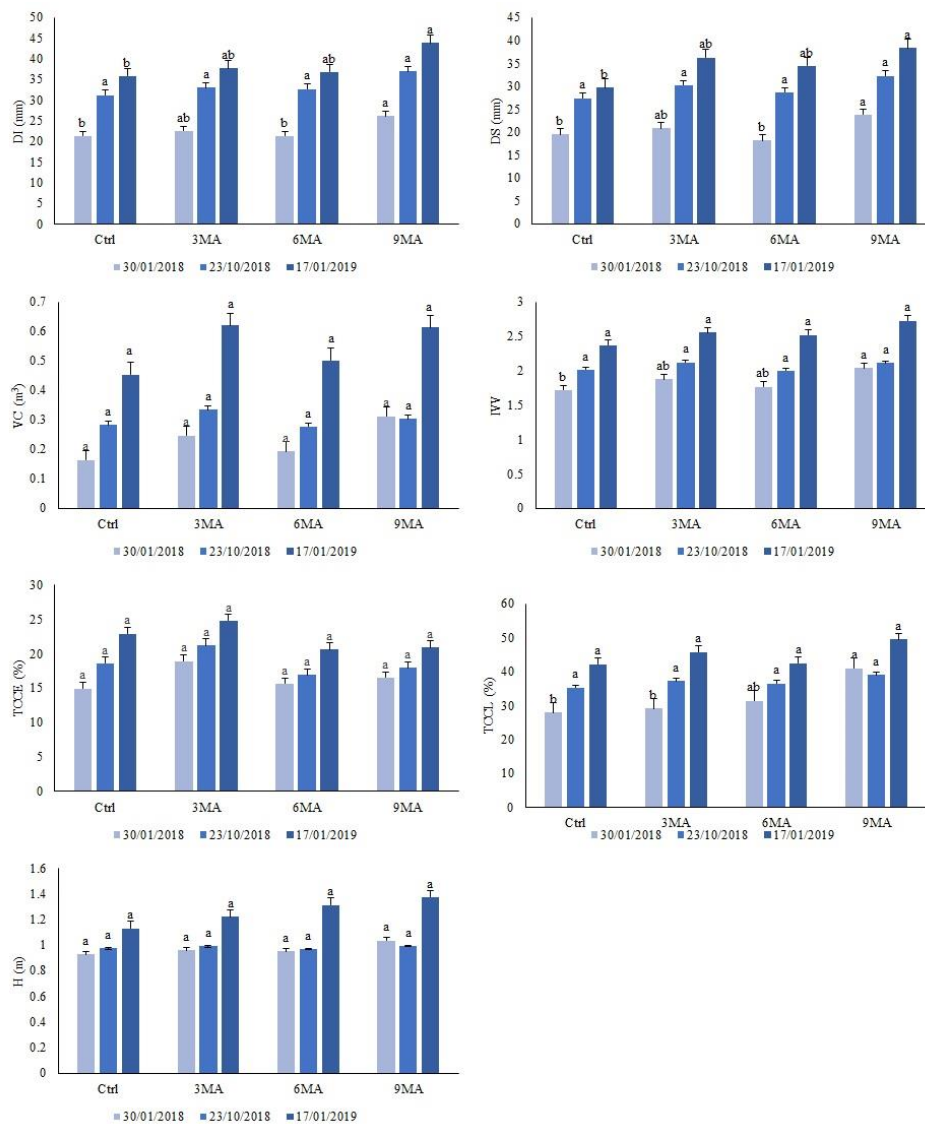
*Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 16. Umidade volumétrica do solo nas camadas, superior (S) e inferior (I), dos tratamentos compactado com um macroporo artificial vertical e controle (1MA:Ctrl) e compactado (Comp), ao final do experimento

Experimento IV

Em todas as avaliações, os macroporos artificiais não afetaram a altura (H), o volume de copa (VC) e a taxa de cobertura na entrelinha (TCCE). Os diâmetros do

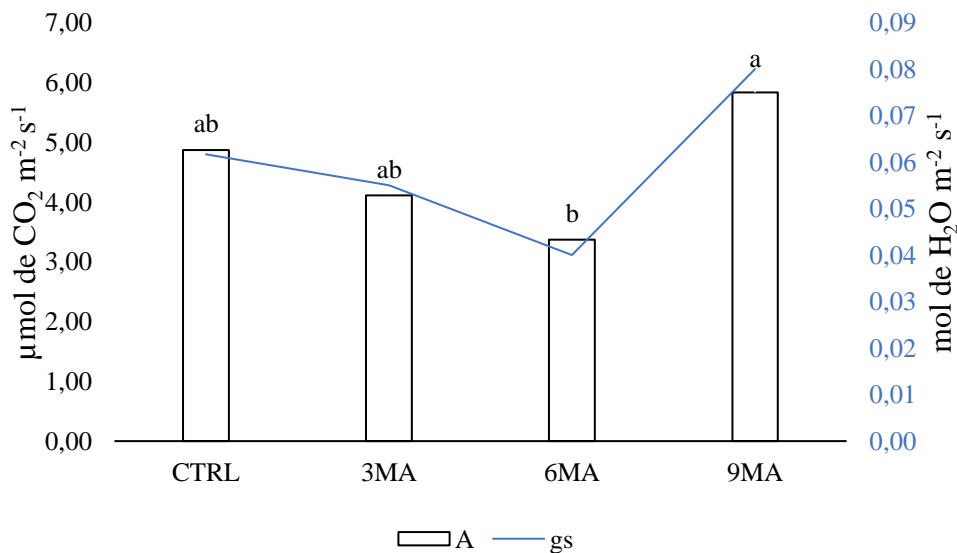
caule (superior e inferior) foram sempre superiores para o tratamento com 9MA. Na avaliação de janeiro de 2018, houve diferença significativa ($p < 0,05$) para o índice de vigor vegetativo (IVV) e a taxa de cobertura da copa na linha de plantio (TCCL), em função da poda de condução realizada em junho de 2018; nas demais avaliações não houve diferença entre os tratamentos (Figura 17).



*Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), dentro de cada época de avaliação.

Figura 17. Diâmetro do caule inferior (DI), diâmetro do caule superior (DS), volume de copa (VC), índice de vigor vegetativo (IVV), taxa de cobertura da copa na entrelinha (TCCE), taxa de cobertura da copa na linha (TCCL) e altura (H) de plantas jovens de Laranjeira 'Pera', submetidas a quatro tratamentos (controle-Ctrl, três macroporos artificiais-3MA, seis macroporos artificiais-6MA e nove macroporos artificiais-9MA), em três avaliações, 30/01/2018, 23/10/2018 e 17/01/2019. Cruz das Almas, BA.

Com relação às variáveis fisiológicas, o tratamento com 6MA apresentou fotossíntese (A) e condutância estomática (gs) inferiores ao tratamento com 9MA, mas não diferiu do Ctrl e do tratamento com 3MA. Para a transpiração (E) e o carbono interno (Ci), não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos (Figura 18).



*Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 18. Fotossíntese (A) e condutância estomática (gs) de plantas jovens de laranjeira 'Pera', submetidas a quatro tratamentos (controle-Ctrl, três macroporos artificiais-3MA, seis macroporos artificiais-6MA e nove macroporos artificiais-9MA), em 05/10/2018. Cruz das Almas, BA.

DISCUSSÃO

O crescimento da raiz é condicionado aos atributos físicos do solo onde as culturas estão estabelecidas, cuja penetração em camadas mais profundas deste, depende da sua capacidade de localizar a rede de poros existentes no mesmo (GAO et al., 2016), induzida pelas propriedades geométricas (MORAN; PIERRET; STEVENSON, 2000), as quais são alteradas pelo manejo do solo e pelo movimento de água e nutrientes (CÁRDENAS et al., 2010). Observa-se nas Figuras 5 e 14A que os macroporos artificiais serviram como canais de menor resistência para o crescimento radicular do limoeiro 'Cravo Santa Cruz', na condição compactada do solo. Colombi et al. (2017) também observaram, para as culturas de trigo, de soja e de milho, o crescimento ativo das raízes em relação aos macroporos artificiais em solo compactado.

A raiz, por ser o primeiro órgão da planta a receber os efeitos da compactação, apresentou como sintomas visuais no tratamento totalmente compactado (Comp), sistema radicular raso, tortuoso, com raízes retorcidas, achatadas e com crescimento restringido; além disso, pode-se observar na Figura 5, que o estresse físico ocasionado pela compactação força a emissão de raízes laterais como alternativa para explorar o maior volume de solo da camada superior, sem restrições físicas, o que pode ter compensado o crescimento da parte aérea e radicular ao final do experimento I. Segundo Jin et al. (2017), as raízes respondem ao ambiente do solo tanto espacial como temporalmente, evitando ambientes estressantes do solo e se proliferando em ambientes mais favoráveis, como observado no tratamento controle, sem restrições físicas, o maior desenvolvimento radicular em toda a extensão da coluna de PVC, com predomínio de raízes finas (Figuras 5 e 14A). Esses resultados corroboram com os estudos de distribuição do sistema radicular de citros em solos coesos (SANTANA et al., 2006; SOUZA et al., 2008).

Segundo Clark, Whalley e Barraclough (2003), a capacidade de penetração das raízes em solos com alto impedimento mecânico está diretamente relacionada com as diferenças nos diâmetros da raiz. O diâmetro da raiz está intimamente relacionado à sua rigidez, que é importante para a penetração em solos compactados (PAEZ-GARCIA et al., 2015). Nesse estudo, verificou-se uma estreita relação entre as classes de diâmetros inferior a 0,5 mm e superior a 4,5 mm com a compactação do solo (Figuras 6 e 9) em que as raízes mais finas foram superiores nas colunas sem impedimento físico, enquanto que as raízes mais grossas aumentaram com a compactação do solo, tal como observado por Oliveira et al., (2018).

A secagem do solo inibe o crescimento das raízes, não só porque reduz a disponibilidade de água, mas também porque dificulta a penetração das raízes (JIN et al., 2015). Isso ficou evidente no experimento II, cujo manejo irrigado favoreceu o aumento do vigor tanto da parte aérea quanto radicular (Figuras 7, 8 e 9). Segundo Vieira et al. (2016), o limoeiro 'Cravo' possui estratégia de prevenção à desidratação, que possibilita manter o crescimento sob condições de deficiência hídrica, o que pode explicar o fato de não terem ocorrido diferenças no crescimento entre os tratamentos sem irrigação, na condição compactada (Figura 7).

Os resultados de fração de água transpirável (Figura 10) confirmam que um solo bem estruturado (Ctrl) possibilita à planta maior capacidade de tolerar a deficiência hídrica. A estrutura do solo não afeta somente a capacidade de

crescimento das raízes para suprir as folhas com água e nutrientes; se for adversa, também induz o envio de sinais hormonais que retardam o crescimento da parte aérea, mesmo que a planta consiga extrair água e nutrientes suficientes (PASSIOURA, 1991). Em ambiente protegido, pelo fato dos citros serem cultura perene, cuja resposta é mais lenta, não foi observado diferença no crescimento, apesar de ter ocorrido diferença entre área foliar e volume de raiz no Experimento III, o que pode ser um indicativo do processo de sinalização.

Pfeifer, Kirchgessner e Walter (2014) verificaram que os macroporos artificiais melhoraram o crescimento das raízes e o vigor da cevada, mesmo que as raízes não crescessem predominantemente nos macroporos artificiais, que tem como outros benefícios o fornecimento de oxigênio. Em condição de campo existe tendência no aumento do vigor da parte aérea, fotossíntese e condutância estomática com o aumento do número de macroporos artificiais (9MA), que indica possível melhoria da estrutura do solo, sendo necessário o monitoramento a longo prazo, para avaliar a influência dos tratamentos adotados, por se tratar de uma cultura perene, com resposta mais lenta.

Este estudo forneceu evidências que o crescimento de raiz é mediado pela água e a estrutura do solo e, mesmo a curto prazo, em ambiente protegido, existe uma interação entre raiz e macroporo artificial, sendo o diâmetro radicular a característica do limoeiro 'Cravo' mais responsiva à compactação e ao secamento do solo.

CONCLUSÕES

Os macroporos artificiais (MA) servem como canais de menor resistência para raiz do limoeiro 'Cravo Santa Cruz' em colunas de solo compactado, e na condição de solo bem estruturado possibilita a planta maior capacidade de tolerar a deficiência hídrica.

O número e distribuição de MA não afetou o crescimento da parte aérea e o volume de raiz, aos 150 DAT.

O crescimento radicular foi mediado pela estrutura dos perfis adotados e pelo manejo da irrigação, sendo o diâmetro radicular o parâmetro mais sensível ao efeito do estresse combinado com a compactação e o secamento do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarenga, R. C., Costa, L. M., Moura Filho, W., Regazzi, A. J. (1996) Crescimento de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 20, 319-326.
- Buttle, J. M., Leigh, D. G. (1997). The influence of artificial macropores on water and solute transport in laboratory soil columns. *Journal of Hydrology*, 191(1-4), 290–313. doi:10.1016/s0022-1694(96)03079-x
- Cárdenas, J. P., Santiago, A., Tarquis, A. M., Losada, J. C., Borondo, F., & Benito, R. M. (2010). Soil porous system as heterogeneous complex network. *Geoderma*, 160(1), 13–21. doi:10.1016/j.geoderma.2010.04.024.
- Cintra, F. L. D. Caracterização da região produtora: solo e clima (2006). In: Melo, M. B., Silva, L. M. S. Aspectos técnicos dos citros em Sergipe. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, Cap 1, p.11-18.
- Cintra, F. L. D. Manejo de Solos Coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: Tofanelli, M. B. D., Silva, T. O. Manejo Ecológico e Conservação dos Solos e da Água no Estado de Sergipe. 1. ed. São Cristóvão: UFS, 2011. Cap. 5, p.205-226.
- Clark, L. J., Whalley, W. R. & Barraclough, P. B. (2003). How do roots penetrate strong soil? *Plant and Soil*, 255(1), 93–104. doi:10.1023/a:1026140122848
- Colombi, T., Braun, S., Keller, T., Walter, A. (2017). Artificial macropores attract crop roots and enhance plant productivity on compacted soils. *Science of the Total Environment*, 574, 1283-1293. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.194>
- Cunha Sobrinho, A. P., Passos, O. S, Soares Filho, W. S. Cultivares porta-enxerto. In: Cunha Sobrinho, A. P., Magalhães, A. F. J., Souza, A. S, Passos, O. S, Soares Filho, W. S. Ed(s). *Cultura dos citros*. Brasília, DF: Embrapa, 2013, Cap.9, p.233-271.
- Foloni, J. S. S., Lima, S. L. De, Büll, T.L. (2006) Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30, 49-57.
- Gao, W., Hodgkinson, L., Jin, K., Watts, C. W., Ashton, R. W., Shen, J., Ren, T., Dodd, I. C., Binley, A. M., Phillips, A. L., Hedden, P., Hawkesford, M. J., Whalley, W. R. (2016). Deep roots and soilstructure. *Plant, Cell & Environment*. 39 (8),1662-1668
- Jin, K., Shen, J., Ashton, R. W., White, R. P., Dodd, I. C., Parry, M. A. J., & Whalley, W. R. (2015). Wheat root growth responses to horizontal stratification of fertiliser in a

- water-limited environment. *Plant and Soil*, 386(1-2), 77–88. doi:10.1007/s11104-014-2249-8
- Jimenez, R. L., Gonçalves, W. G., Araújo Filho, J. V., Assis, R. L., Pires, F. R., Silva, G. P. (2008) Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, 2 (2), 116-121
- Lynch, J. (1995). Root Architecture and Plant Productivity. *Plant physiology*. 109. 7-13. 10.1104/pp.109.1.7.
- Moran, C. J., Pierret, A., & Stevenson, A. W. (2000). *Plant and Soil*, 223(1/2), 101–117. doi:10.1023/a:1004835813094.
- Mori, Y., Hirai, Y. (2014). Effective vertical solute transport in soils by artificial macropore system. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*. 18(2). 10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000192
- Mori, Y., Fujihara, A., Yamagishi, K. (2014). Installing artificial macropores in degraded soils to enhance vertical infiltration and increase soil carbon content. *Progress in Earth and Planetary Science*, 1(30), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s40645-014-0030-5>
- Nakamoto, T. (2000). The Distribution of wheat and maize roots as influenced by biopores in a subsoil of the Kanto loam type. *Plant Production Science*. 3(2), 140-144, <http://dx.doi.org/10.1626/pp.3.140>
- Neves, D. M., Coelho Filho, M. A., Belleite, B. S., Silva, M. F. G. F., Souza, D. T., Soares Filho, W., Gesteira, A. S. (2013). Comparative study of putative 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase and abscisic acid accumulation in the responses of Sunki mandarin and Rangpur lime to water deficit. *Molecular Biology Reports*, 40(9), 5339–5349. doi:10.1007/s11033-013-2634-z
- Oliveira, L. B., Coelho Filho, M. A., Arriero, S. S., Gomes Júnior, F. A., Cova, A. M. W., Soares Filho, W. S., Gesteira, A. S. (2018) Ability of citrus root system to overcome a strong wax layer. *Journal of Agricultural Science*. 10(10), 2018. <http://doi.org/10.5539/jas.v10n10p213>
- Passioura, J. B. (1991). Soil structure and plant growth. *Australian Journal of Soil Research*, 29(6), 717. doi:10.1071/sr9910717
- Passos, O. S., Cunha Sobrinho, A. P., Soares Filho, W. S. Cultivares copa. In: CUNHA SOBRINHO, A. P., MAGALHÃES, A. F. J., SOUZA, A. S, PASSOS, O. S, SOARES FILHO, W. S., Ed(s). *Cultura dos citros*. Brasília, DF: Embrapa, 2013, Cap.10, p.293-297.

- Paez-Garcia, A., Motes, C., Scheible, W.-R., Chen, R., Blancaflor, E., & Monteros, M. (2015). Root Traits and Phenotyping Strategies for Plant Improvement. *Plants*, 4(2), 334–355. doi:10.3390/plants4020334
- Pfeifer, J., Kirchgessner, N., Walter, A. (2014). Artificial pores attract barley roots and can reduce artifacts of pot experiments. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177 (6), 903-913. 10.1002/jpln.201400142
- Portella, C. R., Marinho, C. S., Amaral, B. D., Carvalho, W. S. G., Campos, G. S., Silva, M. P. S., Sousa, M. C. (2016) Desempenho de cultivares de citros enxertadas sobre o trifoliato 'Flying Dragon' e limoeiro 'Cravo' em fase de formação do pomar. *Bragantia*, 75 (1),70-75.
- Sampaio, A. H. R., Coelho Filho, M. A., Souza, L. D., Brito, R. F., Silva, R. O. (2016) Yield and quality of 'pera' sweet Orange grafted on different rootstocks under rainfed conditions. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 38, (3), 771-779.
- Santana, M. B., Souza, L. S., Souza, L. D., Fontes, L. E. F. (2006) Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de Tabuleiros Costeiros do estado da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30(1), 1-12. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000100001>
- Souza, L. S., Souza, L. D., Paiva, A. Q., Rodrigues, A. C. V., Ribeiro, L. S. (2008) Distribuição do sistema radicular de citros em uma topossequência de solos de tabuleiro costeiro do estado da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(2), 503-513, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000200005>
- Vieira, D. D. S. S., Freschi, L., Almeida, L. A. H., Moraes, D. H. S., Neves, D. M., Santos, L. M. & Gesteira, A. S. (2016). Survival strategies of citrus rootstocks subjected to drought. *Scientific Reports*, 6(1). doi:10.1038/srep38775
- Zhou, B. B., Li, Y., Wang, Q. J., Jiang, Y. L., Li. S. (2013). Preferential water and solute transport through sandy soil containing artificial macropores. *Environmental Earth Sciences*. 70. 10.1007/s12665-013-2339-6.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre as práticas de manejo estudadas e adotadas para a citricultura nos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros, pode-se concluir que:

A subsolagem aplicada no preparo inicial do solo, não influencia a arquitetura radicular plantas jovens de laranjeira 'Pera';

O porta-enxerto limoeiro 'Cravo' se destacou pela maior capacidade de absorção de água, associada ao maior comprimento específico de raiz, que favoreceram o aumento do vigor vegetativo e da produção inicial de frutos;

O uso de muda protegida com qualidade em campo garante um maior desempenho horticultural de plantas jovens de laranjeira 'Pera', não ficando evidente os benefícios da semeadura em local definitivo, pelo menos para o pomar em formação e em condições de sequeiro;

A profundidade 0-0,40 m foi a mais importante para as relações hídricas, devido a maior armazenagem de água e concentração de raízes na superfície, prevalecendo as raízes mais finas nos primeiros 0,20 m, as quais são responsáveis pela absorção de água e nutrientes, que está associada à maior tolerância das plantas a deficiência hídrica;

A estrutura do solo é preponderante para o desenvolvimento radicular, e o uso de macroporos artificiais servem como caminho de menor resistência para o crescimento radicular.

APÊNDICE A

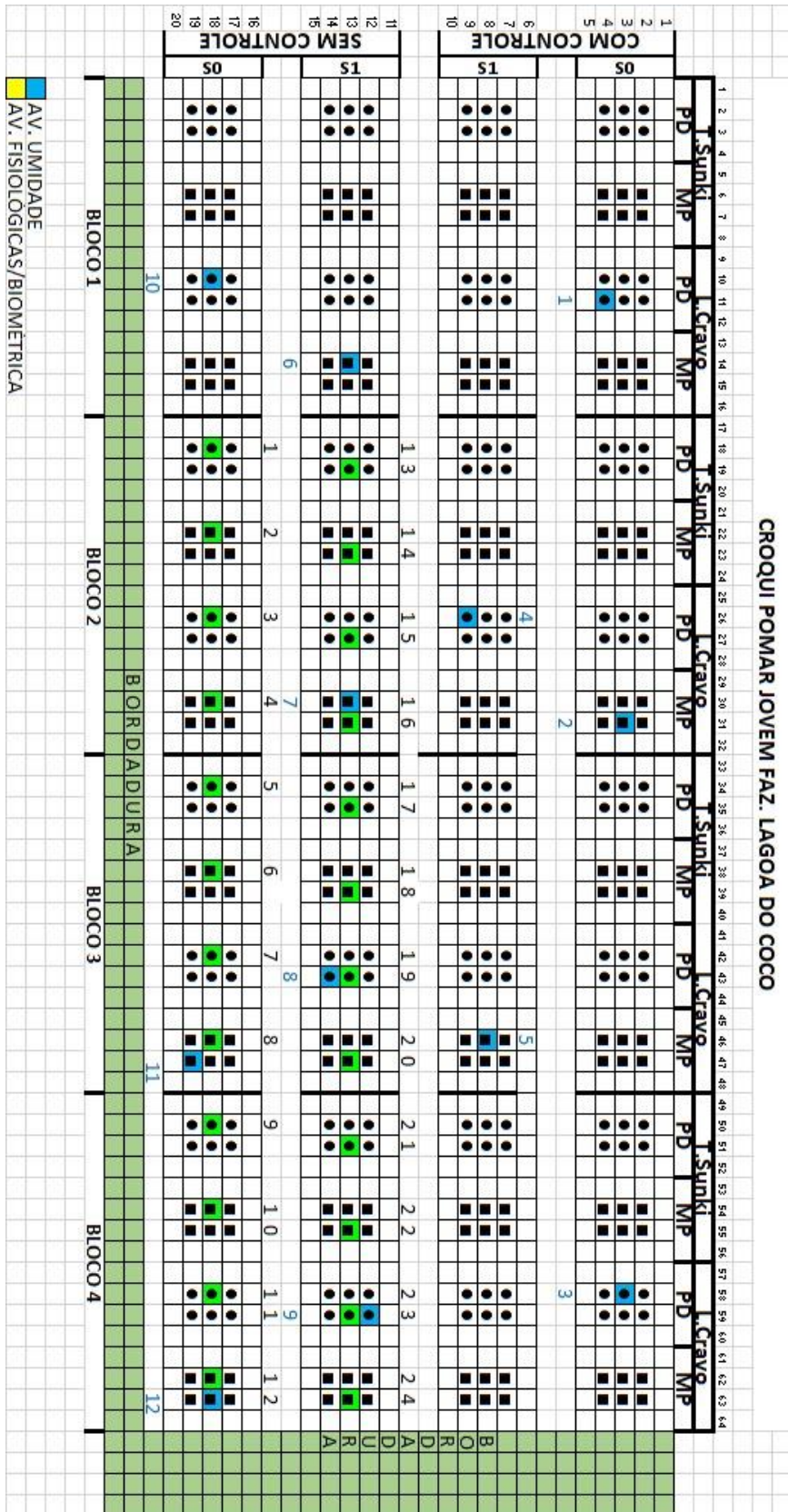


Figura S1: Croqui da área experimental

APÊNDICE B

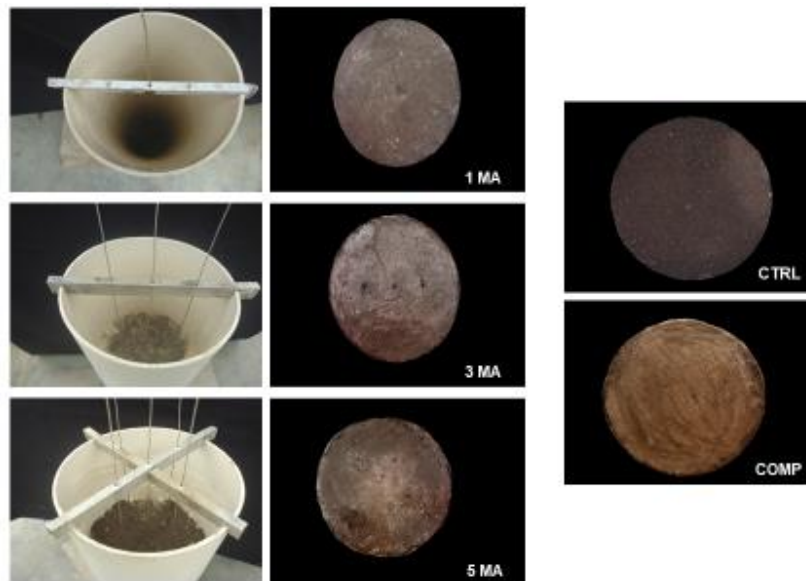


Figura S1. Construção dos macroporos artificiais e vista superior das camadas.

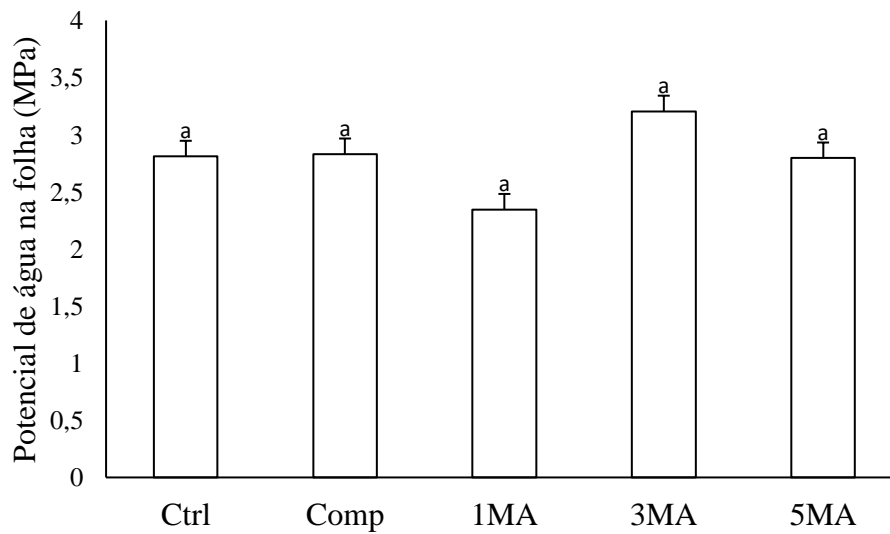


Figura S2: Médias do potencial hídrico foliar do Limoeiro 'Cravo Santa Cruz', em função dos tratamentos, Controle (Ctrl), Compactado (Comp), Compactado com um macroporo artificial vertical (1MA), Compactado com três macroporos artificiais verticais (3MA) e Compactado com cinco macroporos artificiais verticais (5MA)], ao final do experimento I

*Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

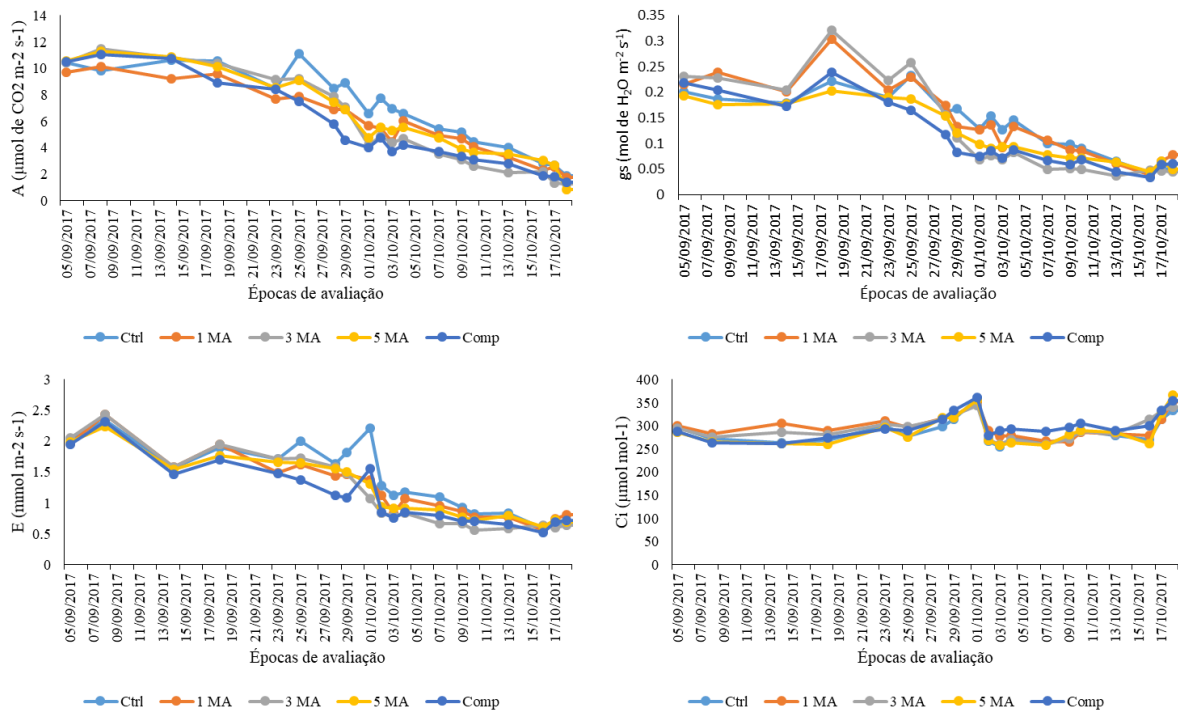


Figura S3: Fotossíntese líquida (A), condutância estomática ao vapor de água (gs); concentração interna de carbono (Ci) e transpiração (E) do limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ (*C. limonia Osbeck*), em função dos tratamentos, Controle (Ctrl), Compactado com um macroporo artificial vertical (1MA); Compactado com três macroporos artificiais verticais (3MA); Compactado com cinco macroporos artificiais verticais (5MA) e Compactado (Comp), ao longo das avaliações.

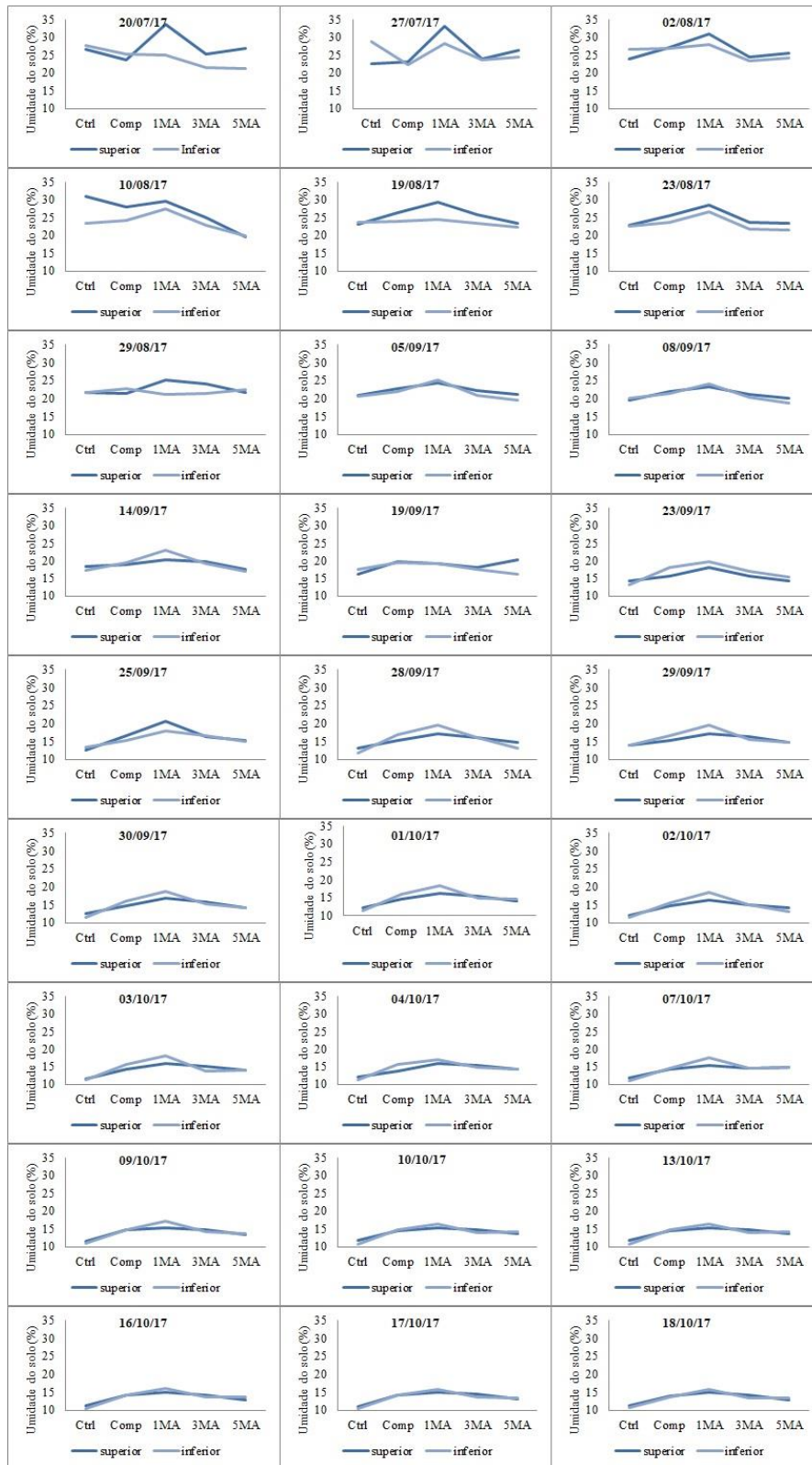


Figura S4. Umidade do solo nas camadas, superior e inferior, dos tratamentos, Controle (Ctrl), Compactado (Comp), Compactado com um macroporo artificial vertical (1MA), Compactado com três macroporos artificiais verticais (3MA) e Compactado com cinco macroporos artificiais verticais (5MA), ao longo das avaliações.