

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

JOABE MARTINS DE SOUZA

**CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA RADICULAR DO CAFEIEIRO
CONILON SOB IRRIGAÇÃO LOCALIZADA**

ALEGRE
ESPÍRITO SANTO
2017

JOABE MARTINS DE SOUZA

**CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA RADICULAR DO CAFEIRO
CONILON SOB IRRIGAÇÃO LOCALIZADA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal, na área de concentração de Recursos Hídricos e Geoprocessamento em Sistemas Agrícolas.

Orientador: Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis.

Coorientador: Prof. Dr. Robson Bonomo.

ALEGRE
ESPÍRITO SANTO
2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

S729c Souza, Joabe Martins de, 1987-
Caracterização do sistema radicular do cafeeiro Conilon sob irrigação localizada / Joabe Martins de Souza. – 2017.
74 f. : il.

Orientador: Edvaldo Fialho dos Reis.

Coorientador: Robson Bonomo.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Café conilon. 2. Recursos hídricos. 3. Gotejamento.
4. Solos – Umidade. I. Reis, Edvaldo Fialho dos. II. Bonomo, Robson.
III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 63

JOABE MARTINS DE SOUZA

**CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA RADICULAR DO CAFEIEIRO
CONILON SOB IRRIGAÇÃO LOCALIZADA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal, na área de concentração de Recursos Hídricos e Geoprocessamento em Sistemas Agrícolas.

Aprovada em 24 de fevereiro de 2017.



Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis
Universidade Federal do Espírito Santo
(Orientador)



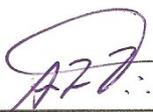
Prof. Dr. Giovanni de Oliveira Garcia
Universidade Federal do Espírito Santo



Profª. Dra. Camila Aparecida da Silva
Martins
Universidade Federal do Espírito Santo



Dr. Wagner Nunes Rodrigues
Pós-doutorando - Universidade Federal
do Espírito Santo



Prof. Dr. Aldemar Polonini Moreli
Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Ibatiba

Aos meus queridos pais, Joel Batista de Souza e Maria Rosa Martins de Souza, pelo amor e apoio e pelo muito que representaram para mim.

DEDICO...

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter proporcionado paciência, sabedoria e fé para conseguir concluir o meu trabalho;

Aos meus pais pelo exemplo de vida, fé, coragem e por todo amor, carinho, apoio e dedicação e à minha noiva Marcela Ataíde de Oliveira pelo carinho, incentivo e compreensão;

A Universidade Federal do Espírito Santo – UFES e ao Centro de Ciências Agrárias e Engenharias – CCAE, pela oportunidade concedida para a realização do doutorado;

Ao programa de pós-graduação em Produção Vegetal pela oportunidade de estudo e aos professores pelo ensino e a CAPES pela concessão de bolsa durante o período de estudo;

Ao meu orientador Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis e ao coorientador Prof. Dr. Robson Bonomo pela grande ajuda, ensinamento, proporcionando novos conhecimentos e pela atenção e incentivo no decorrer deste trabalho;

Aos produtores Diego Bonomo e Leandro Sacconi por disponibilizarem as áreas para o experimento;

Ao CEUNES por ter cedido os equipamentos para as avaliações do estudo;

Aos amigos Lucas, Marlla, Morgana pela amizade, apoio, disposição em me ajudar e pelas suas importantes contribuições;

A todos que de alguma forma possibilitaram a concretização desse sonho.

BIOGRAFIA

Joabe Martins de Souza, filho de Joel Batista de Souza e Maria Rosa Martins de Souza, nasceu em São Gabriel da Palha, estado do Espírito Santo, em 27 de maio de 1987. Em agosto de 2006 ingressou no Centro Universitário Norte do Espírito Santo da Universidade Federal do Espírito Santo, no curso de Agronomia, onde obteve o título de Engenheiro Agrônomo em janeiro de 2011. Em março de 2011, ingressou no Mestrado em Agricultura Tropical do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), no Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES), concluindo em fevereiro de 2013. Em março de 2013 ingressou no Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal no Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE-UFES), na linha recursos hídricos e geoprocessamento em sistemas agrícolas, sob orientação do professor Dr. Edvaldo Fialho dos Reis, tendo sido concluído em 24 de fevereiro de 2017, conferindo-lhe o título de Doutor em Produção Vegetal.

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 A CULTURA DO CAFÉ CONILON.....	13
2.2 IRRIGAÇÃO LOCALIZADA.....	15
2.3 FORMAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO BULBO MOLHADO.....	17
2.4 SISTEMA RADICULAR DO CAFEIEIRO.....	20
3 MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	23
3.2 MANEJO DA IRRIGAÇÃO.....	27
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO BULBO MOLHADO.....	28
3.4 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA RADICULAR DO CAFEIEIRO.....	30
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 SISTEMA RADICULAR SOB MANEJO COM LÂMINA DE 10 mm.....	32
4.2 SISTEMA RADICULAR SOB MANEJO COM LÂMINA DE 3 mm.....	41
4.3 SISTEMA RADICULAR SOB MANEJO COM LÂMINA DE 5 mm.....	47
5 CONCLUSÕES	55
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
APÊNDICES	72

RESUMO

SOUZA, Joabe Martins de. **Caracterização do sistema radicular do cafeeiro Conilon sob irrigação localizada**. 2017. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. Orientador: Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis. Coorientador: Prof. Dr. Robson Bonomo.

O cafeeiro é uma cultura de grande importância econômica no Brasil, para garantir altas produtividades e rentabilidade o manejo da irrigação se torna importante. O conhecimento do sistema radicular da cultura é de suma importância para a determinação correta da lâmina de irrigação. Diante disso, objetivou-se caracterizar o sistema radicular do cafeeiro Conilon sob irrigação localizada. O experimento foi realizado em três manejos de irrigação com aplicação de lâminas de 10, 3 e 5 mm, em São Mateus-ES, em um delineamento inteiramente casualizado em parcela subdividida 4 x 6, sendo quatro pontos em relação à planta e seis faixas de profundidade, com cinco repetições. Sendo dois na linha e sete na entre linha com distância entre si de 0,20 m. E na entre linha do cafeeiro em parcela subdividida 5 x 6, sendo cinco pontos em relação à planta e seis faixas de profundidade, com cinco repetições. Foram avaliados volume, área superficial, comprimento e diâmetro de raiz. O cafeeiro Conilon no manejo com lâmina de irrigação de 10 mm apresentou 67,4% do volume de raiz e 68,0% de área superficial, já com lâmina de 3 mm todos os dias, as plantas apresentaram 74,5% e 64,5% do volume e área superficial de raiz e no manejo com lâmina de 5 mm duas vezes na semana, apresentou 75,4% e 70,2% do volume e área superficial de raiz, em todos os manejos concentrados até a profundidade de 0,30 m. O maior comprimento e diâmetro de raiz foi encontrado na faixa de profundidade superficial do solo, diminuindo em profundidade. O cafeeiro apresentou 57,5% do volume de raiz para o manejo com 10 mm, e 70,5% do volume de raiz para o manejo com 3 e 5 mm. A área superficial de raiz foi de 53,9%, 69% e 66,4%, para os manejos com 10, 3 e 5 mm, respectivamente.

Palavras-chave: *Coffea canephora*, Recursos hídricos, Gotejamento, Umidade do solo.

ABSTRACT

SOUZA, Joabe Martins de. **Characterization of the root system of the coffee Conilon under drip irrigation.** 2017. Thesis (Doctor degree in Vegetable Production) - Federal University of Espírito Santo, Alegre-ES. Advisor: Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis. Co-advisor: Prof. Dr. Robson Bonomo.

Coffee is a crop of great economic importance in Brazil, to ensure high productivity and profitability irrigation management becomes important. The knowledge of the root system of the crop is of extreme importance for the correct determination of the irrigation blade. The objective of this study was to characterize the root system of the Conilon coffee plant under localized irrigation. The experiment was carried out in three irrigation management with 10, 3 and 5 mm slides in São Mateus-ES, in a completely randomized design in subdivided plot 4 x 6, being four points in relation to the plant and six bands of Depth, with five replicates. Being two in the line and seven in the line with distance of each other of 0.20 m. And in the interweave of the coffee tree in a plot subdivided 5 x 6, being five points in relation to the plant and six depth bands, with five replications. Volume, surface area, length and root diameter were evaluated. The coffee tree Conilon in the management with a 10 mm irrigation blade, presented 67.4% of the root volume and 68.0% of the surface area, already with a leaf blade of 3 mm every day, the plants presented 74.5% and 64.5% of the volume and root surface area and in the 5 mm blade management twice weekly presented 75.4% and 70.2% of the volume and root surface area, in all managements concentrated to the depth of 0.30 m. The largest root length and diameter were found in the soil surface depth range, decreasing in depth. The coffee tree presented 57.5% of the root volume for the management with 10 mm, and 70.5% of the root volume for handling with 3 and 5 mm. The root surface area was 53.9%, 69% and 66.4% for the treatments with 10, 3 and 5 mm respectively.

Keywords: *Coffea canephora*, Water resources, Drip, Soil moisture.

1 INTRODUÇÃO

A produtividade da cafeicultura nos últimos anos vem aumentando gradativamente, devido aos manejos como: adubações, podas, controle de plantas daninhas, renovação de lavouras com variedades com maior potencial produtivo e uso mais acentuado de tecnologias associadas à irrigação (SOUZA et al., 2014).

Logo, a irrigação garante alta produtividade (BONOMO et al., 2013; SAKAI et al., 2013) e obtenção de um produto final com melhor qualidade (FERNANDES et al., 2012), mantendo também a sustentabilidade ambiental com economia de água (SERRA et al., 2013) e viabiliza o plantio em áreas que não atendem às necessidades hídricas das plantas (DOHLER et al., 2016).

A irrigação é uma das práticas agrícolas que mais influencia a produção agrícola. No entanto, para que seja economicamente bem-sucedida, é necessário identificar três conceitos básicos: quando, como e quanto irrigar. Estes conceitos são definidos com base na capacidade de armazenamento de água no solo e consumo de água pelas plantas (ROCHA NETO et al., 2015).

O cafeeiro Conilon tem sido irrigado normalmente com sistemas pressurizados do tipo aspersão e gotejamento. No caso da irrigação por aspersão se molha toda a área do projeto, logo, a percentagem de área molhada é 100%.

Já a irrigação localizada compreende a aplicação de água em apenas uma fração da área cultivada, em alta frequência e baixo volume, mantendo o solo na zona radicular das plantas próximo à capacidade de campo. A área de solo molhado exposto à atmosfera fica bem reduzida e, conseqüentemente, é menor a perda de água por evaporação direta do solo. A água aplicada por estes sistemas penetra no solo e se redistribui formando um bulbo molhado, cuja forma e tamanho dependem da vazão aplicada, do tipo de emissor, da duração da irrigação e do tipo de solo (PIZARRO, 1996).

O bulbo ou volume úmido do solo é a distribuição de água no volume molhado por gotejamento; é, também, uma ferramenta indispensável na determinação de quanto e quando irrigar (BARROS et al., 2009). Há uma necessidade de uma abordagem robusta, ainda facilmente implementada, para calcular e visualizar o padrão de umedecimento a partir de sistemas de irrigação por gotejamento para

auxiliar na gestão do sistema (SUBBAIAH, 2013). Devido à especificidade dos solos, tabelas ajustadas para todos nem sempre são adequadas para os solos do Brasil, tornando imprescindíveis estudos que os caracterizem (BARROS et al., 2009).

A superestimativa da porcentagem de solo molhado reduz a eficiência do sistema onerando-o desde o superdimensionamento da estrutura hidráulica ao desperdício de água, energia e fertilizantes; enquanto que a subestimativa poderá acarretar riscos de estresse à cultura e promover a má distribuição do sistema radicular (SANTORO et al., 2013).

Além do estudo das características de formação de bulbo molhado, outro aspecto importante para o manejo da irrigação é o desenvolvimento radicular do cafeeiro, já que esse fator está diretamente relacionado ao cálculo da irrigação real da cultura. Esta relação traz consigo alguns questionamentos, como, qual a profundidade radicular efetiva dos cafeeiros implantados hoje nas lavouras, o cálculo da irrigação real necessária dos cafeeiros tem sido atendido de forma a proporcionar uma formação do bulbo molhado na zona radicular efetiva da cultura do cafeeiro.

A maioria dos trabalhos como os de Rena e Guimarães (2000), Partelli et al. (2006) e Silva e Martins (2010), mostra que grande parte do sistema radicular do cafeeiro se encontra na camada de 0,00-0,20 m, considerando que a maioria dos produtores utiliza profundidades de 0,25 a 0,35 m para o manejo de suas irrigações no cafeeiro, há de se concluir que por vários momentos o agricultor está desperdiçando água, já que as raízes efetivas das plantas estão em camadas mais superficiais do solo, além disso, utilizando um maior tempo de irrigação, considerando que à medida que se aumenta a profundidade, aumenta-se também de forma linear a irrigação real necessária e total, e o tempo de irrigação.

Souza et al. (2015) relataram a importância de estudar a campo, o bulbo molhado e desenvolvimento do sistema radicular, principalmente no Brasil, onde ainda se encontra poucas informações na literatura.

Diante do exposto, objetivou-se caracterizar o sistema radicular do cafeeiro Conilon sob irrigação localizada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A CULTURA DO CAFÉ CONILON

O gênero *Coffea* possui mais de 120 espécies descritas, tendo duas de grande importância comercial, o *Coffea arabica*, e o *Coffea canephora* (DAVIS et al., 2011).

O Brasil é líder mundial na produção de café, tendo produzido 43,2 milhões de sacas beneficiadas em 2015 (ICO, 2016), sendo 32,0 milhões de Arábica (*C. arabica*) e 11,2 milhões de Conilon (*C. canephora*). Neste período, o Estado do Espírito Santo que se destaca como o maior produtor de café Conilon do país, produziu 7,8 milhões de sacas dessa espécie, representando em torno de 70% da produção nacional (CONAB, 2016), e presente em praticamente todos os municípios capixabas, a cafeicultura é o sustentáculo econômico para muitas famílias que vivem da agricultura no Estado.

O café Conilon vem alcançando, nos últimos anos, maior expressão, em razão da sua inclusão cada vez mais frequente no *blends* de café torrados e moídos e da expansão do consumo de café solúvel em todo o mundo, bem como pelo surgimento de inúmeras formas atrativas de consumo, tendo em vista ser essa mais atrativa às indústrias, por sua maior rentabilidade. Soma-se a isso o fato de ser uma espécie, mais rústica, possibilitando, assim, a obtenção de produto economicamente mais competitivo (FONSECA et al., 2015).

O *Coffea canephora* é constituído por diversas variedades, conhecido genericamente como robusta e Conilon. Sendo uma espécie vegetal perene, possuem aspectos biológicos típicos que tornam o seu melhoramento genético distinto de culturas anuais, como: longos ciclos produtivo e reprodutivo, efeito da bienalidade de produção (que é caracterizado pela variação dos anos com alta e baixa produção), necessidade de maiores áreas experimentais, longevidade em produtividade (CARIAS et al., 2014; FERRÃO et al., 2015).

Devido à relevância desta espécie, desde 1985 a EMCAPA (Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária), hoje INCAPER (Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural) iniciou o programa de melhoramento genético de *C. canephora*, contribuindo para o aumento da produtividade e melhoria da qualidade da produção (CARIAS et al., 2014).

A variedade 'Vitória Incaper 8142' foi lançada pelo Incaper em maio de 2004, constituída pelo agrupamento de treze clones superiores. Essa variedade sobressaiu-se em relação a uma série de critérios quando comparados aos demais materiais genéticos, destacando-se por apresentar alta produtividade, estabilidade de produção, tolerância à seca, tolerância à ferrugem, uniformidade de maturação e grãos grandes (FONSECA et al., 2004).

Os principais mecanismos fisiológicos de tolerância ao déficit hídrico em genótipos de *C. canephora* são a eficiência na retirada de água do solo, o controle estomático e a redução da área foliar para manutenção da transpiração (PINHEIRO et al., 2004; MARRACCINI et al., 2012; SILVA et al., 2013a). Segundo Silva et al. (2010), os genótipos com produção relativamente elevada, submetidos ao déficit hídrico, são capazes de manter potenciais hídricos foliares adequados, por meio da combinação entre o aprofundamento do sistema radicular e o aumento do controle estomático.

O cultivo do cafeeiro Conilon tem expandido para áreas onde a deficiência hídrica é o principal fator limitante ao crescimento e à produção (SILVA et al., 2010; ARAUJO et al., 2011; PARTELLI et al., 2013), o que torna necessário realizá-lo predominantemente sob irrigação (COVRE et al., 2015). Em diversos países produtores de café, o déficit hídrico é considerado o principal estresse ambiental capaz de afetar o desenvolvimento e a produção do cafeeiro, sendo ainda o principal gargalo para a produção de café em áreas com longos períodos de seca. (DAMATTA & RAMALHO, 2006; TESFAYE et al., 2015).

Portanto, o uso da irrigação, como suprimento da necessidade hídrica do cafeeiro tem minimizado seus efeitos, possibilitando incrementos em produtividade (PEZZOPANE et al., 2010; SCALCO et al., 2011; BONOMO et al., 2013; SAKAI et al., 2015) e obtenção de um produto final com melhor qualidade de bebida (FERNANDES et al., 2012).

2.2 IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

A agricultura é, de longe, o maior consumidor de água doce, e contribui para aproximadamente 70% de todas as retiradas anualmente em uma escala global (KOECH et al., 2015). A crescente demanda de água dos setores domésticos, agrícola e industrial foi induzindo os agricultores a utilizarem eficientemente os recursos hídricos em culturas irrigadas. Portanto, é necessário olhar para sistemas de irrigação e tecnologias de gestão que possam melhorar a aplicação de água (ALMEIDA et al., 2016).

Existem vários métodos/sistemas de irrigação do cafeeiro, e a escolha de qualquer uma das opções possíveis depende de uma série de fatores, destacando-se a qualidade da água, o tipo de solo, a topografia e o tamanho da área, assim como os fatores climáticos, a capacidade de investimento do produtor e os custos de implantação e operacionais do sistema de irrigação.

Os sistemas de irrigação localizada têm sido adotados em muitas propriedades devido ao seu potencial para aumentar a eficiência do uso da água, com menor consumo de água e energia (PRADO et al., 2014), e ainda segundo Varona e Zayast (2015), constitui dentre outros fatores como uma solução adequada que contribui para o aumento da produtividade e rentabilidade da produção de café.

Estes sistemas de irrigação foram desenvolvidos para fornecer alta uniformidade de aplicação de água, mantendo um equilíbrio de água favorável na zona radicular das culturas, e ainda reduzir o consumo de energia, evaporação, deriva, escoamento superficial e as perdas por percolação quando comparada com as outras técnicas, como a irrigação por aspersão (SILVA et al., 2013b; AL-MUHAMMAD et al., 2016).

Por outro lado, tal uniformidade pode ser afetada por vários fatores, incluindo concepção hidráulica, variação de fabricação, efeitos da temperatura e entupimento (DOGAN & KIRNAK, 2010; VEKARIYA et al., 2011; MATTAR et al., 2014).

O menor consumo de água e energia elétrica, obtidos com os sistemas de irrigação localizada, está associado à aplicação pontual de água que penetra no solo e se redistribui formando um bulbo molhado, através de emissores (gotejadores ou microaspersores) que operam em alta frequência e baixo volume, mantendo o solo na zona radicular das plantas próximo à capacidade de campo. A área de solo

molhado exposto à atmosfera fica bem reduzida e, conseqüentemente, é menor a perda de água por evaporação direta do solo (PIZARRO, 1996; BERNARDO et al., 2006; MANTOVANI et al., 2009; BORSSOI et al., 2012).

Avaliando a demanda hídrica do cafeeiro Conilon irrigado por diferentes sistemas de irrigação, Venancio et al. (2016) observaram que a lâmina bruta aplicada nas irrigações foi 5,85% e 8,75% maior no sistema de irrigação por aspersão setorial em comparação aos sistemas por gotejamento e microjet, respectivamente, mostrando-se assim a economia de água nos sistemas de gotejamento, desde que, manejados corretamente.

O desempenho atual de sistemas de irrigação por gotejamento é uma questão importante, uma vez que irá determinar tanto as economias reais de água e a produção agrícola final (BENOUNICHE et al., 2014). Já Ferrarezi et al. (2015) ressaltam que a realização do manejo apropriado contribui diretamente para reduzir as perdas econômicas na produção e promover a preservação ambiental, devido à maior eficiência de uso da água.

Segundo Cardoso e Frizzone (2014), para que o sucesso do projeto hidráulico seja efetivo, é necessário que as perdas totais sejam corretamente calculadas, mantendo-se uma uniformidade de distribuição aceitável.

Zhou et al. (2015) relatam que a frequência de irrigação por gotejamento tem impactos importantes sobre o crescimento das plantas, a umidade do solo, e o processo de migração de nutrientes e salinidade, e alguns estudos provaram que diferentes frequências de irrigação, alteraram o rendimento das culturas e eficiência do uso da água.

O desenvolvimento radicular das culturas é limitado ao volume de solo molhado pelos emissores, com densidade de comprimento radicular diminuindo com profundidade (MICHELAKIS et al., 1993; STEVENS & DOUGLAS, 1994), daí a importância do estudo da formação do bulbo molhado no solo.

Segundo Nafchi et al. (2011), muito pouca atenção é dada a estimativa de distribuição de água no solo utilizando irrigação por gotejamento em condições reais de campo, Souza e Folegatti (2010) relatam que fatores importantes para essa estimativa, tanto na concepção e gestão são muitas vezes esquecidos, e as práticas

correntes no Brasil e em outros lugares são muitas vezes baseadas em informações empíricas ou em dados recolhidos de forma indiscriminada da literatura profissional.

2.3 FORMAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO BULBO MOLHADO

O bulbo ou volume úmido do solo é a distribuição de água no volume molhado por gotejamento; que se forma a partir de uma fonte pontual de água no solo que se propaga tridimensionalmente através da frente de molhamento é, também, uma ferramenta indispensável na determinação de quanto e quando irrigar (BARROS et al., 2009; ELAIUY, 2012). Já Kandelous et al. (2011) estudaram a distribuição do conteúdo de água entre dois emissores, com sobreposição, em um sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, os autores concluíram que o sistema pode ser descrito por um modelo bidimensional apenas antes de ocorrer sobreposição do bulbo molhado, e a partir daí seria necessário um modelo tridimensional.

Segundo Subbaiah (2013), o fluxo de água sob irrigação por gotejamento é mais complexo, uma vez que a água é aplicada a partir de emissores, e de cada emissor, a água se espalha em todas as direções. Tal comportamento está em nítido contraste com a geometria e dinâmica do volume de solo molhado sob irrigação por aspersão quando a área total da superfície do solo é molhada e a distribuição vertical de conteúdo de água no solo é essencialmente constante (ZUR, 1996).

Informações confiáveis sobre as dimensões do bulbo em contato com o solo sob irrigação por gotejamento ajudam a determinar as vazões ideais dos emissores e espaçamentos para reduzir os custos dos equipamentos do sistema e oferecer melhores condições de água no solo para o uso mais eficiente da água e fertilizantes (KEYYAN e PETERS, 2011).

O dimensionamento do bulbo úmido auxilia na estimativa adequada do número de gotejadores por planta e sua localização em relação às plantas ou linhas de plantas influencia diretamente os custos do projeto de irrigação e produtividade das culturas (ELAIUY et al., 2015). Além disso, o conhecimento dessas dimensões também é útil nos cálculos da lâmina de água a aplicar e da quantidade de nutriente no volume molhado, sendo fundamental para o programa da fertirrigação (MAIA, 2010).

O padrão de distribuição de água no solo é uma característica que influencia significativamente o projeto e a operação de sistemas de irrigação por gotejamento, devido a sua largura, profundidade e diâmetro, o volume deve corresponder ao sistema radicular da planta (CRUZ-BAUTISTA et al., 2016). Esse volume pode ser medido diretamente em campo, através da abertura de trincheiras ou por meio de medidas indiretas, como tabelas ou modelos (BIZARI et al., 2016).

Alternativamente, a forma de um volume de solo molhado pode ser medida e controlada utilizando equipamento de detecção do teor de água, tais como reflectometria no domínio do tempo (TDR), que mede o teor de água e da condutividade eléctrica utilizando uma única sonda dentro do mesmo volume de solo. O método TDR oferece medições não destrutivas e repetitivas com precisão relativamente elevada ($\pm 1-2\%$ volumétrica), (TOPP et al., 1980; COELHO & OR, 1996; SOUZA & MATSURA, 2003), sendo uma técnica promissora no estudo do volume do solo molhado (SOUZA et al., 2009).

Infelizmente estes dimensionamentos são frequentemente subestimados e as práticas correntes no Brasil e no resto do mundo são muitas vezes baseadas em informações empíricas ou em dados recolhidos de forma indiscriminada da literatura profissional (ELAIUY et al., 2015).

Os altos investimentos requeridos na implantação deste sistema de irrigação podem não fornecer retorno financeiro ao agricultor, caso não sejam utilizadas técnicas adequadas de manejo da irrigação que visem à racionalização do uso da água e o aumento da produtividade (SILVA et al., 2015).

Há uma necessidade de uma abordagem robusta, ainda facilmente implementada, para calcular e visualizar o padrão de umedecimento a partir de sistemas de irrigação por gotejamento para auxiliar na gestão do sistema (SUBBAIAH, 2013). Devido à especificidade dos solos, as tabelas ajustadas para tal fim nem sempre são adequadas para as condições brasileiras, tornando-se necessários estudos que indiquem adequadamente esse volume. (BIZARI et al., 2016).

A forma e o tamanho do bulbo molhado dependem da vazão aplicada, do tipo de emissor, da duração da irrigação e do tipo de solo (PIZARRO, 1996). Outros fatores que influenciam as dimensões do bulbo molhado são: estrutura e textura do

solo, sistema de irrigação, altura do emissor em relação ao solo, umidade inicial do solo e presença de concreções e cascalho (BELL et al., 1990, FOLCH & FÁBREGA, 1999, ELAIUY, 2012).

Nos solos mais argilosos, em razão da menor taxa de infiltração, verifica-se a formação de bulbo com maior dimensão horizontal, explicado pela maior influência da capilaridade sobre a gravidade. Em solos que apresentam camadas estratificadas, verificam-se camadas com diferentes porosidades, que afetam o fluxo e a retenção de água e, conseqüentemente, o bulbo molhado superficial (MAIA & LEVIEN, 2010).

Isso implica que, quando a frente de molhamento atinge camadas de diferentes texturas, esta se comporta como uma barreira, principalmente em solos que apresentam gradiente textural em seu perfil. Para diferentes vazões de emissor e para mesmo tempo de irrigação, menores vazões tenderão a formar bulbos molhados mais profundos e com menor raio superficial; já para mesma vazão de emissores quanto maior o tempo de irrigação, maior o raio superficial (MAIA e LEVIEN, 2010).

Além disso, as práticas de irrigação incorretas podem causar danos ambientais graves e permanentes, já que o aumento da vazão dos emissores acima do recomendado faz com que a água que flui para fora leve para baixo não apenas as partículas finas do solo, mas também nutrientes que, em alguns casos, podem causar a contaminação do solo (KUKLIK & HOANG, 2014).

Portanto, ao projetar um sistema de irrigação por gotejamento em solos de textura leve, o conteúdo de água no solo antecedente e o agendamento (ou duração da aplicação de água) desempenham um importante papel, como eles são as principais forças motrizes para mover e redistribuir água e solutos no perfil do solo, e fora a influência do local de impacto, tais como fluxo de drenagem e poluição das águas subterrâneas. Apesar desses fatores, as mudanças no volume molhado também dependem do fluxo e propriedades dos solos (PHOGAT et al., 2012).

A partir da análise das diferentes experiências numéricas, conclui-se que, para a mesma profundidade de irrigação, gotejador e espaçamento do solo, o componente vertical da zona molhada é mais profundo para uma taxa de descarga mais lenta do que para um mais rápido. Isto está de acordo com as conclusões de

Bresler et al. (1971), modelo sem considerar a extração de água pelas raízes e evaporação. Também observaram que houve uma rápida sobreposição dos bulbos molhados no solo de textura fina e que percolação profunda parece ser menor no solo de textura fina do que no de textura grossa. Os aumentos de percolação profundos com aplicação da irrigação aumentam em profundidade (ELMALOGLU & DIAMANTOPOULOS, 2010).

Assim, o conhecimento do “status” da água no solo é de importância primordial, uma vez que é permitido um manejo correto desse fator de produção agrícola em áreas irrigadas, isto é, propicia a estimativa do momento e da quantidade de água que deve ser fornecida ao solo para a manutenção do cultivo sob condições hídricas adequadas, na busca da maximização da produtividade (NUNES et al., 2015).

2.4 SISTEMA RADICULAR DO CAFEIEIRO

O sistema radicular do cafeeiro é pseudopivotante, pois, na maioria dos casos, suas raízes se apresentam curtas, grossas e terminam abruptamente. Raramente estende-se a mais que 0,45 m abaixo da superfície do solo e, frequentemente, são múltiplas (RENA & GUIMARÃES, 2000). No café Conilon o sistema radicular se concentra na projeção da copa, nas proximidades do tronco, e sua estrutura e distribuição no solo são muito semelhantes àquelas do café arábica (RENA, 1998; RENA & DaMATTA, 2002).

Apesar de existirem relatos na literatura de que a maior robustez do café Conilon esteja associada à maior extensão e eficiência de seu sistema radicular, tanto na absorção de água como de nutrientes, a distribuição, a arquitetura e a profundidade das raízes podem ser afetadas por diversos fatores edáficos, como textura, estrutura, profundidade, densidade aparente e fertilidade, como também por outros fatores, como regime hídrico, tipo de irrigação, densidade de plantio, localização de adubos, genótipos, dentre outros (RENA & DaMATTA, 2002).

Com um grande sistema radicular, a planta é capaz de explorar um maior volume de solo, refletindo na absorção de água e nutrientes, tornando possível um maior desenvolvimento da parte aérea (CONTARATO et al., 2010). Pinheiro et al. (2005) afirmam que o volume de raiz de café Conilon muda de acordo com o

genótipo em estudo. Já Vadez (2014) relata que o crescimento de raízes mais profundas, não necessariamente diz respeito a mais extração de água, pois além de sua presença, as raízes precisam ter as características hidráulicas adequadas para permitir a absorção de água.

Propõe-se que culturas estabelecidas com suprimento adequado de água tendem a produzir um sistema radicular confinado à superfície do solo, ao passo que culturas submetidas a variados suprimentos de água têm desenvolvimento radicular mais profundo. Alguma evidência dessa sugestão foi encontrada, mas, frequentemente, existe uma variação maior entre sistemas radiculares submetidos a determinado regime de água, do que entre profundidade radicular média de plantas de regimes de água contrastantes (DURÃES & MAGALHÃES, 2008).

Assim, o conhecimento do sistema radicular pode ser utilizado para estimar a necessidade de água do cafeeiro (SILVA et al., 2009) e para definir o melhor sistema de irrigação (BARRETO et al., 2006), sendo que, um dos aspectos importantes para o manejo da irrigação é a profundidade do sistema radicular, o qual, interfere na lâmina de água a qual irá ser aplicada na cultura, já que uma estimativa errada da profundidade do sistema radicular pode levar a déficit ou a excesso do valor da lâmina de irrigação. Devido a essa importância, se faz necessário a sua determinação e análise da sua distribuição em cultivos irrigados.

Particularmente, o crescimento das raízes e a capacidade de absorção de água pelas raízes devem ter um papel vital nas relações hídricas das plantas (LAFITTE & BENNETT, 2002). O tamanho do sistema radicular é o principal determinante da condutividade hidráulica da planta em grandes culturas (JIANG et al., 1988; ADACHI et al., 2010, 2011), a gestão da água no solo pode afetar a taxa de transpiração e as relações hídricas das plantas em grande parte através da modificação do desenvolvimento raiz (KATO & OKAMI, 2011).

Além disso, podem ser utilizadas diferentes correlações entre a produção de raízes e a produtividade das plantas. Destaca-se, aqui, a importância da quantidade de raízes, cujo cálculo mostra a capacidade de absorção de água e de nutrientes pela planta (GUIMARÃES et al., 1996).

Ainda segundo Amaral et al. (2011) e Martins et al. (2015), fatores como pelos radiculares, micorrizas, morfologia radicular, mecanismos de absorção, e o volume

de solo explorado pelas raízes podem levar a diferenças na eficiência de absorção de nutrientes entre as variedades cultivadas em solo e, conseqüentemente, as diferentes eficiências nutricionais de plantas.

É importante salientar que a irrigação afeta a alocação, a distribuição e o crescimento radicular do cafeeiro de raízes, que depende das estratégias de crescimento da planta e sua resposta geral para déficits e distribuição de água disponível no solo (BELAN et al., 2011; COMAS et al., 2013).

Ronchi et al. (2015) relatam que a maior parte do sistema radicular está distribuída na camada superficial do solo e Silva et al. (2009) relatam que as raízes existentes nessa camada são as mais importantes na extração de água em plantas de café.

Dessa forma, o conhecimento da distribuição do sistema radicular do cafeeiro é de grande importância para o manejo da lavoura, já que raízes bem desenvolvidas podem promover melhor absorção e aproveitamento de água, nutrientes, fungicidas e inseticidas, o que pode influenciar diretamente a produtividade da planta e a tolerância ao déficit hídrico (CARVALHO et al., 2008; PARTELLI et al., 2014).

Para caracterização do sistema radicular, entre os métodos mais utilizados no Brasil, destacam-se os para análise de raízes lavadas (blocos ou monólito e trado) e outros para raízes em perfil de solo (trincheira ou parede do perfil e rhizotron) (BÖHM, 1979).

Para avaliação de modo mais rápido e preciso dessas duas formas, foram criados programas, como SIARCS (CRESTANA et al., 1994; JORGE & CRESTANA, 1996), os quais, através da análise de imagens digitais foram possíveis determinar o comprimento, a distribuição e a área ocupada pelas raízes, porém com algumas limitações.

Verificando a necessidade de novas ferramentas voltadas para análise de raízes lavadas, bem como análise de fibras vegetais, a Embrapa Instrumentação desenvolveu a ferramenta SAFIRA, com base na transformação da distância e outros métodos apresentados nos diversos trabalhos presentes na literatura para determinar os parâmetros de análise morfológica das raízes e fibras como volume, área superficial, diâmetros médios e comprimento (JORGE & RODRIGUES, 2008).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido em três propriedades cultivadas com cafeeiro Conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner), cultivar “Vitória Incaper 8142”, irrigado por gotejamento. Para avaliação do experimento foi utilizado o genótipo 02, um dos clones mais produtivos e plantados na região. As propriedades estão localizadas no município de São Mateus, ES, com altitude de 39 metros.

Para todas as propriedades foram realizadas podas utilizando a técnica de poda programada de ciclo. Os solos se apresentaram com topografia plana com declividade inferior a 1%, as demais características são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características das propriedades cultivadas com cafeeiro Conilon.

Propriedade	Classe	Textura	Idade (ano)	Poda	Espaçamento (m)	NHPL	NHhec
1	Latossolo Vermelho Amarelo	arenosa a média	7	2014	3 x 0,80	3	12500
2	Latossolo Vermelho Amarelo	arenosa a média	6	2015	3 x 0,80	1	4166
3	Latossolo Vermelho Amarelo	argilo arenosa	5	2016	3 x 0,80	2	8333

NHPL: Número de haste por Planta, NHhec: número de haste por hectare.

O clima do município de São Mateus é classificado segundo Köppen em Aw, caracterizado por clima tropical úmido, com inverno seco e chuvas máximas no verão. A precipitação média anual é de 1.200 mm concentrada entre os meses de novembro e janeiro. A temperatura média anual é de 23°C, e as médias máximas e mínimas são de 29°C e 18°C, respectivamente (NÓBREGA et al., 2008). Os dados climáticos durante o período de avaliação estão apresentados na figura 1.

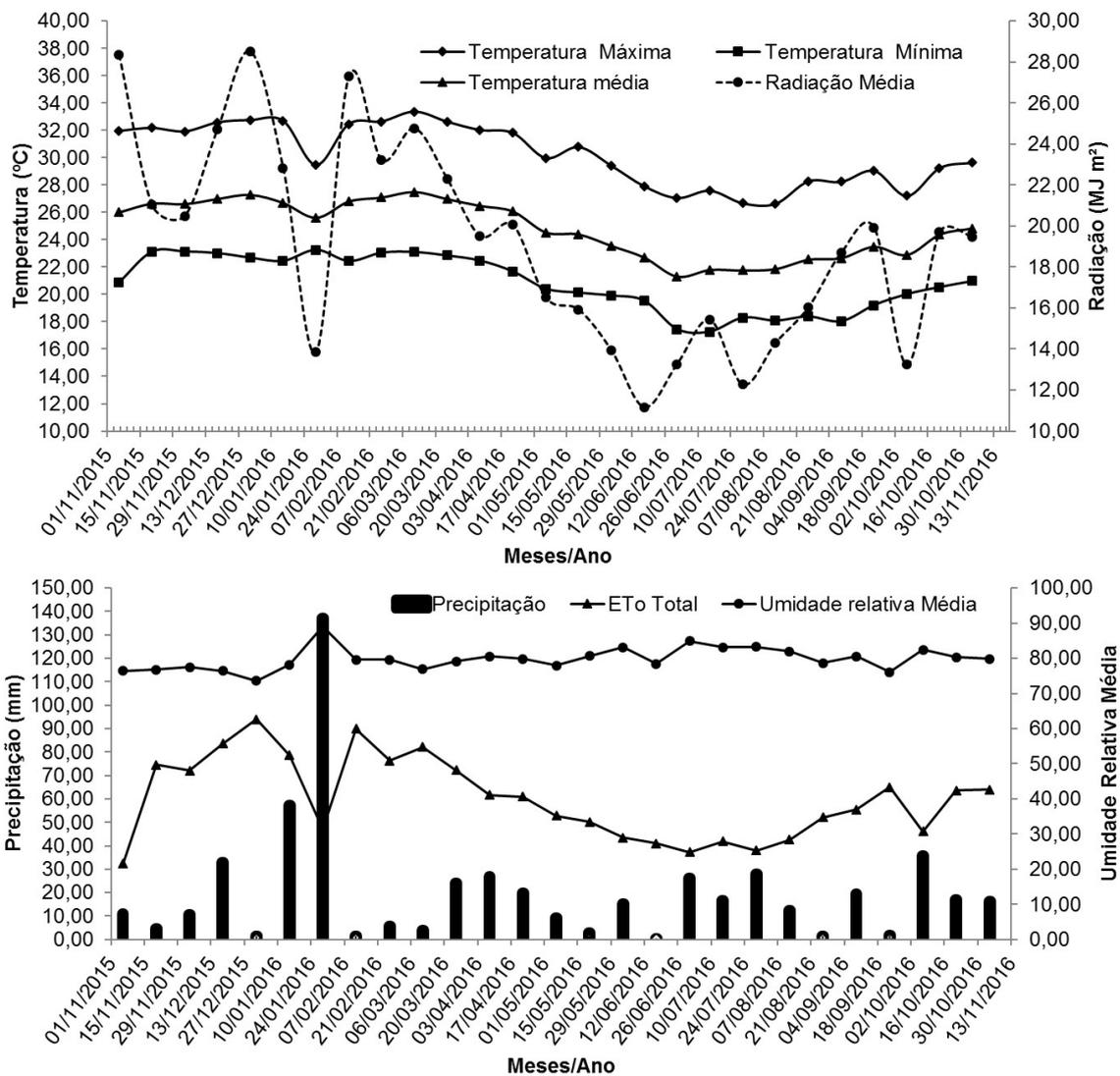


Figura 1 – Dados climatológicos ocorridos durante as avaliações, São Mateus-ES.

Para caracterização textural e físico-hídrica dos solos, foram retiradas amostras deformadas e indeformadas em duas posições, na linha e entre linha de plantio, em quatro faixas de profundidades (0,00-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m), em quatro repetições.

A análise textural foi realizada com as amostras deformadas segundo metodologia da Embrapa (2011), pelo método da pipeta, baseado no princípio da velocidade de queda das partículas, conforme a Lei de Stokes, utilizando-se como dispersante químico o hidróxido de sódio a 0,1 mol L⁻¹. Para a dispersão física, empregou-se a agitação lenta de 50 rpm por 16 h em agitador rotatório tipo Wagner.

A fração silte foi obtida por diferença entre duas pipetagens, sendo na primeira recolhido silte + argila e, na segunda, apenas argila. A separação da fração areia foi feita por lavagem e peneiramento em peneira com malha de 0,053 mm. Na Tabela 2 estão apresentados os resultados das análises granulométricas.

Tabela 2 - Valores médios de areia, silte e argila em quatro faixas de profundidades e duas posições nas três propriedades cultivadas com cafeeiro Conilon, em São Mateus-ES.

Propriedade	Posição	Profundidade (m)	Areia	Argila	Silte
			g Kg ⁻¹		
1	Linha	0,00-0,20	737,21	258,04	4,75
		0,20-0,40	734,92	260,06	5,02
		0,40-0,60	678,39	314,76	6,85
		0,60-0,80	668,33	325,89	5,78
	Entre linha	0,00-0,20	727,15	267,10	5,75
		0,20-0,40	725,77	269,15	5,08
		0,40-0,60	673,16	319,79	7,05
		0,60-0,80	663,72	330,97	5,31
2	Linha	0,00-0,20	730,01	265,93	4,06
		0,20-0,40	730,92	264,65	4,43
		0,40-0,60	675,11	319,86	5,03
		0,60-0,80	663,57	331,45	4,98
	Entre linha	0,00-0,20	728,05	266,30	5,65
		0,20-0,40	727,77	267,12	5,11
		0,40-0,60	671,87	322,17	5,96
		0,60-0,80	664,02	330,96	5,02
3	Linha	0,00-0,20	698,20	297,65	4,15
		0,20-0,40	704,20	290,02	5,78
		0,40-0,60	674,33	320,87	4,80
		0,60-0,80	653,93	340,34	5,73
	Entre linha	0,00-0,20	680,75	313,24	6,01
		0,20-0,40	690,34	303,77	5,89
		0,40-0,60	670,97	323,38	5,65
		0,60-0,80	652,02	343,09	4,89

Nas amostras indeformadas foi determinada a microporosidade (Micro), que foi considerada como sendo a água retida à tensão de 6 kPa. Por diferença entre

porosidade total e microporosidade foi calculada a macroporosidade (Macro), sendo a porosidade total obtida a partir da umidade de saturação do solo. A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico com 0,05 m de diâmetro e 0,03 m de altura. (EMBRAPA, 2011).

A CC e o PMP foram determinados utilizando extrator Richards, onde as amostras indeformadas após saturadas por 24 h, foram submetidas às tensões de 10 e 1500 kPa equivalentes a CC e PMP, respectivamente. Ao final das tensões aplicadas, as amostras foram levadas para estufa a 105°C por 24 horas para a determinação da massa do solo seco, permitindo assim a obtenção das umidades em base gravimétricas correspondentes às tensões aplicadas consideradas iguais aos valores dos potenciais mátricos (EMBRAPA, 2011). Na Tabela 3 estão apresentados os resultados da caracterização granulométrica e físico-hídrica dos solos.

Tabela 3. Atributos físico-hídricos dos solos em quatro faixas de profundidades e duas posições nas três propriedades cultivadas com cafeeiro Conilon, em São Mateus-ES.

Propriedade	Posição	Profundidade (m)	Ds (g cm ⁻³)	Macro	Micro	CC	PMP
				(%)			
1	Linha	0,00-0,20	1,47	27,25	17,21	20,3	7,5
		0,20-0,40	1,55	26,79	18,51	19,8	8,1
		0,40-0,60	1,65	16,47	22,34	19,6	8,1
		0,60-0,80	1,68	14,78	26,67	19,6	8,2
	Entre linha	0,00-0,20	1,65	16,89	22,04	19,8	7,6
		0,20-0,40	1,68	15,90	22,53	19,7	8,0
		0,40-0,60	1,68	15,85	22,78	19,5	7,9
		0,60-0,80	1,70	12,60	23,89	19,5	7,9
2	Linha	0,00-0,20	1,49	26,31	18,45	19,8	8,5
		0,20-0,40	1,56	26,07	18,89	19,5	8,6
		0,40-0,60	1,64	18,65	21,56	18,8	8,1
		0,60-0,80	1,66	17,44	22,68	18,9	8,7
	Entre linha	0,00-0,20	1,63	19,45	21,89	19,5	8,6
		0,20-0,40	1,62	18,78	21,78	19,3	8,7
		0,40-0,60	1,65	18,90	22,04	18,4	8,9
		0,60-0,80	1,68	19,02	22,10	18,2	8,9
3	Linha	0,00-0,20	1,55	23,56	18,98	22,6	8,5
		0,20-0,40	1,58	23,80	18,64	22,3	8,0
		0,40-0,60	1,66	17,76	21,78	21,6	8,0
		0,60-0,80	1,68	17,56	22,89	21,6	7,9
	Entre linha	0,00-0,20	1,60	20,80	16,50	22,2	8,4
		0,20-0,40	1,61	19,57	18,89	22,1	8,1
		0,40-0,60	1,68	17,89	21,32	21,4	7,9
		0,60-0,80	1,68	17,67	22,59	21,2	7,9

Em que: Ds – Densidade do solo; Macro – Macroporosidade; Micro – Microporosidade; CC – Capacidade de Campo (%vol); PMP – Ponto de Murcha Permanente (%vol).

3.2 MANEJO DA IRRIGAÇÃO

O sistema de irrigação utilizado nas propriedades avaliadas foi o localizado por gotejamento, utilizando gotejadores autocompensantes e sistema de filtros para evitar a obstrução dos gotejadores. As características dos sistemas de irrigação nas três propriedades são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Características dos sistemas de irrigação localizados nas três propriedades cultivadas com cafeeiro Conilon, em São Mateus-ES.

Propriedade	Irrigação		Emissores		CUC (%)	CUD (%)
	Lâmina (mm)	Manejo	Vazão (L h ⁻¹)	Espaçamento (m)		
1	10	Via clima	2	0,50	91	90
2	3	2h dia ⁻¹	2,5	0,50	90	89
3*	5	5h semana ⁻¹	2,5	0,50	91	90

Em que: CUC – coeficiente de uniformidade de Christiansen; CUD – coeficiente de uniformidade de distribuição. *O manejo da irrigação era realizado irrigando 2,5 horas duas vezes na semana, totalizando cinco horas semanais.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO BULBO MOLHADO

Para a caracterização do bulbo molhado foi realizada uma instalação nas três propriedades estudadas, tubos de acesso de Tecanat, com 4,4 cm de diâmetro e 1 metro de profundidade, para medição da umidade do solo por meio da reflectometria no domínio do tempo (TDR).

Na instalação dos tubos, fez-se necessário a utilização de equipamentos específicos que consistiram basicamente em um trado de ferro, tipo holandês, martelo de borracha, tripé para favorecer a inserção do tubo no solo de forma nivelada, base para proteger o tubo das batidas com o martelo de borracha e demais ferramentas para limpeza do tubo após a instalação.

Os tubos foram instalados em prumo em intervalos de 0,20 m usando um martelo de borracha e uma sonda e após cada incremento na profundidade, se utilizou o trado Holandês para escavar e retirar o solo do interior do tubo. Ao final da instalação, os tubos foram limpos internamente com auxílio de uma esponja

acoplada ao trado. Na extremidade inferior do tubo foi colocado um anel de borracha para realizar a vedação do tubo, e na extremidade superior foi colocado um cap.

Os tubos foram dispostos em seis pontos em relação à planta, sendo um ponto na linha de plantio do cafeeiro entre duas plantas, e em cinco pontos na entre linha (0,10; 0,40; 0,70; 1,10 e 1,50 m da planta), sendo as medições realizadas em quatro faixas de profundidades (0,00-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m) com três repetições em cada propriedade estudada conforme Figura 2.

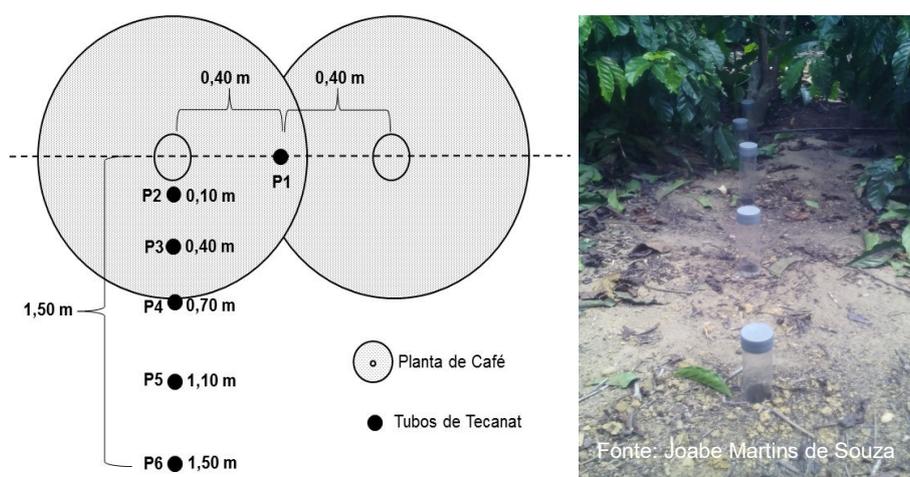


Figura 2 - Esquema e fotografia da caracterização do bulbo molhado.

A leitura da umidade foi realizada através de uma sonda de TDR modelo TRIME-PICO IPH T3/44, ligada a um módulo de Bluetooth, em que a parte do sensor possuía 0,20 m de comprimento, com capacidade para medir um volume de 3 litros de solo. A sonda foi inserida nos tubos de Tecanat a cada 0,20 m, e acionada com o módulo Bluetooth, o qual emitia um pulso eletromagnético, realizando assim a leitura da umidade do solo e o envio para um Palm Talk a leitura em porcentagem de volume.

As umidades do solo obtidas foram ajustadas através de regressão com o método padrão de estufa para todas as propriedades e faixas de profundidades estudadas (Figura 2). Para esse ajuste foram utilizadas 50 amostras indeformadas, retiradas com amostrador tipo Uhland, com 0,05 m de diâmetro e 0,03 m de altura, a mesma distância dos tubos de Tecanat, em planta adjacente.

Ao final das coletas, as amostras foram levadas para estufa a 105°C por 24 horas para a determinação da massa do solo seco, permitindo assim a obtenção das umidades em base gravimétrica correspondentes a cada profundidade, traçando assim as curvas de regressão para o ajuste das umidades do solo, conforme Figura 3.

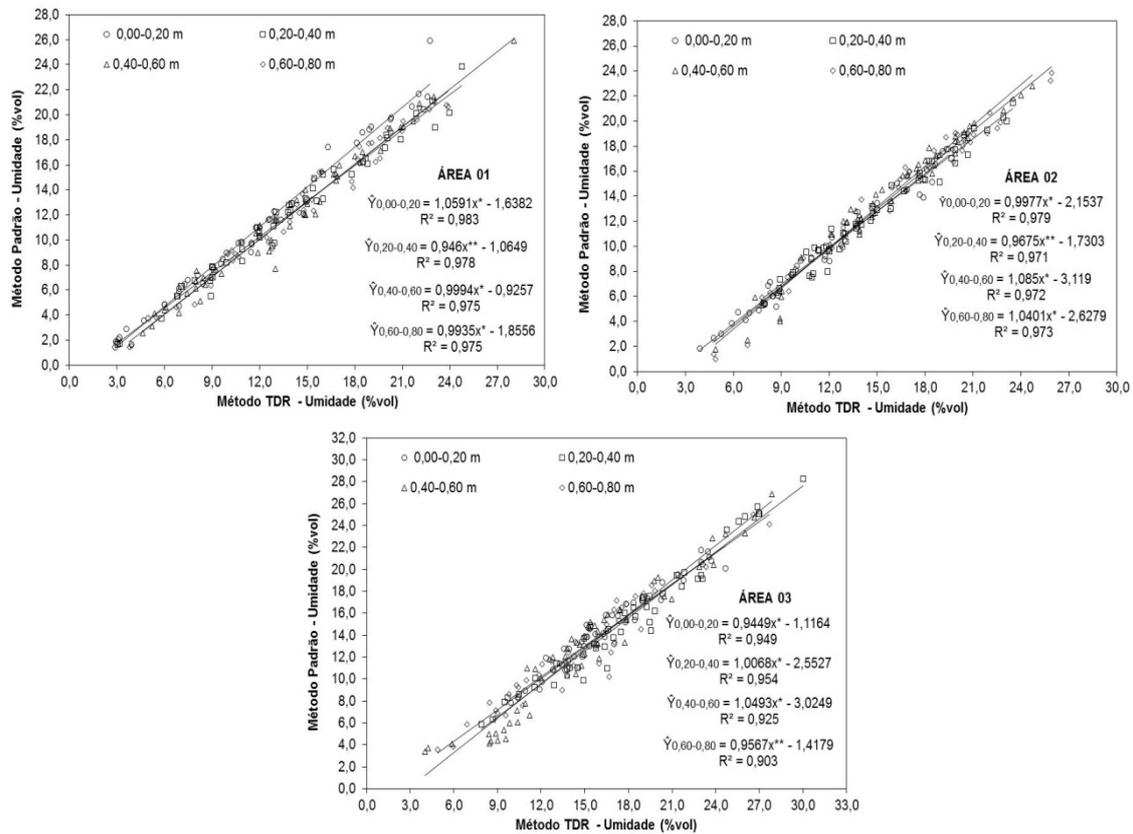


Figura 3 – Regressões lineares dos ajustes da umidade do solo entre o método TDR e o padrão para as três áreas e quatro profundidades de estudo.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA RADICULAR DO CAFEIEIRO

Para a caracterização do sistema radicular das plantas de cafeeiro foram retiradas amostras de solo com raízes nas três propriedades experimentais. As amostras foram retiradas em nove pontos em relação à planta, e em seis faixas de profundidades (0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40; 0,40-0,50 e 0,50-0,60 m). Dois pontos foram localizados na linha de plantio do cafeeiro com distâncias de 0,20 (P2) e 0,40 m (P1) do tronco da planta, já no sentido da entre linha, as amostras

foram coletadas a cada 0,20 m da planta até a distância de 1,40 m, totalizando sete pontos (P3 a P9) (Figura 4).

Para essa avaliação foram utilizadas plantas adjacentes às que foram instaladas nos os tubos de Tecanat, sendo avaliadas plantas com ausência de problemas fitossanitários e nutricionais.

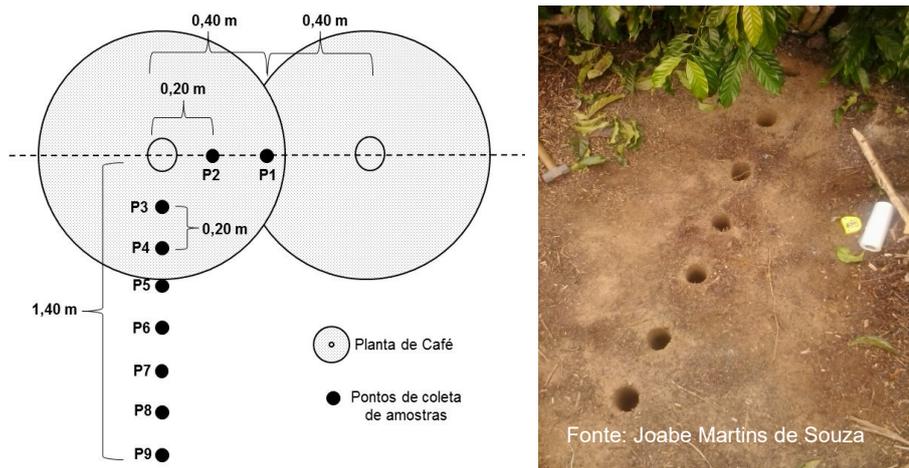


Figura 4 - Esquema e fotografia da caracterização do sistema radicular do cafeeiro Conilon.

As amostras foram coletadas com uma sonda de 283 cm³, identificadas e armazenadas em sacos de plástico e mantidas em câmara fria (aproximadamente -10°C) até a lavagem, para a separação das raízes que foi realizada sob água corrente, em peneira de 30 mesh, posteriormente foram transferidas para outra de 60 mesh e, novamente, lavadas em água corrente.

As raízes lavadas foram digitalizadas em scanner, a partir das imagens obtidas, pode-se determinar o volume, a área superficial, o comprimento e o diâmetro de raízes. As imagens foram submetidas ao programa Safira – Software para a análise de fibras e raízes, versão 1.1 (JORGE et al., 2010). Para análise, utilizaram-se as raízes inferiores a 1 mm de diâmetro, e os dados foram estimados por dm³ de solo.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para caracterização do bulbo molhado no perfil do solo em duas dimensões e nas diferentes distâncias da planta e profundidades, nas propriedades estudadas foram confeccionados gráficos de isolinhas com o programa GS+, versão 10 (ROBERTSON, 2008), utilizando a média das umidades do solo obtidas das três repetições.

O sistema radicular do cafeeiro foi avaliado em um delineamento inteiramente casualizado em parcela subdividida 4 x 6, sendo quatro pontos em relação à planta e seis faixas de profundidade, com cinco repetições. Foi realizado também avaliação na entre linha do cafeeiro em um delineamento inteiramente casualizado em parcela subdividida 5 x 6, sendo cinco pontos em relação à planta e seis faixas de profundidade, com cinco repetições.

Os dados foram submetidos à análise de variância, e comparados pelo teste de Scott-Knott em 5% de probabilidade, sendo comparado os pontos entre planta e até 0,40 m na entre linha, e outra comparação de 0,60 a 1,4 m na entre linha.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 SISTEMA RADICULAR SOB MANEJO COM LÂMINA DE 10 mm

Na formação do bulbo molhado sob manejo da irrigação de 10 mm, antes da irrigação do cafeeiro pode-se observar uma baixa umidade do solo até a profundidade de 0,30 m, onde se encontrou o maior volume de raiz, sendo que a umidade do solo mais próxima à capacidade de campo foi encontrada na faixa de profundidade de 0,60-0,80 m, porém inferior à capacidade de campo do solo dessa área (Figura 5A e Tabela 3). Na faixa de profundidade de 0,00-0,20 m, distante 0,40 m da planta na linha e na entre linha até a distância de 0,40 m, a umidade do solo estava praticamente no ponto de murcha permanente (Figura 5A).

Após uma irrigação de 10 mm, ocorreu um aumento da umidade do solo nas primeiras profundidades do solo, atingindo valores próximos à capacidade de campo do solo (Figura 5B). Essa irrigação proporcionou um aumento de umidade do solo de

cerca de 2,4 %v/v na umidade do solo até 0,15 m distante da planta na entre linha do cafeeiro até a profundidade de 0,50 m (Figura 5C).

Observou que o maior incremento na umidade do solo ocorreu a 0,10 m de distância da planta na faixa de profundidade de 0,15-0,40 m. Ainda a partir de 0,15 m distante da planta na entre linha e em todas as profundidades ocorreu uma perda de umidade do solo (Figura 5C).

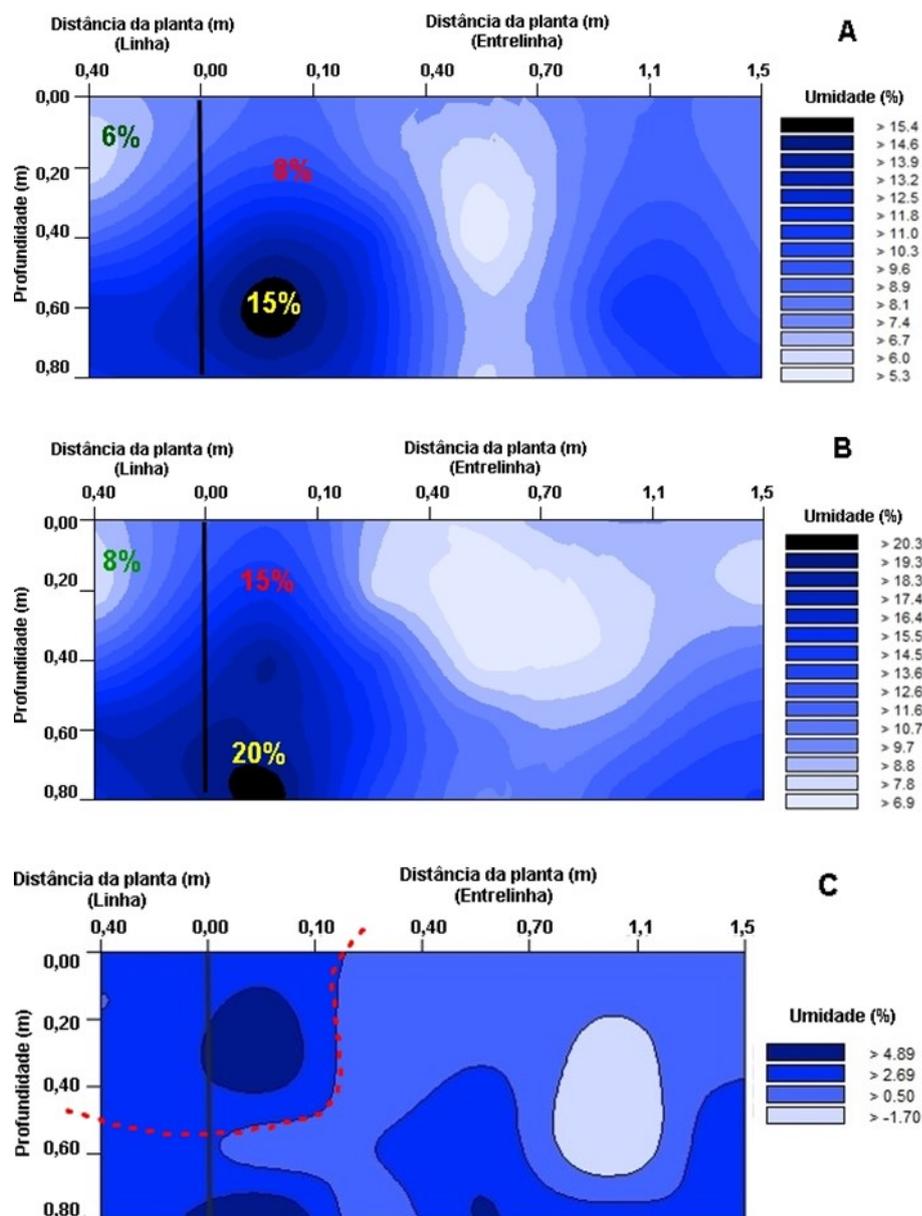


Figura 5 - Umidade do solo antes (A) e depois (B) da irrigação e formação do bulbo molhado (C) após irrigação de 10 mm.

Reichardt e Timm (2004) atestam que à medida que o solo seca, torna-se mais difícil a absorção de água, porque ocorre elevação das forças de retenção e diminuição da disponibilidade de água no solo. Esse fato pode ser observado na Figura 6, onde as plantas sofreram murchas severas nas plantas e posteriormente a queda de folhas, que são responsáveis pela maior parte da massa seca da parte aérea das plantas do cafeeiro Conilon, resultando assim em uma menor massa fresca e seca da parte aérea das plantas do cafeeiro.



Figura 6 - Plantas de cafeeiro Conilon murchas devido à baixa umidade do solo.

Em outro cenário com irrigação de 10 mm, verificou-se antes da irrigação valores mais baixos de umidade do solo em relação ao cenário anterior, atingindo valores de ponto de murcha permanente na faixa de profundidade de 0,00-0,30 m, na distância de 0,40 m da planta na linha do cafeeiro e até 0,90 m distante da planta na entre linha (Figura 7A).

Com a irrigação houve um aumento e reposição significativa da umidade do solo, porém não alcançando a capacidade de campo (Figura 7B). Incremento significativo de cerca de 10 %v/v foi encontrado na profundidade de 0,00-0,30 m, formando um bulbo até 0,20 m distante da linha de plantio, e se estendendo até 0,10 m na entre linha do cafeeiro (Figura 7C).

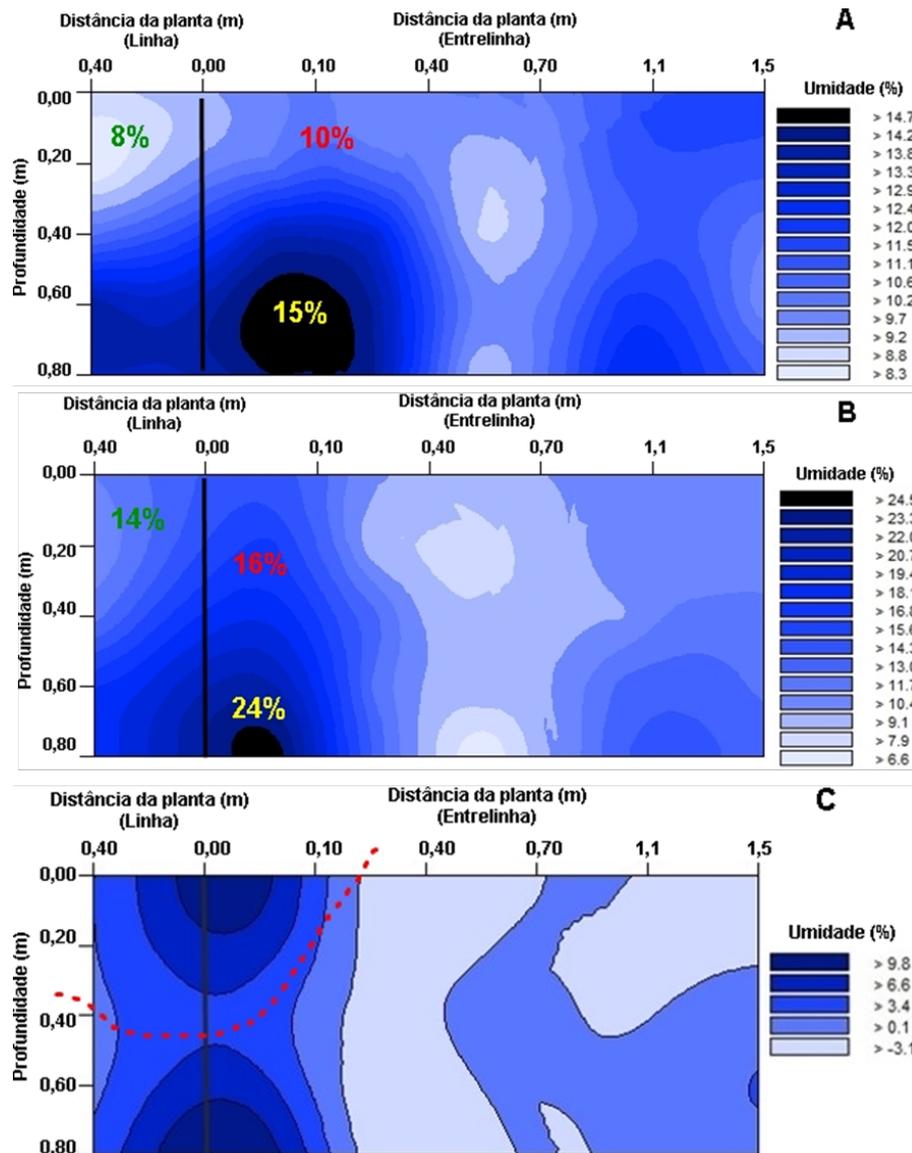


Figura 7 - Umidade do solo antes (A) e depois (B) da irrigação e formação do bulbo molhado (C) após irrigação de 10 mm.

Vale ressaltar ainda que houve incremento de umidade do solo em profundidade até a distância de aproximadamente 0,30 m da planta (Figura 7C), resultado importante, já que nessa região do solo encontrou-se maior volume, área superficial e comprimento de raiz até a distância de 0,40 na entre linha, conforme Tabela 5, contribuindo assim para melhor absorção de água e nutrientes.

Tabela 5. Características do sistema radicular do cafeeiro Conilon cultivado em área sob manejo de irrigação utilizando lâmina de 10 mm, em duas distâncias da planta na linha (L) e duas na entre linha, e em cinco distâncias na entre linha, em seis profundidades.

Distância da Planta (m)	Profundidade (m)					
	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	0,30-0,40	0,40-0,50	0,50-0,60
	Volume (mm³)					
0,40L	2303,74 aA	933,51 cB	100,52 cC	300,74 cC	329,10 bC	415,80 aC
0,20L	1513,02 bA	1264,64 bA	1249,66 bA	873,39 bB	537,58 bC	498,20 aC
0,20	1714,53 bB	2146,45 aA	1975,94 aA	1162,22 bC	565,31 bD	476,36 aD
0,40	1691,77 bA	786,76 cC	1889,02 aA	1477,42 aA	1763,21 aA	336,68 aD
	Área Superficial (cm² dm⁻³)					
0,40L	217,70 bA	104,76 bB	17,78 cD	43,21 cD	38,41 cD	65,54 aC
0,20L	183,14 cA	142,09 bB	168,05 aA	100,10 bC	77,30 bC	69,32 aC
0,20	124,68 dC	284,53 aA	112,69 bC	158,78 aB	82,98 bD	74,36 aD
0,40	251,77 aA	131,57 bC	181,27 aB	190,19 aB	151,42 aC	53,42 aD
	Comprimento (m dm⁻³)					
0,40L	21,92 aA	7,54 bB	4,12 bC	6,02 bB	3,52 cC	6,85 aB
0,20L	17,12 bA	9,79 bB	11,86 aB	7,98 bC	7,20 bC	7,95 aC
0,20	10,67 cB	17,11 aA	11,89 aB	8,95 bB	7,45 bC	4,45 aC
0,40	16,03 bA	9,04 bC	13,21 aB	12,49 aB	18,74 aA	5,70 aD
	Diâmetro (mm)					
0,40L	0,646 aA	0,642 aA	0,674 aA	0,670 bA	0,656 bA	0,634 aA
0,20L	0,648 aB	0,648 aB	0,638 aB	0,718 aA	0,692 aA	0,664 aB
0,20	0,652 aA	0,608 aB	0,652 aA	0,670 bA	0,682 aA	0,662 aA
0,40	0,624 aA	0,614 aA	0,666 aA	0,636 bA	0,636 bA	0,646 aA
	Volume (mm³)					
0,60	1250,01 cB	1619,24 aA	1654,21 aA	825,68 aC	238,36 bD	405,90 cD
0,80	1994,88 bA	1326,56 aB	349,50 cC	429,87 aC	216,05 bC	287,09 cC
1,0	2348,40 aA	945,42 bC	1369,11 aB	770,40 aC	699,56 aC	826,78 bC
1,2	1895,21 bA	1443,44 aB	882,89 bC	747,16 aC	658,80 aC	1264,68 aB
1,4						
	Área Superficial (cm² dm⁻³)					
0,60	179,12 bB	232,10 aA	196,93 aB	100,80 aC	41,14 bD	61,53 aD
0,80	327,81 aA	187,12 bB	57,78 dC	70,74 aC	73,87 bC	57,77 aC
1,0	312,17 aA	167,66 bC	219,48 aB	87,77 aD	90,94 aD	77,28 aD
1,2	194,55 bA	228,37 aA	157,05 bB	96,77 aC	67,17 bD	44,88 aD
1,4	181,16 bA	143,70 bB	129,71 cC	118,43 aC	100,81 aC	84,45 aC
	Comprimento (m dm⁻³)					
0,60	12,67 cA	10,98 bA	11,81 bA	5,05 bB	4,52 aB	3,65 aB
0,80	28,75 aA	11,37 bB	8,36 cB	4,83 bC	6,19 aC	6,04 aC
1,0	19,71 bA	15,56 aB	16,15 aB	9,65 aC	4,98 aD	5,57 aD
1,2	13,25 cA	15,36 aA	12,05 bA	9,42 aB	5,64 aB	7,79 aB
1,4	16,60 bA	11,98 bB	9,62 cC	11,49 aB	7,68 aC	4,73 aD
	Diâmetro (mm)					
0,60	0,654 aA	0,612 bA	0,650 bA	0,644 bA	0,666 aA	0,644 bA
0,80	0,644 aA	0,658 aA	0,628 bA	0,628 bA	0,664 aA	0,658 bA
1,0	0,652 aA	0,626 bA	0,632 bA	0,664 aA	0,670 aA	0,650 bA
1,2	0,624 aB	0,634 bB	0,678 aA	0,686 aA	0,676 aA	0,696 aA
1,4	0,670 aA	0,674 aA	0,696 aA	0,658 aA	0,670 aA	0,676 aA

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade.

Apesar da quantidade significativa de raiz observada nesses pontos e faixas de profundidades do solo, o manejo incorreto da irrigação, conforme observado na Figura 5A e 7A, pode acarretar um não aproveitamento de forma eficiente para a absorção de água e nutrientes, já que a irrigação não atingiu esses pontos, mantendo assim a umidade do solo baixa.

Porém, é importante ressaltar que houve incremento de umidade em faixas de profundidades mais profundas que podem estar relacionadas ao movimento de água no solo, ou também devido à percolação de água.

Nesse caso tornando-se problema, devido à utilização da fertirrigação nessa área, carreando assim também nutrientes para as maiores faixas de profundidades do solo, e o uso ineficiente da água. Já que há uma redução das características do sistema radicular, exceto a distância de 0,40 m entre linha da planta, que se pode observar um sistema radicular significativo até a faixa de profundidade de 0,40-0,50m.

Segundo Keller e Bliesner (1990), intervalos menores de irrigação em quantidades menores, produzem pequena área molhada, limitando as partes mais inferiores do sistema radicular de absorver água, e por outro lado, aplicações em excesso.

Em intervalos de irrigação mais longos, promovem o aumento da profundidade de penetração de água abaixo da zona do sistema radicular, água esta que será perdida por percolação e conseqüentemente carregando nutrientes que estariam prontos para absorção das plantas, acarretando em baixas produtividades. Tendo como um dos objetivos na irrigação, boa uniformidade de aplicação, esta se torna, ferramenta essencial, quando se quer aferir o dimensionamento do bulbo molhado (KELLER & BLIESNER, 1990).

Houve efeito da interação entre distância da planta e faixas de profundidade do solo em ambas as áreas estudadas, para as características volume, área superficial, comprimento e diâmetro de raízes (Tabela 5). Esses resultados mostram um comportamento diferenciado do sistema radicular do cafeeiro Conilon em termos de posição em relação à planta e em profundidade, tornando o estudo dessas características importantes para o adequado manejo da irrigação.

Resultado diferente do encontrado por Partelli et al. (2014) com diferentes pontos e profundidades, em menores quantidades, não observaram interação entre as distâncias e profundidades avaliadas, para os dados relacionados a área superficial, comprimento e volume radicular.

O cafeeiro Conilon sob manejo de irrigação de 10 mm, apresentou maior volume de raiz na faixa de profundidade de 0,00-0,10 m na linha do cafeeiro a 0,40 m distante da planta, diferindo das demais distâncias, já nas faixas de profundidade de 0,10-0,20 e 0,20-0,30, a 0,20 m distante da planta na entre linha apresentou o maior volume de raiz, sendo estatisticamente iguais entre si (Tabela 5).

As raízes existentes na faixa de profundidade (0,00-0,30 m) são as mais importantes na extração de água em planta de café, o que corrobora a definição clássica de raízes absorventes, com diâmetro inferior a 1,0 mm (RENA e DAMATTA, 2002), que foi a classe de raízes avaliada no presente trabalho. Para o ponto distante 0,40 m da planta houve um maior volume de raiz até a profundidade de 0,50 m, fato que foi exceção, não ocorrendo para as demais distâncias estudadas.

Partelli et al. (2014) também constataram que, em lavouras de *C. canephora*, a concentração de raízes finas ocorreu distante do ramo ortotrópico, onde as adubações de solo eram feitas. Contudo, esse padrão de resposta pode não ser um consenso, haja vista que Barreto et al. (2006) demonstraram que, em lavouras fertirrigadas, a densidade de raízes foi significativamente superior em pontos mais distantes do bulbo molhado, mas sob a copa.

Em trabalho de Zur (1996) o bulbo molhado deve atingir até o limite da profundidade efetiva das raízes, e este molhamento mais profundo que o sistema radicular representaria perda de água, fato que ocorreu nesse estudo.

A área superficial de raiz para o manejo de 10 mm (Tabela 5) foi maior a distância de 0,40 m da planta na entre linha para as profundidades de 0,00-0,10, analisando os pontos próximos à planta, já na faixa de profundidade 0,10-0,20 m a 0,20 m da planta na entre linha foi observada a maior área superficial.

Quando analisadas as faixas de profundidade as maiores áreas foram obtidas a 0,00-0,10 m, sendo que para a 0,20 m distante da planta na linha de plantio foi estatisticamente igual à faixa de profundidade de 0,20-0,30 m (Tabela 5).

Partelli et al. (2006) verificaram que a área superficial foi estatisticamente igual até a profundidade 0,60 m a 0,50 m distante da planta, e a 0,25 m da planta as maiores áreas superficiais foram encontradas até a profundidade de 0,40 m, sendo estatisticamente iguais às profundidades superiores.

Diferente do encontrado nesse trabalho para distância da planta, Covre et al. (2015) trabalhando com café Conilon observaram que houve redução na área superficial, com aumento da distância do tronco do cafeeiro, principalmente na região da entre linha de plantio do cafeeiro e com o aumento das faixas de profundidade do solo.

Na entre linha do cafeeiro a área superficial apresentou-se maior na faixa de 0,00-0,10 m, sendo estatisticamente igual à faixa de profundidade 0,10-0,20 m na distância de 1,2 m da planta. Já a maior área superficial entre os pontos foi obtida a 0,80 e 1,0 m, sendo estatisticamente iguais, diferindo das demais, que foram semelhantes entre si.

O maior comprimento de raiz foi observado na profundidade de 0,00-0,10 m para 0,40 m distante da planta na linha do cafeeiro, diferindo dos demais pontos estudados. Já a 0,20 m na entre linha o maior comprimento de raiz foi encontrado na faixa de 0,10-0,20 m, a 0,40 distante da planta na entre linha o maior comprimento foi encontrado na faixa de 0,40-0,50 m, já na faixa de profundidade 0,20-0,30 m os pontos distantes 0,20 na linha e 0,20 e 0,40 m na entre linha apresentaram estatisticamente iguais entre si.

Já para os pontos distantes da planta 0,60 e 1,2 m na entre linha as três primeiras profundidades iniciais do solo apresentaram estatisticamente iguais, diferentemente do observado para os pontos 0,80; 1,0 e 1,4 m da planta na entre linha em que o maior comprimento foi observado na profundidade de 0,00-0,10 m, sendo que nessa profundidade o ponto 0,80 m foi o que apresentou maior comprimento. Importante ressaltar que à medida de se aumentou a faixa em profundidade houve uma tendência dos pontos de apresentar estatisticamente os mesmos comprimentos (Tabela 5).

Alguns autores relatam que o maior comprimento do sistema radicular é indicativo de maior volume ocupado e explorado pelas raízes no solo (ZONTA et al., 2006) e genótipos com maior comprimento radicular proporcionam maior absorção

de nutrientes, uma vez que as raízes atingem maiores profundidades no solo (CLARKSON, 1985; ALVES et al., 2002).

Nas profundidades de 0,00-0,10; 0,40-0,50 e 0,50-0,60 m, os diâmetros de raiz foram estatisticamente iguais entre os pontos estudados. Para profundidade 0,10-0,20 m os maiores diâmetros foram observados a 0,20 e 0,40 m na linha, e 0,80 e 1,4 m na entre linha distantes da planta, sendo estatisticamente iguais entre si, diferindo para os demais. Já na profundidade 0,20-0,30 esses mesmos resultados foram observados a 0,40; 1,2 e 1,4 m na entre linha do cafeeiro (Tabela 5).

Para as três primeiras faixas de profundidade o diâmetro de raiz para os pontos e próximo à planta foi estatisticamente igual, as profundidades também tiveram o mesmo comportamento, exceto a 0,20 m na linha de plantio onde foi observado os menores diâmetros em faixa de profundidade até a faixa de 0,20-0,30 m (Tabela 5).

Resultado que difere do encontrado por Ronchi et al. (2015) e Partelli et al. (2014), que verificaram que os diâmetros médios de raiz foram reduzidos com o aprofundamento no perfil do solo, em razão do empobrecimento da fertilidade do mesmo, porém vale ressaltar que numericamente o diâmetro médio de raiz para estudos foi superior aos trabalhos citados.

Avaliando o diâmetro na entre linha do cafeeiro, na faixa de profundidade 0,00-0,10 m os pontos 0,60 até 1,4 m se apresentaram estatisticamente iguais, fato ocorrido na faixa dois apenas entre os pontos 0,80 e 1,4 m que apresentaram os maiores diâmetros. Já os demais pontos nessa faixa de profundidade apresentaram os menores diâmetros, sendo estatisticamente iguais entre si.

O ponto distante 1,2 m da planta na entre linha apresentou os menores diâmetros em termos de faixas de profundidade, sendo as faixas 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m estatisticamente iguais (Tabela 5). Já Partelli et al. (2006) trabalhando com café Conilon verificaram que para o diâmetro de raiz não houve diferenças em função da posição horizontal (distâncias do tronco do cafeeiro) e vertical (em profundidade) das amostragens no perfil.

4.2 SISTEMA RADICULAR SOB MANEJO COM LÂMINA DE 3 mm

No manejo com lâmina de 3 mm todos os dias, observou-se uma umidade do solo abaixo da capacidade de campo antes da irrigação, valores que foram bastante inferiores até a profundidade de 0,30 m na linha do cafeeiro, diminuindo expressivamente a partir de 0,10 m distante da planta na entre linha, chegando a valores abaixo do ponto de murcha permanente (Figura 8A).

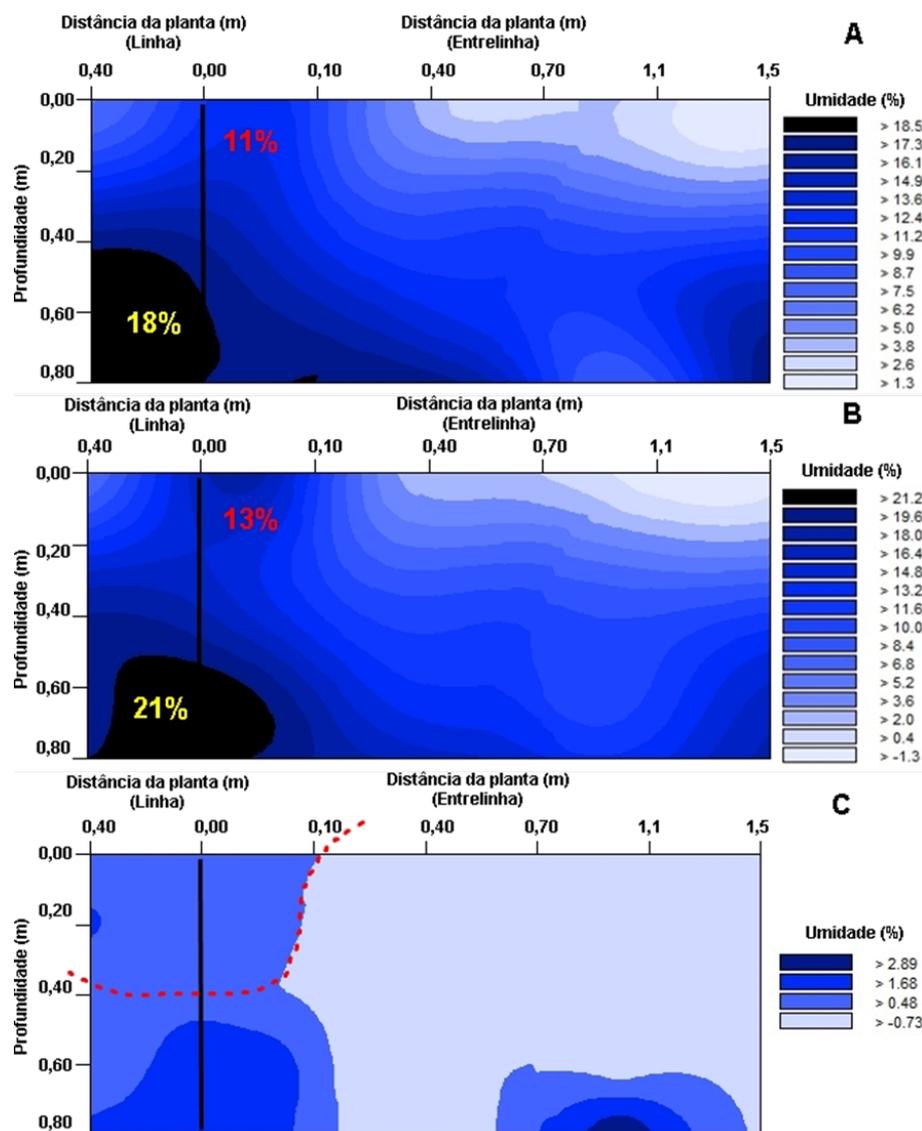


Figura 8 - Umidade do solo antes (A) e depois (B) da irrigação e formação do bulbo molhado (C) após irrigação de 3 mm.

Após irrigação de uma hora houve pouco incremento na umidade do solo, ocorrendo incremento na umidade do solo abaixo da profundidade 0,30 m (Figura 8B), fato importante, já que nessa área o produtor não estava irrigando o recomendado, devido à escassez dos recursos hídricos na região durante esse período de avaliação, mostrando que a mudança no manejo da irrigação afeta a formação do bulbo e o incremento de umidade do solo, tornando a cultura vulnerável ao estresse hídrico, comprometendo assim a produtividade do cafeeiro.

Vale ressaltar que nesse manejo o cafeeiro foi podado, ou seja, possuía uma área foliar pequena, com isso uma maior exposição do solo, aumentando assim a perda de água por evaporação nas primeiras profundidades, principalmente em períodos de alta temperatura, com foi o caso do período avaliado.

Em outro cenário se observou maior umidade do solo antes da irrigação abaixo da profundidade de 0,20 m, a qual diminui na entre linha a partir da planta (Figura 9A). Assim como no cenário anterior houve um baixo incremento da umidade do solo (Figura 8B), sendo que esse incremento ocorreu na linha do cafeeiro até 0,40 m e se expandido até 0,05 m da planta, formando assim o bulbo molhado. O aumento da umidade do solo ocorreu em todas as profundidades estudadas, sendo que a partir de 0,10 m da planta na entre linha, houve perda de umidade do solo em todas as profundidades (Figura 9C).

Para os cenários apresentados há um aumento maior em profundidade do bulbo do que no diâmetro. Siyal e Skaggs (2009) relatam, que ao estudarem quatro texturas diferentes observaram que a água penetrou mais profundamente em solos de textura mais arenosa em comparação com solos de textura mais fina, devido a maior condutividade hidráulica dos solos arenosos. O mesmo relatado por Schwartzman e Zur (1986), que para solos menos densos há um aumento na quantidade total de água no solo que contribui para um aumento da profundidade molhada do que um aumento no diâmetro.

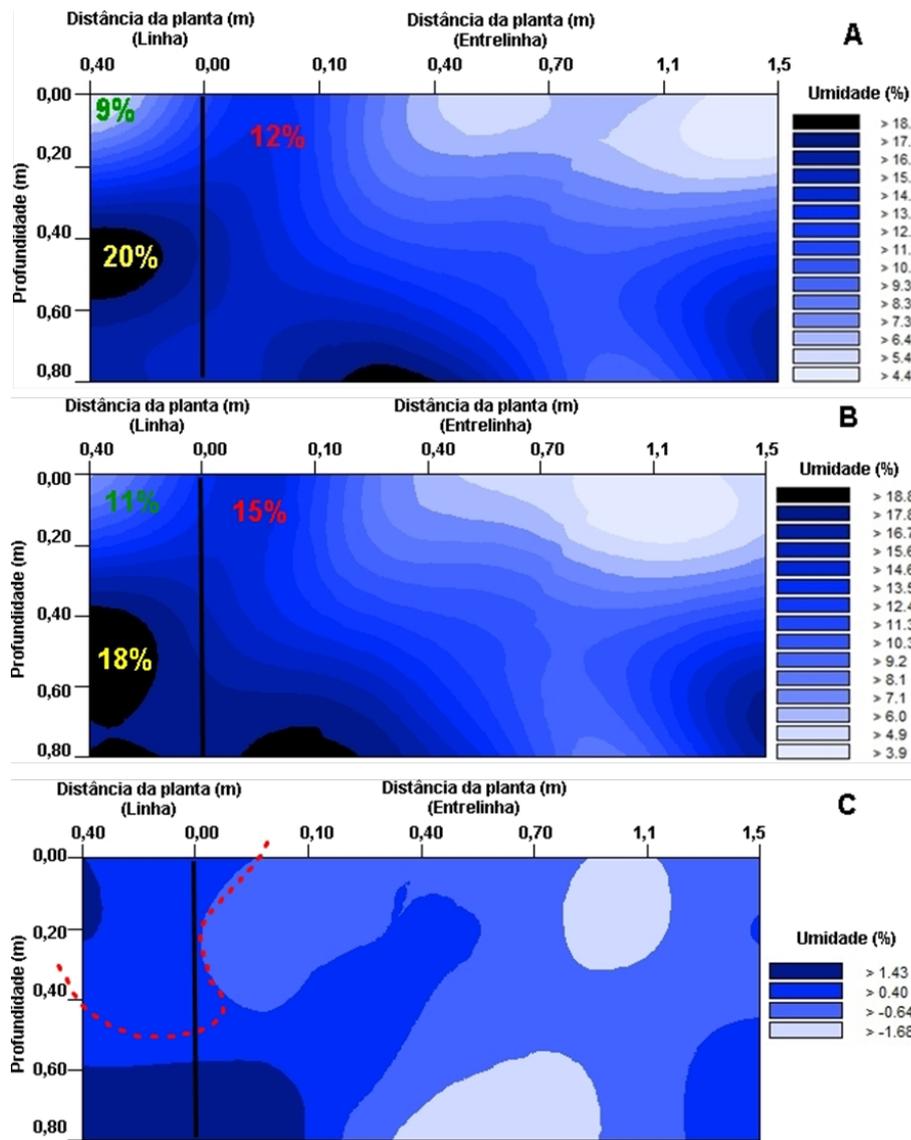


Figura 9 - Umidade do solo antes (A) e depois (B) da irrigação e formação do bulbo molhado (C) após irrigação de 3 mm.

Para esse manejo estudando os pontos próximos à planta o maior volume de raiz foi encontrado na faixa de profundidade 0,00-0,10 m, sendo estatisticamente igual a profundidade de 0,20-0,30 m para 0,40 m distante da planta na entre linha, e para 0,40 na linha, e para 0,40; 0,60 e 1 m, na entre linha (Tabela 6). Resultado semelhante encontrado por Partelli et al. (2006), que observaram maior concentração de raízes na faixa de profundidade superior (0,00-0,10 m), seguida pelas faixas posteriores na ordem de profundidade, tanto a 0,25 m quanto a 0,50 m de distância da planta.

Tabela 6. Características do sistema radicular do cafeeiro Conilon cultivado em área sob manejo de irrigação utilizando lâmina de 3 mm, em duas distâncias da planta na linha (L) e duas na entre linha, e em cinco distâncias na entre linha, em seis profundidades.

Distância da Planta (m)	Profundidade (m)					
	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	0,30-0,40	0,40-0,50	0,50-0,60
	Volume (mm³)					
0,40L	2356,23 bA	2356,23 bA	2356,23 bA	2356,23 bA	2356,23 bA	2356,23 bA
0,20L	845,70 cB	845,70 cB	845,70 cB	845,70 cB	845,70 cB	845,70 cB
0,20	2519,90 aA	2519,90 aA	2519,90 aA	2519,90 aA	2519,90 aA	2519,90 aA
0,40	865,78 aB	865,78 aB	865,78 aB	865,78 aB	865,78 aB	865,78 aB
	Área Superficial (cm² dm⁻³)					
0,40L	228,15 bA	122,31 bB	222,72 bA	108,59 bC	44,70 cD	23,10 dE
0,20L	92,72 cC	164,62 aB	191,69 cA	82,34 cC	86,81 bC	42,12 cD
0,20	316,76 aA	172,71 aC	239,29 aB	55,68 dE	44,16 cE	94,01 bD
0,40	224,30 bA	89,33 cD	60,43 dE	155,32 aB	122,49 aC	153,27 aB
	Comprimento (m dm⁻³)					
0,40L	39,68 aA	12,18 cB	11,64 bB	8,70 aC	5,03 bD	8,62 bC
0,20L	16,15 dB	23,41 aA	11,14 bC	9,23 aC	5,33 bD	2,64 dE
0,20	34,84 bA	18,31 bC	22,09 aB	7,26 aD	4,58 bD	6,24 cD
0,40	26,65 cA	8,98 dD	8,97 bD	9,39 aD	15,79 aB	12,15 aC
	Diâmetro (mm)					
0,40L	0,642 aB	0,650 aB	0,636 aB	0,636 bB	0,696 aA	0,652 aB
0,20L	0,622 aB	0,632 aB	0,628 aB	0,624 bB	0,668 bA	0,668 aA
0,20	0,624 aB	0,622 aB	0,652 aB	0,684 aA	0,696 aA	0,642 aB
0,40	0,618 aB	0,632 aB	0,626 aB	0,656 aA	0,650 bA	0,652 aA
	Volume (mm³)					
0,60	818,69 cA	344,19 dD	639,30 bA	453,99 bC	334,40 aB	373,65 cD
0,80	1168,36 bA	528,81 cB	287,68 dC	269,59 dC	339,31 aC	556,85 bB
1,0	1455,04 aA	1337,97 aB	1442,08 aA	855,81 aC	343,05 aE	755,95 aD
1,2	837,87 cA	846,89 bA	281,54 dB	342,69 cB	252,89 bC	337,22 cB
1,4	1430,39 aA	545,87 cB	428,34 cB	341,60 cD	251,46 bE	138,16 dF
	Área Superficial (cm² dm⁻³)					
0,60	120,54 cA	120,54 cA	120,54 aA	120,54 cA	120,54 cA	120,54 cA
0,80	96,13 bB	96,13 bB	96,13 bB	96,13 bB	96,13 bB	96,13 bB
1,0	85,64 cC	85,64 cC	85,64 cC	85,64 cC	85,64 cC	85,64 cC
1,2	96,02 bB	96,02 bB	96,02 bB	96,02 bB	96,02 bB	96,02 bB
1,4	51,34 bD	51,34 bD	51,34 bD	51,34 bD	51,34 bD	51,34 bD
	Comprimento (m dm⁻³)					
0,60	12,80 bA	6,37 bC	8,55 bB	9,59 bB	5,64 aC	8,64 aB
0,80	10,65 cA	2,37 cC	1,28 dC	1,27 dC	1,24 cC	8,89 aB
1,0	6,79 dB	5,70 bB	12,20 aA	11,70 aA	2,79 bC	5,98 bB
1,2	17,54 aA	16,41 aA	4,16 cC	4,33 cC	5,48 aC	8,54 aB
1,4	18,97 aA	6,12 bC	8,39 bB	4,94 cC	5,20 aC	6,26 bC
	Diâmetro (mm)					
0,60	0,670 aA	0,672 aA	0,656 aA	0,656 bA	0,662 aA	0,648 bA
0,80	0,658 aB	0,636 bB	0,646 aB	0,646 bB	0,674 aA	0,698 aA
1,0	0,660 aA	0,668 aA	0,664 aA	0,670 aA	0,654 aA	0,684 aA
1,2	0,650 aA	0,654 bA	0,638 aA	0,652 bA	0,668 aA	0,660 bA
1,4	0,630 aB	0,688 aA	0,658 aA	0,670 aA	0,676 aA	0,640 bB

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade.

Quando analisada as distâncias em relação à planta, o maior volume de raiz próximo à planta foi encontrado a 0,20 m na linha do cafeeiro, que diferiu para as demais distâncias até a profundidade de 0,10-0,20 m, onde o maior volume de raiz também foi encontrado a 0,20 m na linha, mesmo resultado apresentado para a profundidade de 0,00-0,10 m.

Resultado que mostra maior volume de raiz na parte superficial do solo, como verificado por Mota et al. (2006), que relataram a maior concentração de raízes de café até 0,20 m de profundidade, e Rodrigues et al. (2001), que observaram menores concentrações de raízes em camadas de solo mais profundas.

Importante ressaltar que na faixa de profundidade 0,20-0,30 m a 0,40 m distante da planta na linha e entre linha apresentaram os maiores volumes de raízes, sendo estas estatisticamente iguais entre si.

Quando analisada a entre linha do cafeeiro observa-se que numericamente o volume de raiz é menor em relação aos pontos próximos à planta, tendo os maiores volumes observados na faixa de profundidade 0,00-0,10 m, sendo estatisticamente iguais à faixa de profundidade 0,20-0,30 m para os pontos 0,60 e 1,0 m da planta, com uma redução significativa a partir da faixa de profundidade para todos os pontos distantes da planta na entre linha.

A maior área superficial de raiz foi encontrada a 0,20 m distante da planta na entre linha nas profundidades 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, diferindo estatisticamente das demais distâncias, exceto na profundidade de 0,10-0,20 m, a qual foi estatisticamente igual à distância de 0,20 m da planta na linha de plantio (Tabela 6). Resultado semelhante foi encontrado por Partelli et al. (2014), que encontraram as maiores áreas superficiais de raiz até a camada 0,30 m, porém não verificaram interação entre a distância da planta e profundidade de solo, fato que pode estar relacionado ao número de pontos amostrados.

Apesar de uma maior área superficial nas três profundidades anteriormente citadas, na profundidade de 0,00-0,10 m, observou-se maior área superficial diferindo das demais profundidades a 0,20 e 0,40 m distante da planta na entre linha (Tabela 6). Para os pontos na linha do cafeeiro a maior área superficial foi encontrada na profundidade de 0,20-0,30 m, diferindo das demais a 0,20 e 0,40 m

de distância da planta, sendo nesse último ponto estatisticamente igual à profundidade de 0,00-0,10 m.

Os resultados mostram uma maior área superficial próxima à planta e nas profundidades iniciais do solo, sendo de grande importância para absorção de nutriente e água, conforme relatado por Imada et al. (2008), que afirmaram que a área superficial de raiz é que está mais relacionada com a absorção de nutrientes. Uma maior área de superfície pode ajudar a planta a obter fontes de nutrientes que estão deficientes, favorecendo a exploração e a obtenção de água e nutrientes.

Na entre linha do cafeeiro as maiores áreas superficiais foram encontradas na faixa de profundidade 0,00-0,10 m, para os pontos 0,60; 0,80; e 1,4 m distantes da planta, já para o ponto distante 1,2 m a maior área superficial foi encontrada na faixa de profundidade de 0,10-0,20 m. Na faixa de profundidade 0,20-0,30 m os maiores valores foram encontrados a 1,0 m de distância da planta. Resultados esses importantes que mostram um desenvolvimento radicular do cafeeiro capaz de utilizar água e nutrientes mais distantes da planta.

Assim como manejo com aplicação de 10 mm, o comprimento de raiz se concentrou na profundidade superficial do solo no manejo com aplicação de 3 mm, porém quando analisadas as distâncias da planta observou-se um comportamento diferente, ocorrendo um maior comprimento de raiz próximo à planta, observando os maiores comprimentos na profundidade de 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, nos pontos 0,20 e 0,40 m na linha e 0,20 m na entre linha do cafeeiro, respectivamente, os quais diferiram dos demais pontos em relação à planta estudados (Tabela 6).

Já Partelli et al. (2006) ao se avaliarem o comprimento e a área superficial do sistema radicular, verificaram diferença estatística entre os perfis amostrados a 0,25 e 0,50 m do tronco do cafeeiro, entretanto, essas diferenças ocorreram apenas na faixa de profundidade de 0,40-0,60 m.

Quando analisada a entre linha do cafeeiro, observou o mesmo comportamento dos pontos próximos à planta com maior comprimento na faixa de profundidade superficial do solo, com maiores comprimentos encontrados a 1,2 e 1,4 m distante da planta, sendo estes estatisticamente iguais, Já na faixa de profundidade 0,20-0,30 m o maior comprimento foi encontrado a 1 m da planta.

O diâmetro de raiz apresentou menor diâmetro da faixa de profundidade de 0,00-0,10 até 0,30-0,40 m, sendo estatisticamente igual, nos pontos distantes 0,20 e 0,40 m na linha, já para os pontos distantes 0,20 e 0,40 na entre linha, esse resultado foi observado até a faixa de profundidade de 0,20-0,30 m (Tabela 6). Resultados esses que mostram que além de se tornarem mais finas, nessa área estudada e nas faixas de profundidades iniciais do solo, promovem incremento na área superficial do sistema radicular como observado na Tabela 6 e mencionado por Marschner (2011).

Para faixas de profundidade até 0,20-0,30 m os pontos foram estatisticamente iguais, apresentando os menores diâmetros, já na profundidade além dessas distâncias foi observado menor diâmetro a 0,20 e 0,40 m (linha). Na entre linha o menor diâmetro foi observado a 0,80 m distante da planta, sendo também que nesse ponto até a faixa de profundidade 0,30-0,40 m apresentou os menores diâmetros.

Os resultados até aqui relatados mostram que para o cafeeiro sob manejo de 10 mm há uma maior distribuição do sistema radicular em profundidade e distância da planta, fato que pode estar relacionado ao maior período após poda, para o desenvolvimento do sistema radicular.

Já no manejo com aplicação de 3 mm, onde foi realizada a poda em 2015, observou-se uma distribuição do sistema radicular mais na superfície do solo, mostrando que para essa área há uma necessidade de uma adequação do manejo da irrigação, relacionado à irrigação real necessária, a qual é inserida no cálculo a profundidade do sistema radicular, que influencia diretamente na lâmina de irrigação a ser aplicada.

4.3 SISTEMA RADICULAR SOB MANEJO COM LÂMINA DE 5 mm

No manejo da irrigação aplicando 5 mm, o solo como nos demais manejos estava abaixo da capacidade de campo, porém não com valores próximos ao ponto de murcha permanente, valores esse que foram encontrados a partir de 0,15 m da planta na entre linha, até a profundidade de 0,30 m.

Na linha do cafeeiro na faixa de profundidade de 0,60-0,80 m, observou-se umidade do solo próxima ao ponto de murcha permanente (Figura 10A).

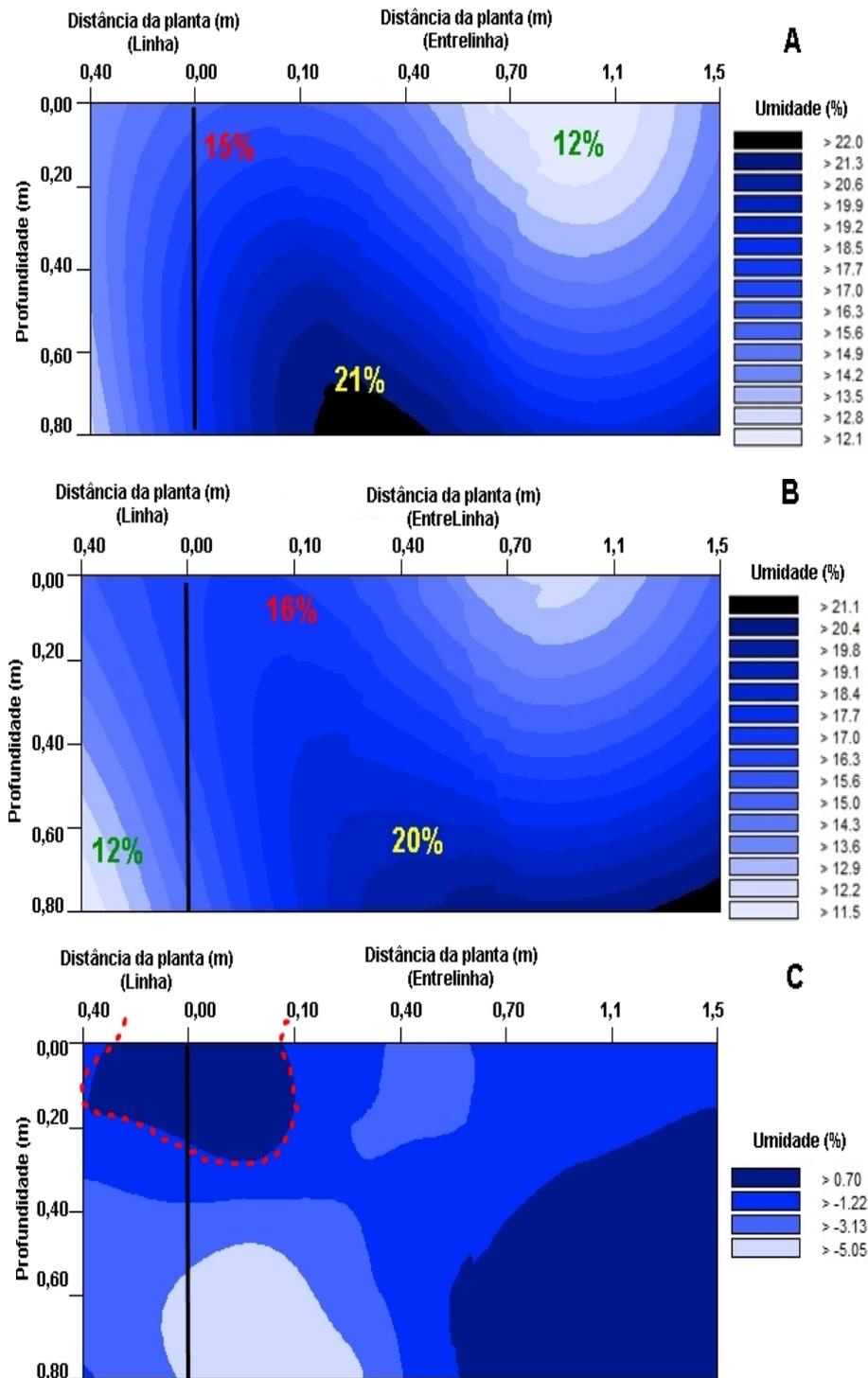


Figura 10 - Umidade do solo antes (A) e depois (B) da irrigação e formação do bulbo molhado (C) após irrigação de 5 mm.

Após irrigação a região do solo que apresentava umidade próxima ao ponto de murcha permanente, se expandiu até a profundidade de 0,40 m (Figura 10B), devido

ao movimento de água para os demais pontos e profundidades, ressaltando ainda que essa área possuía uma pequena declividade do solo.

O bulbo molhado formado nessa área após irrigação se encontrou aproximadamente até 0,10 m distante da planta na entre linha e 0,40 m na linha do cafeeiro, atingindo uma profundidade de 0,20 m do solo (Figura 10C).

Em outro cenário de irrigação observou-se uma formação de bulbo molhado até uma distância de 0,15 m da planta na entre linha, atingindo uma profundidade de 0,30 m, sendo que um maior incremento de umidade do solo ocorreu até 0,10 m da planta na entre linha a uma profundidade de 0,20 m (Figura 11C).

Vale ressaltar que as condições iniciais do solo (Figura 11A) apresentavam valores superiores de umidade do que o cenário anterior, mais ambos tiveram pouco incremento de umidade após a irrigação.

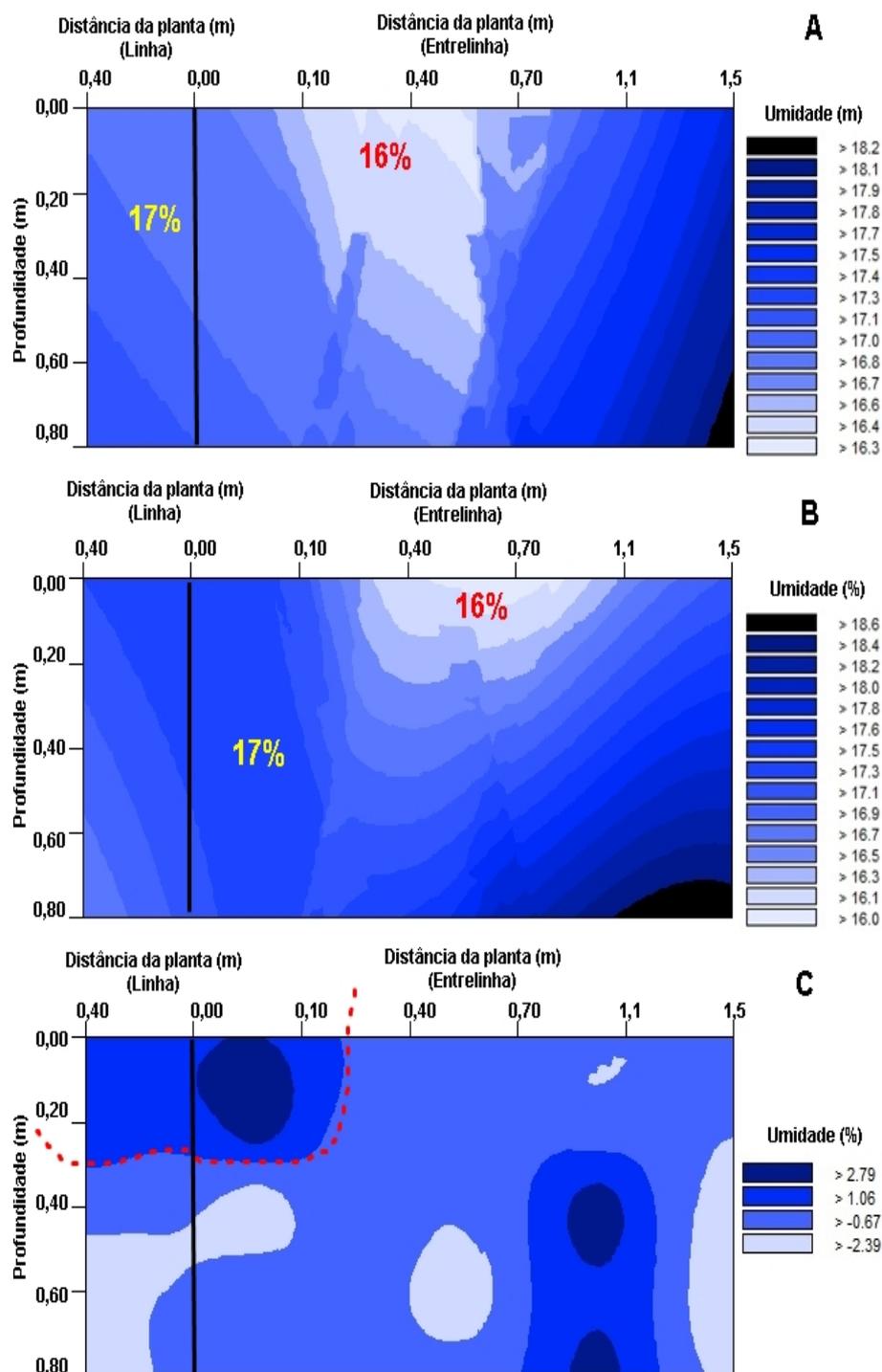


Figura 11 - Umidade do solo antes (A) e depois (B) da irrigação e formação do bulbo molhado (C) após irrigação de 5 mm.

Para o manejo com aplicação de 5 mm, foram observados os menores volumes de raiz, já que esta lavoura foi conduzida com apenas uma haste (ramo ortotrópico), ou seja, com uma parte aérea menor em relação às demais áreas (Tabela 7).

Tabela 7. Características do sistema radicular do cafeeiro Conilon cultivado em área sob manejo de irrigação utilizando lâmina de 5 mm, em duas distâncias da planta na linha (L) e duas na entre linha, e em cinco distâncias na entre linha, em seis profundidades.

Distância da Planta (m)	Profundidade (m)					
	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	0,30-0,40	0,40-0,50	0,50-0,60
	Volume (mm³)					
0,40L	356,93 dC	656,81 dA	463,58 cB	271,62 cD	163,02 dE	116,97 cF
0,20L	852,97 cA	3452,56 aA	883,88 aB	651,44 aC	510,51 aD	240,48 aE
0,20	2789,42 aA	723,82 cB	489,73 cC	279,71 cD	259,72 cD	177,37 bE
0,40	1126,74 bA	890,14 bB	674,70 bC	537,82 bD	473,92 bE	272,33 aF
	Área Superficial (cm² dm⁻³)					
0,40L	47,65 cC	96,95 aA	61,83 bB	10,63 dD	9,42 dD	7,76 dD
0,20L	124,55 bA	48,46 bD	126,64 aA	76,24 aC	82,64 aB	39,13 aE
0,20	40,81 dB	44,59 cA	32,51 dC	30,07 cC	22,63 cD	21,13 cD
0,40	152,09 aA	50,40 bB	38,64 cC	41,73 bC	40,80 bC	33,68 bD
	Comprimento (m dm⁻³)					
0,40L	9,35 dB	12,61 bA	5,99 bC	5,19 cD	2,27 cE	0,83 cF
0,20L	20,42 bB	37,34 aA	5,93 bD	6,26 bC	6,54 aC	5,45 aD
0,20	25,34 aA	8,10 dB	7,79 aB	4,75 cC	3,47 bD	3,16 bD
0,40	15,07 cA	10,09 cB	7,90 aC	7,51 aC	6,55 aD	3,05 bE
	Diâmetro (mm)					
0,40L	0,688 aB	0,682 aB	0,684 aB	0,712 aA	0,710 aA	0,696 aB
0,20L	0,662 bA	0,666 bA	0,640 cB	0,638 cB	0,646 cB	0,646 bB
0,20	0,658 bB	0,654 bB	0,662 bB	0,676 bA	0,680 bA	0,676 aA
0,40	0,682 aA	0,622 cC	0,652 bB	0,666 bA	0,674 bA	0,684 aA
	Volume (mm³)					
0,60	968,75 aA	640,20 aB	608,09 aC	557,48 aD	387,22 aE	158,83 aF
0,80	949,00 bA	644,49 aB	469,26 bC	257,41 bD	188,05 cE	151,66 bF
1,0	849,43 cA	596,97 bB	225,75 eD	239,90 cC	213,16 bC	120,24 cF
1,2	678,51 dA	431,07 cB	291,48 cC	205,87 dD	182,88 cE	164,95 aF
1,4	630,91 eA	428,94 cB	273,49 dC	158,83 eD	141,61 dE	125,89 cF
	Área Superficial (cm² dm⁻³)					
0,60	148,26 aA	94,54 aB	78,88 aC	71,22 aD	43,24 aE	36,22 aF
0,80	146,49 aA	55,25 cB	46,87 bC	23,99 bD	22,02 bD	21,83 bE
1,0	91,36 bA	86,35 bB	26,59 cC	20,08 cD	18,80 cD	17,19 cE
1,2	52,30 dA	19,51 eB	18,56 eB	16,67 dC	15,12 dC	14,75 dC
1,4	78,29 cA	24,07 dB	20,69 dC	17,94 dD	17,40 cD	15,08 dE
	Comprimento (m dm⁻³)					
0,60	13,81 cA	5,94 bC	5,74 aC	12,55 aB	5,82 aC	3,54 aD
0,80	13,96 cA	3,83 cB	3,68 eC	2,69 dC	2,63 dC	2,55 cC
1,0	18,80 aA	9,83 aB	3,52 dC	3,44 cC	3,11 cD	3,07 bD
1,2	17,85 bA	5,97 bB	5,20 bC	4,05 bD	3,61 bE	3,49 aE
1,4	3,86 dA	4,05 cA	3,82 cA	2,44 dB	2,30 eB	2,20 dB
	Diâmetro (mm)					
0,60	0,618 cC	0,650 cB	0,680 bA	0,650 cB	0,658 bB	0,664 bB
0,80	0,686 aB	0,712 aA	0,664 bC	0,678 bB	0,662 bC	0,662 bC
1,0	0,646 bB	0,666 cA	0,674 bA	0,632 dB	0,658 bA	0,668 bA
1,2	0,650 bC	0,690 bB	0,716 aA	0,714 aA	0,704 aA	0,708 aA
1,4	0,604 cC	0,666 cA	0,622 cB	0,654 cA	0,624 cB	0,632 cB

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade.

Existe uma relação entre parte aérea e sistema radicular. Segundo Partelli et al. (2006), vários fatores podem influenciar o desenvolvimento e a distribuição do sistema radicular, dentre eles a frequência de podas aéreas e radiculares. O maior volume de raiz encontrado foi para a faixa de profundidade de 0,10-0,20 m distante 0,60 m da planta, sendo o maior volume também entre as distâncias em relação à planta nessa faixa de profundidade, diferindo das demais (Tabela 7).

Para as demais distâncias, os maiores volumes foram encontrados na faixa de profundidade de 0,00-0,10 m, fato observado quando estudada a entre linha do cafeeiro não diferindo entre si, sendo o maior volume encontrado a 0,20 m distante da planta na entre linha do cafeeiro (Tabela 3). Resultados semelhantes ao encontrado por Ronchi et al. (2015) em cafeeiro Arábica, onde observaram uma maior abundância de raízes na camada de 0,10 m de profundidade em comparação à de 0,40 m.

A área superficial de raiz obteve valores próximos aos demais manejos estudados, principalmente para o manejo de 3 mm, para essa lavoura a maior área superficial de raiz foi observada à distância de 0,40 m na entre linha do cafeeiro na faixa de profundidade de 0,00-0,10 m, diferindo das demais profundidades e distância em relação à planta (Tabela 7). Mesmo comportamento foi observado nas distâncias de 0,60 e 0,80 m da planta, na faixa de profundidade de 0,00-0,10 m.

Já para a distância de 0,20 m na linha do cafeeiro à profundidade de 0,00-0,10 m, foi estatisticamente igual à faixa de profundidade de 0,20-0,30 m, sendo que para essa última profundidade foi observada a maior área superficial para esse ponto, diferindo das demais. Para a faixa de profundidade 0,10-0,20 m a maior área superficial foi encontrada a 0,40 m na entre linha do cafeeiro, a qual diferiu dos demais pontos e profundidades estudados (Tabela 7).

Segundo Ronchi et al. (2015) estudando café Arábica, verificaram que o sistema radicular é mais abundante e apresenta atributos morfológicos superiores quando amostrados entre duas plantas adjacentes na linha de plantio, seguidas das posições afastadas a 0,25 m e 0,50 m do tronco, com resposta dependente do espaçamento.

No manejo de 5 mm observou-se o mesmo comportamento do manejo da irrigação com aplicação de 3 mm, com comprimento de raiz maior na faixa de profundidade de 0,00-0,10 m, exceto para os pontos distantes 0,20 e 0,40 m da planta na linha do cafeeiro, que apresentaram maior comprimento de raiz na faixa de profundidade de 0,10-0,20 m (Tabela 7). Para essa faixa de profundidade o maior comprimento entre as distâncias foi encontrado para 0,20 m distante da planta na linha de plantio, diferindo dos demais pontos.

Esse atributo morfofisiológico mostra o potencial do cafeeiro em absorver água e nutrientes (CASSIDY e KUMAR, 1984; RENA e GUIMARÃES, 2000; RENA e DAMATTA, 2002) e em se adaptar a diferentes arranjos espaciais, com indicação, inclusive, para cultivos adensados (BLISKA et al., 2011).

Para as profundidades de 0,00-0,10 e 0,20-0,30 m o maior comprimento foi encontrado na distância de 0,20 m na entre linha, sendo que para profundidade de 0,20-0,30 m o ponto distante 0,40 m, foi estatisticamente igual a 0,20 m da planta.

Segundo Silva et al. (2013c), a eficiência de absorção de nutrientes pelas plantas pode ser melhorada mediante a seleção de cultivares com maior comprimento e superfície radicular e com raízes finas, mostram a importância dessa característica de raiz também para um correto manejo da irrigação, para proporcionar maior eficiência na utilização da água de irrigação.

Foi observado também menor diâmetro na faixa de profundidade 0,00-0,10 m no ponto 0,40 m (linha), que foi estatisticamente igual até a faixa de profundidade de 0,20-0,30 m, já para o ponto 0,20 m (linha) o maior diâmetro foi nas faixas de profundidade de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m, o qual diferiu dos demais (Tabela 7).

Nessa mesma distância na entre linha foi observado menor diâmetro nas profundidades 0,00-0,10 e 0,30-0,40 m, sendo estatisticamente iguais. Para os pontos próximos à planta (0,20 m (linha); 0,20 e 0,40 m (entre linha) apresentaram os menores diâmetros nas profundidades de 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. Já na entre linha o menor diâmetro foi encontrado a 0,60 m distante da planta até a faixa de profundidade 0,10-0,20 m.

Batista (2012) relata que as raízes com o diâmetro reduzido podem entrar em contato com um maior volume de solo por unidade de área de superfície de raiz,

tendo forte influência no comprimento específico radicular, crescimento da raiz em comprimento, utilizando-se a mesma biomassa radicular.

5 CONCLUSÕES

1. As plantas de café Conilon (*Coffea canephora*) genótipo 02 no manejo com lâmina de irrigação de 10 mm apresentaram 67,4% do volume de raiz e 68,0% de área superficial concentrado até a profundidade de 0,30 m.

2. No manejo com lâmina de 3 mm todos os dias, as plantas apresentaram 74,5% e 64,5% do volume e área superficial de raiz, concentrado até a profundidade de 0,30 m. O manejo com lâmina de 5 mm duas vezes na semana apresentou 75,4% e 70,2% do volume e área superficial de raiz, concentrado até a profundidade de 0,30 m.

3. O sistema radicular do cafeeiro Conilon genótipo 02, apresentou 57,5% do volume de raiz para o manejo com 10 mm, e 70,5% do volume de raiz para o manejo com 3 e 5 mm, até 0,60 m do tronco da planta. A área superficial de raiz foi de 53,9%, 69% e 66,4% até 0,60 m do tronco da planta, para os manejos com 10, 3 e 5 mm, respectivamente.

3. O maior comprimento de raiz foi encontrado na faixa de profundidade superficial do solo, diminuindo em profundidade, mesmo comportamento para o diâmetro.

4. Os bulbos molhados atingiram profundidade entre 0,40 a 0,50 m, com alcance de até 0,10 m na entre linha do cafeeiro no manejo com lâmina de 10 mm, e profundidade entre 0,20 a 0,30 m, com alcance de 0,10 a 0,15 m na entre linha do cafeeiro no manejo com lâminas de 3 e 5 mm.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADACHI, S.; TSURU, Y.; NITO, N.; MURATA, K.; YAMAMOTO, T.; EBITANI, T.; OOKAWA, T. HIRASAWA, T. Identification and characterization of genomic regions on chromosome 4 and 8 that control the rate of photosynthesis in rice leaves. **Journal of Experimental Botany**, v.62, n.6, p.1927-1938, 2011.

ADACHI, S.; TSURU, Y.; KONDO, M.; YAMAMOTO, T.; ARAI-SANO, Y.; ANDO, T.; OOKAWA, T.; YANO, M.; HIRASAWA, T. Characterization of a rice variety with high hydraulic conductance and identification of the chromosome region responsible using chromosome segment substitution lines. **Annals of Botany**, v.106, n.5, p.803-811, 2010.

ALMEIDA, A. C. S.; ALMEIDA, C. D. G. C.; BOTREL, T. A.; FRIZZONE, J. A. Pressure compensating microsprinklers using microtube as a flow controller. **Engenharia Agrícola**, v.36, n.1, p.36-45, 2016.

ALVES, V. M. C.; PARENTONI, S. N.; VASCONCELLOS, C. A.; PITTA, G. V. E.; FRANÇA, C. C. M. Cinética de absorção de fósforo e crescimento do sistema radicular de genótipos de milho contrastantes para a eficiência a fósforo. **Revista Brasileira de Milho Sorgo**, v.1, n.1, p.85-92, 2002.

AL-MUHAMMAD, J.; TOMAS, S.; ANSELMET, F. Modeling a weak turbulent flow in a narrow and wavy channel: case of micro-irrigation. **Irrigation Science**, v.34, n.5, p.361-377, 2016.

AMARAL, J. F. T.; MARTINEZ, H. E. P.; LAVIOLA, B. G.; FERNANDES FILHO, E. I.; CRUZ, C. D. Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. **Ciência Rural**, v.41, n.4, p.621-629, 2011.

ARAUJO, G. L.; REIS, E. F.; MORAES, W. B.; GARCIA, G. O.; NAZÁRIO, A. A. Influência do déficit hídrico no desenvolvimento inicial de duas cultivares de café Conilon. **Irriga**, v.16, n. 2, p.115-124, 2011.

BATISTA, K. D. **Características morfoanatômicas de raízes de milho e de sorgo cultivados sob diferentes concentrações de fósforo**. 2012. 87p.Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

BARRETO, C. V. G.; SAKAI, E.; ARRUDA, F. B.; SILVA, E. A.; PIRES, R. C. de M. Distribuição espacial do sistema radicular do cafeeiro fertirrigado por gotejamento em Campinas. **Bragantia**, v.65, n. 4, p.641-647, 2006.

BARROS, A. C.; FOLEGATTI, M. V.; SOUZA, C. F.; SANTORO, B. L. Distribuição de água no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.6, p.700-707, 2009.

BELAN, L. L.; SILVA, K. G.; TOMAZ, M. A.; JESUS JUNIOR, W. C.; AMARAL, J. A. T.; AMARAL, J. F. T. Aspectos fisiológicos do cafeeiro Conilon: uma abordagem sistemática. **Nucleus**, v.8, n.1, p.225-240, 2011.

BELL, J. P.; WELLINGS, S. R.; HODNETT, M. G.; KOON, P. D. A. Soil water status: a concept for characterizing soil water conditions beneath a drip irrigated row crop. **Agricultural Water Management**, v.17, n.1, p.171-187, 1990.

BENOUNICHE, M.; KUPER, M.; HAMMANI, A.; BOESVELD, H. Making the user visible: analysing irrigation practices and farmers' logic to explain actual drip irrigation performance. **Irrigation Science**, v. 32, n.6, p.405-420, 2014.

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

BIZARI, D. R.; GRECCO, K. L.; SOUZA, C. F. Bulbo molhado estimado pela técnica da TDR na irrigação por gotejamento subsuperficial. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.10, n.2, p. 477-485, 2016.

BOHM, W. **Methods of studying root systems**. New York: Springer-Verlag, 1979.

BONOMO, D. Z.; BONOMO, R.; PARTELLI, F. L.; SOUZA, J. M.; MAGIERO, M. Desenvolvimento vegetativo do cafeeiro Conilon submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.7, n.2, p.157-169, 2013.

BORSSOI, A. L.; VILAS BOAS, M. A.; REISDÖRFER, M.; HERNÁNDEZ, R.; FOLLADOR, F. A. C. Water application uniformity and fertigation in a dripping irrigation set. **Engenharia Agrícola**, v.32, n.4, p.718-726, 2012.

BLISKA, F. M. M.; FAZUOLI, L. C.; BRAGHINI, M. T. Impactos de cultivares resistentes a doenças e pragas no desenvolvimento sustentável da cafeicultura nas principais regiões cafeeiras do Brasil. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 7, 2011, Araxá. **Anais**. Araxá: EMBRAPA-CAFÉ, 2011. 7p

BRESLER, E.; HELLER, J.; DINER, N.; BEN-ASHER, J.; BRANDT A.; GOLDBERG D. Infiltration from a trickle source: II. Experimental data and theoretical predictions. **Soil Science Society of America Journal**, v.35, n.5, p.683-689, 1971.

CARDOSO, G. G. G.; FRIZZONE, J. A. Perda de carga localizada em conexão de emissor on-line. **Irriga**, v.19, n.4, p.537-547, 2014.

CASSIDY, D. M. S.; KUMAR, D. Root distribution of *Coffea arabica* L. in Zimbabwe. I. The effect of plant density, mulch, cova planting and shade in Chipinge. **Zimbabwe Journal of Agricultural Research**, v.22, n.2, p.119-132, 1984.

CARIAS, C. M. O.; TOMAZ, M. A.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, R. G.; GONÇALVES, L. S. A. Produtividade de grãos de cafeeiro Conilon de diferentes grupos de maturação pelo procedimento REML/BLUP. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, n.2, p.707-718, 2014.

CARVALHO, M.; JESUS, A. M. S.; CARVALHO, S. P.; GOMES, C. N.; SOARES, A. M. Comportamento em condições de campo de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) propagados vegetativamente e por semeadura. **Coffee Science**, v.3, n.2, p.108-114, 2008.

COELHO, E. F.; OR, D. Flow and uptake patterns affecting soil water sensor placement for drip irrigation management. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v.39, n.6, p.2007-2016, 1996.

COMAS, L. H.; BECKER, S. R.; CRUZ, V. M. V.; BYME, P. F.; DIERIG, D. A. Root traits contributing to plant productivity under drought. **Frontiers in Plant Science**, v.4, n.1, p.1-16, 2013.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: Café**. Brasília: CONAB, v.2, n.1, 2016. 68p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_01_20_17_01_56_boletim_cafe_-_janeiro_2016.pdf>. Acesso em: 03 mar.2016.

CONTARATO, C. C.; SOBREIRA, F. M.; TOMAZ, M. A.; JESUS JUNIOR, W. C.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, R. G. Evaluation of the initial development of Conilon coffee clones (*Coffea canephora*). **Scientia Agraria**, v.11, n.1, p.65-71, 2010.

COVRE, A. M.; PARTELLI, F. L.; GONTIJO, I.; ZUCOLOTO, M. Distribuição do sistema radicular de cafeeiro Conilon irrigado e não irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.11, p.1006-1016, 2015.

CLARKSON, D. T. Factors affecting mineral nutrient acquisition by plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v.36, n.6, p.77-115, 1985.

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

CRUZ-BAUTISTA, F.; ZERMEÑO-GONZÁLEZ, A.; ÁLVAREZ-REYNA, V.; CANO-RÍOS, P.; RIVERA-GONZÁLEZ, M.; SILLER-GONZÁLEZ, M. Validación de un modelo para estimar la extensión del bulbo de humedecimiento del suelo con riego por goteo. **Tecnología y Ciencias del Agua**, v.7, n.1, p.45-55, 2016.

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n.1, p.55-81, 2006.

DAVIS, A. P.; TOSH, J.; RUCH, N.; FAY, M. F. Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v.167, n.4, p.357–377, 2011.

DOGAN, E.; KIRNAK, H. Water temperature and system pressure effect on drip lateral properties. **Irrigation Science**, v.28, n.5, p.407-419, 2010.

DOHLER, R. E.; KLIPPER, A. H.; XAVIER, A. C. Efeito das mudanças climáticas na demanda de irrigação na cultura do café Conilon e do mamoeiro no Espírito Santo. **Revista Agro@ambiente On-line**, v.10, n.1, p.83-87, 2016.

DURÃES, F. O. M.; MAGALHÃES, P. C. Transporte de água no Sistema Solo-Planta-Atmosfera. In: ANDRADE, C. L. T.; DOSSA, D.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo da irrigação**. Editora Embrapa, 2008, 528p

ELMALOGLU, S.; DIAMANTOPOULOS, E. Simulation of soil water dynamics under subsurface drip irrigation from line sources. **Agricultural Water Management**, v.96, n.11, p.1587-1595, 2009.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2013. 353p

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2011. 225p.

ELAIUY, M. L. C.; SANTOS, L. N. S.; SOUSA, A. C. M.; SOUZA, C. F.; MATSURA, E. E. Wet bulbs from the subsurface drip irrigation with water supply and treated sewage effluent. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.2, p.242-253, 2015.

ELAIUY, M. L. C. **Bulbos úmidos a partir da irrigação por gotejamento subsuperficial com água de abastecimento e efluente de esgoto tratado**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 83f, 2012.

FERNANDES, A. L. T.; PARTELLI, F. L.; BONOMO, R.; GOLYNSKI, A. A. A moderna cafeicultura dos Cerrados brasileiros, **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.42, n.2, p.231-240,2012.

FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; MISTRO, J. C.; VOLPI, P. S.; VERDIN FILHO, A. C.; MAURI, A. L.; LANI, J. A. Cultivares. In: FONSECA, A. F. A.; SAKIYAMA, N. S.; BORÉM, A. **Café Conilon: do plantio à colheita**. 1. ed. Viçosa, MG: UFV, 2015, p.29-49.

FERRAREZI, R. S.; DEUS, F. P.; MARTINS, G. A.; PRIMO, R.; TESTEZLAF, R. Crescimento de mudas de café sob diferentes do solo e irrigação para agricultura familiar. **Coffee Science**, v.10, n.1, p.91-101, 2015.

FOLCH, J. R. G.; FÁBREGA, J. A. G. El volumen húmedo del suelo en el Riego localizado: importancia y evaluación. In: CARPENA, R. M. et al. (Eds). **Estudios de la zona no saturada del suelo**. Tenerife: ICIA, 1999, p.11-17.

FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, R. G.; VERDIN FILHO, A. O café Conilon. In: FONSECA, A. F. A; SAKIYAMA, N. S.; BORÉM, A. **Café Conilon: do plantio à colheita**. 1. ed. Viçosa, MG: UFV, 2015, p.9-28.

FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, R. G.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S.; ZUCATELI, F. 'Conilon Vitória - Incaper 8142': improved *Coffea canephora* var. *kouillou* clone cultivar for the state of Espírito Santo **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.4, n.4, p.503-505, 2004.

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

ICO – INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. Dados Históricos. Disponível em: <<http://www.ico.org/prices/po-production.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2016.

IMADA, S.; YAMANAKA, N.; TAMAI, S. Water table depth effects *Populus alba* fine root growth and whole plant biomass. **Functional Ecology**, v.22, n.6, p.1018-1026, 2008.

JIANG, C.; HIRASAWA, T.; ISHIHARA, K. Physiological and ecological characteristics of high yielding varieties in rice plants. II. Leaf photosynthetic rates. **Japanese Journal of Crop Science**, v.57, n.1, p.139-145, 1988.

JORGE, L. A. C.; SILVA, D. J. C. B.; RODRIGUES, A. F. O. **SAFIRA – Software para a análise de fibras e raízes**. Versão 1.1. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2010.

JORGE, L. A. C.; RODRIGUES, A. F. O. **Safira: sistema de análise de fibras e raízes**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008. 21p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 24).

JORGE, L. A. C.; CRESTANA, S. SIARCS 3.0: novo aplicativo para análise de imagens digitais aplicado a ciência do solo. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia-SP. **Solo suelo** 96. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 5 p. 1 CDROM.

KANDELOUS, M. M.; SIMUNEK, J.; VAN GENUCHTEN, M.T. H.; MALEK, K. Soil Water Content Distributions between Two Emitters of a Subsurface Drip Irrigation System. **Soil Science Society of America Journal**, v.75, n.2, p.488-497, 2011.

KATO, Y.; OKAMI, M. Root morphology, hydraulic conductivity and plant water relations of high-yielding rice grown, under aerobic conditions. **Annals of Botany**, v.108, n.3, p.575-583, 2011.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: AnaviBook, Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

KEYYAN, M.; PETERS, R. T. Wetting pattern models for drip irrigation: new empirical model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.137, n.8, p.530-537, 2011.

KOECH, R.; MOLLE, B.; CAMARGO, A. P.; DIMAIOLO, P.; AUDOUARD, M.; SARETTA, E.; FRIZZONE, J. A.; PEZZANITI, D.; BENHU, G. Intercomparison dripper testing within the INITL. **Flow Measurement and Instrumentation**, v.46, n.1, p.1-11, 2015.

KUKLIK, V.; HOANG, T. D. Soil moisture distribution as affected by fertigation of ammonium regimes under point irrigation. **Agricultural Water Management**, v.134 n.1, p.42-49, 2014.

LAFITTE H. R.; BENNETT, J. Requirements for aerobic rice: physiological and molecular considerations. In: BOUMAN, B. A. M.; HENGSDIJK, H.; HARDY B.; BINDRABAN, P. S.; TUONG, T. P.; LADHA, J. K. **Water-wise rice production** Los Baños, Philippines: IRRI; 2002. p.259-274.

MAIA, E. C. Aplicação de modelos matemáticos na estimativa do volume de bulbo molhado por gotejamento superficial em diferentes tipos de solo. **Ciência Rural**, v.40 n.1, p.2301-2309, 2010.

MAIA, C. E.; LEVIEN, S. L. A. Estimativa de dimensões de bulbo molhado em irrigação por gotejamento superficial aplicando modelo de superfície de resposta. **Ciência Rural**, v.40, n.6, p.1302-1308, 2010.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação Princípios e Métodos**. 3. Ed. Viçosa: UFV, 2009, 355p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed. San Diego: Academic Press, 2011. 684p.

MARRACCINI, P.; VINECKY, F.; ALVES, G. S. C.; RAMOS, H. J. O.; ELBELT, S.; VIEIRA, N. G.; CARNEIRO, F. A.; SUJII, P. S.; ALEKCEVETCH, J. C.; SILVA, V. A.; DAMATTA, F. M.; FERRÃO, M. A. G.; LEROY, T.; POT, D.; VIEIRA, L. G. E.; SILVA, F. R.; ANDRADE, A. C. Differentially expressed genes and proteins upon drought acclimation in tolerant and sensitive genotypes of *Coffea canephora*. **Journal of Experimental Botany**, v.63, n.18, p.4191-4212, 2012.

MATTAR, M; AL-AMOUD, A.; ATEIA, M. Impact of water temperature and structural parameters on the hydraulic labyrinth-channel nozzle performance. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v.12, n.3, p.580-593, 2014.

MARTINS, L. D.; MACHADO, L. S.; TOMAZ, M. A.; AMARAL, J. F. T. The nutritional efficiency of *Coffea* spp. A review. **African Journal of Biotechnology**, v.14, n.9, p.728-734, 2015.

MICHELAKIS, N.; VOUGIOUCALOU, E.; CLAPAKI, G. Water use, wetted soil volume, root distribution and yield of avocado under drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 24, n.2, p.119-113, 1993.

MOTA, A. C. V.; NICK, J. A.; YORINORI, G. T.; SERRAT, B. M. Distribuição horizontal e vertical da fertilidade do solo e das raízes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cultivar Catuaí. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.28, n.4, p.455-463, 2006.

NAFCHI, R. F.; MOSAVI, F.; PARVANAK, K. Experimental study of shape and volume of wetted soil in trickle irrigation method. **African Journal of Agricultural Research**, v.6, n.2, p.458-466, 2011.

NÓBREGA, N. E. F.; SILVA, J. G. F.; RAMOS, H. E. A.; PAGUNG, F. S. Balanço hídrico climatológico e classificação climática de Thornthwaite e Köppen para o município de São Mateus – ES. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 18., 2008, São Mateus. **Anais...** São Mateus 2008.

NUNES, M. S.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; BRAGA, F. V. A.; BRAGAGNOLO, J. Comparação de lâminas brutas obtidas por métodos via solo e demanda evaporativa para manejo da irrigação. **Tecnologia & Ciências Agropecuária**, v.9, n.1, p.39-43, 2015.

PARTELLI, F. L.; COVRE, A. M.; OLIVEIRA, M. G.; ALEXANDRE, R. S.; VITÓRIA, E. L.; SILVA, M. B. Root system distribution and yield of 'Conilon' coffee propagated by seeds or cuttings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, n.5, p.349-355, 2014.

PARTELLI, F. L.; MARRÉ, W. B.; FALQUETO, A. R.; VIEIRA, H. D.; CAVATTI, P. C. Seasonal vegetative growth in genotypes of *Coffea canephora*, as related to climatic factors. **Journal of Agricultural Science**, v.5, n.8, p.108-116, 2013.

PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D.; SANTIAGO, A. R.; BARROSO, D. G. Produção e desenvolvimento radicular de plantas de café 'Conilon' propagadas por sementes e por estacas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.6, p.949-954, 2006.

PEZZOPANE, J. R. M.; CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; BONOMO, R.; SARAIVA, G. A. Zoneamento de risco climático para a cultura do café Conilon no Estado do Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.3, p.341-348, 2010.

PINHEIRO, H. A.; DAMATTA, F. M.; CHAVES, A. R. M.; LOUREIRO, M. E.; DUCATTI, C. Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. **Annals of Botany**, v.96, n.1, p.101-108, 2005.

PINHEIRO, H. A.; DAMATTA, F. M.; CHAVES, A. R. M.; FONTES, E. P. B.; LOUREIRO, M. E. Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long-term drought. **Plant Science**, v.167, n.6, p.1307-1314, 2004.

PIZARRO, F. **Riegos Localizados de Alta Frecuencia: goteo, microaspersión, exudación**. Madrid: Mundi-Prensa, 1996, 511p.

PHOGAT, V.; MAHADEVAN, M.; SKEWES, M.; COX, J. W. Modeling soil water and salt dynamics under pulsed and continuous surface drip irrigation of almond and implications of system design. **Irrigation Science**, v.30, n.4, p.315-333, 2012.

PRADO, G.; NUNES, L. H.; TINOS, A. C. Avaliação técnica de dois tipos de emissores empregados na irrigação localizada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.8, n.1, p.12-25, 2014.

REICHARDT, K; TIMM, L. C. **Solo Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004, 478p.

RENA, A. B.; DAMATTA, F. M. O sistema radicular do cafeeiro: estrutura e ecofisiologia. In: ZAMBOLIN, L. (Ed.). **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa: UFV, 2002. p.11-92.

RENA, A. B.; GUIMARÃES, P. T. G. **Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuição, atividades fatores que o influenciam**. Belo Horizonte: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. 2000. 80p

RENA, A. B. A água na fisiologia do cafeeiro. In: SIMPÓSIO ESTADUAL DO CAFÉ, 1998, Vitória. **Anais...** Vitória: CETCAF, 1998, p. 132-152.

ROBERTSON, G. P. **GS+: Geostatistics for the environmental sciences – GS+ User's Guide Version 10**. Plainwell: Gamma Design Software, 2008. 179 p.

ROCHA NETO, O. C.; TEXEIRA, A. S. S.; BRAGA, A. P. S.; SANTOS, C. C.; LEÃO, R. A. O. Application of artificial neural networks as an alternative to volumetric water balance in drip irrigation management in watermelon crop. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.2, p.266-279, 2015.

RODRIGUES, L. A.; MARTINEZ, H. E. P.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; MENDONÇA, S. M. Growth response of coffee tree shoots and roots to subsurface liming. **Plant and Soil**, v.234, n.2, p.207-214, 2001.

RONCHI, C. P.; SOUSA JÚNIOR, J. M.; AMEIDA, W. L.; SOUZA, D. S.; SILVA, N. O.; OLIVEIRA, L. B.; GUERRA, A. M. N. M.; FERREIRA, P. A. Morfologia radicular de cultivares de café arábica submetidas a diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.3, p.187-195, 2015.

SAKAI, E.; BARBOSA, E. A. A.; SILVEIRA, J. M. C.; PIRES, R. C. M. Coffee productivity and root systems in cultivation schemes with different population arrangements and with and without drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v.148, n.31, p.16-23, 2015.

SAKAI, E.; BARBOSA, E. A. A.; SILVEIRA, J. M.; PIRES, R. C. M. *Coffea Arabica* (cv. Catuaí) production and bean size under different population arrangements and soil water availability. **Engenharia Agrícola**, v.33, n.1, p.145-156, 2013.

SANTORO, B. L.; SATO, L. M.; BRUNHARA, J. P. B.; PERES, J. G.; SOUZA, C. F. Monitoramento da distribuição de uma solução no solo via fertirrigação por gotejamento. **Irriga**, v.18, n.3, p. 572-586, 2013.

SERRA, E. L.; SCALCO, M. S.; GUIMARÃES, R. J.; COLOMBO, A.; MORAIS, A. R.; CARVALHO, C. H. M. Funções de produção do cafeeiro irrigado em diferentes densidades de plantio. **Coffee Science**, v.8, n.2, p.157-165, 2013.

SILVA, A. A. F.; SOUZA, J. A. R.; CARVALHO, W. B.; MENDONÇA, R. B.; MOREIRA, D. A. Distribuição da umidade do solo num sistema irrigado por gotejamento superficial com diferentes inclinações do terreno. **Engenharia na agricultura**, v.23, n.3, p.261-269, 2015.

SILVA, P. E. M.; CAVATTE, P. C.; MORAIS, L. E.; MEDINA, E. F.; DAMATTA, F. M. The functional divergence of biomass partitioning, carbon gain and water use in *Coffea canephora* in response to the water supply: implications for breeding aimed at improving drought tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v.87, p.49-57, 2013a.

SILVA, A. J. P.; COELHO, E. F.; MIRANDA, J. H. Efficiency of water application of irrigation systems based on microsprinkling in banana. **Scientia Agricola**, v.70, n.3, p.139-146, 2013b.

SILVA, L. M.; CRUSCIOL, C. A. C.; CRUSCIOL, J. H.; VIEGAS, P. R. A.; PEDROTTI, A. Comprimento radicular e nutrição de cultivares de painço em resposta à calagem. **Científica**, v.41, n.1, p.64-72, 2013c.

SILVA, V. L. B.; MARTINS, P. F. S. Propriedades físicas do solo e sistema radicular do cafeeiro, variedade Conilon, sob diferentes espaçamentos. **Revista Ciência Agrária**, v.53, n.1, p.96-101, 2010.

SILVA, V. A.; ANTUNES, W. C.; GUIMARÃES, B. L. S.; PAIVA, R. M.; SILVA, V. F.; FERRÃO, M. A. G.; DAMATTA, F. M.; LOUREIRO, M. W. Resposta fisiológica de clone de café Conilon sensível à deficiência hídrica enxertado em porta-enxerto tolerante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.5, p.457-464, 2010.

SILVA, A. L.; BRUNO, I. B.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; DOURADO-NETO, D.; FAVARIN, J. L.; COSTA, F. M. P.; TIMM, L. C. Soil water extraction by roots and Kc for the coffee crop. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.3, p.257-261, 2009.

SIYAL, A. A.; SKAGGS, T. H. Measured and simulated soil wetting patterns under porous clay pipe sub-surface irrigation. **Agricultural Water Management**, v.96, n.4, p.893-904, 2009.

SOUZA, J. M.; REIS, E. F.; TOMAZ, M. A.; BONOMO, R.; GARCIA, G. O. Wet bulb and effective area of absorption of nutrients in coffee: a review article. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**, v.15, n.6, p.1040-1047, 2015.

SOUZA, J. M.; BONOMO, R.; MAGIERO, M.; BONOMO, D. Z. Interrupção da irrigação e maturação dos frutos de café Conilon. **Científica**, v.42, n.2, p.170-177, 2014.

SOUZA, C. F.; FOLEGATTI, M. V. Spatial and temporal characterization of water and solute distribution patterns. **Scientia Agrícola**, v.67, n.1, p.9-15, 2010.

SOUZA, C. F.; FOLEGATTI, M. V.; OR, D. Distribution and storage characterization of soil solution for drip irrigation. **Irrigation Science**, v.27, n. 4, p.277-288, 2009.

SOUZA, C. F.; MATSURA, E. E. Determination of the wetting front in drip irrigation using TDR multi-wire probe. **Agricultural Water Management**, v.59, n.3, p.205-216, 2003.

SUBBAIAH, R. A review of models for predicting soil water dynamics during trickle. **Irrigation Science**, v.31, n.3, p.225-258, 2013.

SCALCO, M.S.; ALVARENGA, L.A.; GUIMARÃES, R.J.; COLOMBO, A.; ASSIS, G.A. Cultivo irrigado e não irrigado do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em plantio superadensado. **Coffee Science**, v.6, p.193-202, 2011.

SCHWARTZMAN, M.; ZUR, B. Emitter spacing and geometry of wetted soil volume. **Journal Irrigation and Drainage Engineering**, v.112, n.3, p.242-253, 1986.

STEVENS, R. M.; DOUGLAS, T. Distribution of grapevine roots and salt under drip and full-ground cover microjet irrigation systems. **Irrigation Science**, v.15, n.4, p.147-152, 1994.

TESFAYE, S. G.; ISMAIL, M. R.; RAMIAN, M. F.; MARZIAH, M.; KAUSAR, H.; HAKIM, M. A. Effect of water deficiency on growth and dry matter yield of selected in Robusta coffee (*Coffea Canephora*) clones in Malaysia. **Journal of Environmental Biology**, v.36, n.5, p.1239-1245, 2015.

TOPP, G. C.; DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. **Water Resources Research**, v.16, n.3, p.574-582, 1980.

VADEZ, V. Root hydraulics: The forgotten side of roots in drought adaptation. **Field Crops Research**. v.165, n.1, p.15-24, 2014.

VARONA, R. M.; ZAYAS, E. C. Viabilidad económica del riego localizado en el cultivo del café. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, v.25, n.2, p.44-50, 2015.

VEKARIYA, P. B.; SUBBAIAH, R.; MASHRU, H. H. Hydraulics of microtube nozzles: a dimensional analysis approach. **Irrigation Science**, v.29, n.4, p.341–350, 2011.

VENANCIO, L. P.; CUNHA, F. F.; MANTOVANI, E. C. Demanda hídrica do caféiro Conilon irrigado por diferentes sistemas de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.10, n.4, p.767-776, 2016.

ZONTA, E.; BRASIL, F. C.; GOI, S.; ROSA, M. M. T. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M.S., ed. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.7-52

ZHOU, B.; LI, Y.; LIU, Y.; XU, F.; PEI, Y.; WANG, Z. Effect of drip irrigation frequency on emitter clogging using reclaimed water. **Irrigation Science**, v.33, n.3, p.221-234, 2015.

ZUR, B. Wetted soil volume as a design objective in trickle irrigation. **Irrigation Science**, v.16, n.3, p.101-105, 1996.

APÊNDICES

Apêndice A. Resumo da análise de variância do volume, área superficial, comprimento e diâmetro de raízes do cafeeiro Conilon sob manejo de irrigação com aplicação de 10 mm.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios – Linha			
		Volume	Área Superficial	Comprimento	Diâmetro
Pontos	3	2565520,37**	33501,87**	89,28**	0,00483 ^{ns}
Resíduo-a	16	49377,57	880,06	3,19	0,00157
Profundidade	5	4526875,95**	45651,29**	230,81**	0,00544**
Pontos x Profundidades	15	1404922,66**	14796,38**	91,89**	0,00182*
Resíduo-b	80	51773,75	658,40	6,64	0,00099
Média Geral	-	1116,37	126,07	10,33	0,653
CV-a (%)	-	20,27	23,54	17,31	6,06
CV-b (%)	-	20,76	20,36	24,98	4,81

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios – Entre linha			
		Volume	Área Superficial	Comprimento	Diâmetro
Pontos	4	829551,56**	5240,37*	59,32**	0,00483 ^{ns}
Resíduo-a	20	111611,42	1376,61	4,44	0,00157
Profundidade	5	5343566,36**	122130,20**	595,93**	0,00544**
Pontos x Profundidades	20	658197,50**	11039,78**	57,60**	0,00182*
Resíduo-b	100	74644,13	859,50	6,19	0,00099
Média Geral	-	996,15	136,40	10,36	0,653
CV-a (%)	-	33,54	27,22	20,31	6,06
CV-b (%)	-	27,43	21,51	23,96	4,81

* ** significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, ^{ns} não significativo.

Apêndice B. Resumo da análise de variância do volume, área superficial, comprimento e diâmetro de raízes do cafeeiro Conilon sob manejo de irrigação com aplicação de 3 mm.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios – Linha			
		Volume	Área Superficial	Comprimento	Diâmetro
Pontos	3	4011049,69**	10032,60**	94,88**	0,00171*
Resíduo-a	16	41615,35	204,75	5,70	0,00049
Profundidade	5	20127455,62**	65406,55**	1399,30**	0,00680**
Pontos x Profundidades	15	3550280,76**	21240,64**	209,16**	0,00136**
Resíduo-b	80	60317,98	89,82	4,14	0,00050
Média Geral	-	1404,94	130,75	13,71	0,646
CV-a (%)	-	14,52	10,94	17,41	3,42
CV-b (%)	-	17,48	7,25	14,85	3,47

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios – Entre linha			
		Volume	Área Superficial	Comprimento	Diâmetro
Pontos	4	1665820,21**	3721,15*	118,81**	0,00506*
Resíduo-a	20	2668,99	69,09	1,16	0,00072
Profundidade	5	2225544,44**	16556,92**	237,78**	0,00268**
Pontos x Profundidades	20	259685,65**	7029,41**	70,93**	0,00171*
Resíduo-b	100	2905,93	63,69	1,38	0,00078
Média Geral	-	611,35	71,05	7,62	0,653
CV-a (%)	-	8,45	11,70	14,16	4,08
CV-b (%)	-	8,82	11,23	15,42	4,26

* ** significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Apêndice C. Resumo da análise de variância do volume, área superficial, comprimento e diâmetro de raízes do cafeeiro Conilon sob manejo de irrigação com aplicação de 5 mm.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios – Linha			
		Volume	Área Superficial	Comprimento	Diâmetro
Pontos	3	2969007,18**	15766,72**	307,23**	0,01101**
Resíduo-a	16	1252,36	7,29	0,275	0,00012
Profundidade	5	5257208,49**	11175,50**	816,69**	0,00161**
Pontos x Profundidades	15	2451360,96**	4365,72**	183,54**	0,00109**
Resíduo-b	80	742,64	4,50	0,219	0,00017
Média Geral	-	721,51	53,37	9,21	0,669
CV-a (%)	-	4,90	5,06	5,70	1,65
CV-b (%)	-	3,78	3,98	5,08	1,96

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios – Entre linha			
		Volume	Área Superficial	Comprimento	Diâmetro
Pontos	4	321990,99**	14628,89**	111,74**	0,01759**
Resíduo-a	20	113,21	4,10	0,021	0,00007
Profundidade	5	1527445,53**	24191,32**	390,93**	0,00386**
Pontos x Profundidades	20	31426,60**	1466,85**	40,33**	0,00177*
Resíduo-b	100	63,50	2,04	0,049	0,00017
Média Geral	-	398,04	45,32	5,88	0,663
CV-a (%)	-	2,67	4,47	2,51	1,26
CV-b (%)	-	2,00	3,15	3,78	1,95

* ** significativo em nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.