

DÉFICIT HÍDRICO NO PREFLORESCIMENTO DA LARANJEIRA
'FOLHA MURCHA' E A INFLUÊNCIA NA PRODUÇÃO E NA
QUALIDADE DOS FRUTOS

CLINIMAR OLIVEIRA AMARAL

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE

DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO – 2018

DÉFICIT HÍDRICO NO PREFLORESCIMENTO DA LARANJEIRA
'FOLHA MURCHA' E A INFLUÊNCIA NA PRODUÇÃO E NA
QUALIDADE DOS FRUTOS

CLINIMAR OLIVEIRA AMARAL

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal”.

Orientador: Prof. Elias Fernandes de Sousa

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO - 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCH / UENF

039/2018

A485 Amaral, Clinimar Oliveira.

Déficit hídrico no prefloração da laranja 'folha murcha' e a influência na produção e na qualidade dos frutos / Clinimar Oliveira Amaral. – Campos dos Goytacazes, RJ, 2018.

93 f. : il.

Bibliografia: f. 88 – 93.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2018.

Orientador: Elias Fernandes de Sousa.

1. Déficit Hídrico. 2. Florescimento. 3. *Citrus sinensis*. 4. Frutos – Qualidade e Produção. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD – 634.31

DÉFICIT HÍDRICO NO PREFLORESCIMENTO DA LARANJEIRA
'FOLHA MURCHA' E A INFLUÊNCIA NA PRODUÇÃO E NA
QUALIDADE DOS FRUTOS

CLINIMAR OLIVEIRA AMARAL

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal”.

Aprovada em 23 de março de 2018

Comissão Examinadora:

Prof. Cláudio Roberto Marciano (D. Sc., Solos e Nutrição de Plantas) – UENF

Prof. Geraldo de Amaral Gravina (D. Sc., Produção Vegetal) – UENF

Prof. Ernany Santos Costa (D. Sc., Produção Vegetal) – IFF

Prof. Elias Fernandes de Sousa (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF
(Orientador)

“Não a nós, Senhor, nenhuma glória para nós, mas sim ao Teu nome, por Teu amor e por Tua fidelidade!” (Salmo 115:1)

AGRADECIMENTOS

A Deus toda honra e toda glória, a quem dedico tudo que sou, porque sem Ele eu não teria chegado até aqui;

À minha esposa Diwaney, a quem me faltam palavras para expressar todo amor, carinho, parceria, apoio e compreensão;

Aos meus filhos Bruno, Matheus e Amanda, por todo carinho, amizade, apoio e incentivo;

Ao meu pai, José Francisco (*in memoriam*), meu grande amigo e incentivador;

Aos familiares, que me encheram de incentivo e motivação;

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e ao Laboratório de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização deste curso;

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Fluminense, por proporcionar as condições necessárias para o crescimento profissional dos servidores da instituição;

Ao meu orientador e amigo, Professor Elias Fernandes de Sousa, pelos ensinamentos, pela competência e humildade;

A todos os professores e funcionários da UENF e, em especial, aos professores Cláudio Roberto Marciano, Cláudia Sales Marinho, Geraldo do

Amaral Gravina e Ricardo Ferreira Garcia, pelo apoio no desenvolvimento do trabalho da pesquisa;

Aos colegas do LEAG, pela colaboração, amizade e companheirismo;

Aos meus colegas do IFF, pelo apoio e estímulo;

Aos meus amigos e colaboradores Ernany, José Amilton, Antonio Jorge, Júlio Cesar, Paulo Cezar, Flávio, Wagner, Sebastião Zanon e Lauro pelo auxílio ao longo do trabalho de pesquisa;

A todos os meus amigos, que me apoiaram nesta árdua, mas prazerosa pesquisa.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 A citricultura.....	4
2.1.1 Aspectos econômicos da citricultura.....	4
2.1.2 Taxonomia e morfologia da laranjeira ‘Folha Murcha’.....	5
2.1.3 Demanda hídrica em citros.....	7
2.1.4 Estresse hídrico.....	9
2.1.5 Indução ao florescimento.....	10
2.2 Umidade do solo através da Reflectometria no Domínio do Tempo..	13
3.3 Potencial hídrico foliar (Ψ_w).....	17
3 TRABALHOS.....	20
CURVA DE MATURAÇÃO DA LARANJA ‘FOLHA MURCHA’ NO.....	20
NOROESTE FLUMINENSE	
CALIBRAÇÃO DO TDR EM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO.....	36
PARA DOIS TIPOS DE TUBOS DE ACESSO	
AVALIAÇÃO DE DIFERENTES PERÍODOS DE DÉFICIT HÍDRICO.....	53
NO PREFLORESCIMENTO DA LARANJEIRA ‘FOLHA MURCHA’ E A	
INFLUÊNCIA NA PRODUÇÃO E NA QUALIDADE DOS FRUTOS	
RESUMOS E CONCLUSÕES.....	81

RESUMO

AMARAL, Clinimar Oliveira; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Março de 2018. Déficit hídrico no preflorescimento da laranjeira 'Folha Murcha' e a influência na produção e na qualidade dos frutos. Orientador: Elias Fernandes de Sousa.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de diferentes períodos de déficit hídrico no preflorescimento da laranjeira 'Folha Murcha' (*Citrus sinensis* L. Osbeck) enxertada sobre limoeiro 'Cravo' e a influência na produção e na qualidade dos frutos. Para tanto, as plantas foram submetidas a quatro tratamentos com diferentes períodos de supressão do fornecimento de água, um tratamento com irrigação contínua e um tratamento sem irrigação. Em virtude da necessidade de se analisar a influência dos diferentes períodos de déficit hídrico na qualidade dos frutos, foi possível determinar a curva de maturação da laranja 'Folha Murcha' no Noroeste Fluminense em cultivo irrigado e sem irrigação complementar, analisado no primeiro estudo. Os resultados indicam que, para o teor de sólidos solúveis totais e rendimento em suco, houve diferenças significativas entre os tratamentos; quanto à acidez total e o índice de maturação, não houve diferença significativa entre os tratamentos. Os frutos tiveram uma evolução no teor de SST com valor máximo estimado de 13,3 e 13,7°Brix, para os tratamentos irrigado e sem irrigação complementar, respectivamente. A irrigação também induziu a produção de frutos com maior rendimento em suco com um

valor máximo estimado de 61,08%, enquanto que no tratamento sem irrigação complementar o valor máximo estimado foi de 57,37%. Baseado nos resultados obtidos, foi possível indicar o início da segunda quinzena de novembro como a provável melhor época de colheita. No segundo estudo, face à inevitabilidade de monitoramento do conteúdo de água no solo, foi utilizada a técnica da “reflectometria no domínio do tempo” (TDR). Todavia, a necessidade de calibração do equipamento para cada tipo de solo, constatada pelas diferenças entre os valores da umidade volumétrica do solo obtidas pelo TDR em comparação com os valores estimados pelo método gravimétrico, e o alto custo dos tubos de acesso do TDR, motivaram a elaboração de um estudo subsidiário. Os valores de umidade do solo obtidos pelo método gravimétrico e os estimados pelo TDR com a utilização de tubos de acesso tanto originais, em TECANAT, como em PVC, resultaram em subestimativa da umidade do solo, o que indica que a viabilidade da utilização do TDR para o monitoramento do conteúdo de água no solo está condicionada à utilização de equações de regressão, sendo o modelo linear o que apresentou melhor ajuste. No terceiro e principal estudo deste trabalho, cujo objetivo foi avaliar a influência de diferentes períodos de déficit hídrico, na produção e na qualidade dos frutos, a análise do número de frutos e da produção anual, bem como a média dos valores, mostra que, de maneira geral, houve diferenças significativas entre os tratamentos, resultados estes decorrentes principalmente dos valores registrados na safra de 2014/15, quando os baixos índices pluviométricos, registrados no período de preflorescimento, contribuíram para que fossem alcançadas as condições para induzir a floração. No que diz respeito à qualidade do fruto, em termos médios para os quatro anos, os resultados mostraram diferenças significativas entre os tratamentos para peso dos frutos, sólidos solúveis totais, acidez total e índice de maturação.

ABSTRACT

AMARAL, Clinimar Oliveira; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. March, 2018. Hydric deficit in pre-flowering of 'Folha Murcha' orange tree and influence in yield and fruit quality. Advisor: Elias Fernandes de Sousa.

The aim of this work was to evaluate the influence of different periods of hydric deficit in the pre-flowering of the 'Folha Murcha' orange tree (*Citrus sinensis* L. Osbeck) grafted onto 'Rangpur' lime (*Citrus limonia* Osbeck) and the influence in production and fruit quality. For this, the plants were submitted to four treatments with different periods of suppression of the water supply, a treatment with continuous irrigation and a treatment without irrigation. Due to the necessity in analyzing the influence of the different periods of hydric deficit in fruit quality, it was possible to determine the maturation curve of the 'Folha Murcha' sweet orange in the northwestern region of Rio de Janeiro in irrigated and non-irrigated crops, analyzed in the first work. The results indicate that regarding the total soluble solids and juice yield, there were significant differences between the treatments; regarding the total acidity and maturation index, there was no significant difference between the treatments. The fruits had an evolution in the TSS level with maximum estimated value of 13.3 and 13.7°Brix, for the irrigated crops and non-irrigated crops, respectively. The irrigation has also induced the production of fruits with greater juice yield with a maximum estimated value of

61.08% in juice yield, whereas in the treatment non-irrigated the maximum estimated value was of 57.37%. Based on the results obtained, it was possible to indicate the beginning of the second half of November as the probable best harvest season. On the second work, due to the inevitability of monitoring the soil water content, the Time Domain Reflectometry method (TDR) has been used. However, the need for calibration of the equipment for each type of soil, verified by the differences between the values of soil volumetric moisture obtained by the TDR in comparison with the values estimated by the gravimetric method, and the high cost of TDR access tubes, motivated preparation of a subsidiary study. Soil moisture values obtained by the gravimetric method and those estimated by TDR with the use of both original access tubes in TECANAT and PVC resulted in an underestimation of soil moisture, which indicates that the viability of using TDR for the monitoring of water content in the soil is conditioned to the use of regression equations, and the linear model presented the best fit. In the third and main study of this work, whose objective was to evaluate the influence of different periods of hydric deficit in the production and fruit quality, the analysis of the number of fruits and annual production, as well as the average values, shows that, in a general way, there were significant differences between treatments, mainly due to the values registered in the 2014/15 harvest, when the low rainfall rates, recorded during the pre-flowering period, contributed to the achievement of the conditions to induce flowering. Regarding fruit quality, in average terms for the four years, the results showed significant differences between treatments for fruit weight, total soluble solids, total acidity and maturation index.

1 INTRODUÇÃO

A produção de citros ocupa papel de destaque no agronegócio brasileiro. O setor movimenta recursos na faixa de 8,4 bilhões de reais por ano (IBGE, 2016) e gera em torno de 230 mil empregos diretos e indiretos (Neves et al., 2017). O Brasil é o maior produtor mundial de laranjas, sendo responsável por 30% da produção mundial de frutos e 60% da produção mundial de suco (MAPA, 2016). Na safra de 2017, a produção brasileira totalizou 18.666.928 Mg, em uma área colhida de 629.770 ha, com uma produtividade de 29.641 kg ha⁻¹ (IBGE, 2018a).

No estado do Rio de Janeiro, a área colhida em 2017 correspondeu a 4.382 ha, com uma produção de 51.608 Mg (IBGE, 2018b). Esta baixa produção, associada ao elevado consumo da fruta, leva o estado a importar grande parte das laranjas consumidas, justificando a necessidade de pesquisas e o estímulo à citricultura fluminense.

Nesse sentido, a citricultura apresenta-se como uma opção para as regiões Norte e Noroeste do estado do Rio de Janeiro, onde predomina a atividade agropecuária e tem-se vivenciado um processo de empobrecimento no campo (Souza et al., 2009). Apesar do grande potencial para o desenvolvimento da citricultura na região, são escassos os trabalhos de pesquisa nas mais diversas áreas que visem dar suporte ao seu desenvolvimento. Dentre as diversas áreas de pesquisa em citros, a irrigação apresenta-se como uma ferramenta fundamental para as culturas aumentarem seu desempenho, com o aumento da eficiência de uso da água com mínimos efeitos deletérios na

produtividade. A irrigação proporciona melhor desenvolvimento das plantas, maior pegamento de flores e frutos e redução da queda de frutos na fase de “chumbinhos”, melhor qualidade dos frutos e maior quantidade de óleo na casca. Entretanto, a resposta dos citros à irrigação depende do adequado fornecimento de água nos diferentes estádios fenológicos, bem como da submissão dos citros ao estresse hídrico em determinados períodos (Pires et al., 2005).

Com relação ao déficit hídrico em citros, se aplicado em períodos fenológicos não prejudiciais à cultura, possibilita um incremento na produção e a redução dos custos de produção pela supressão da irrigação, sem prejuízos na qualidade dos frutos (Pires et al., 2005). De acordo com Zanini e Pavani (1998), um fator a ser levado em consideração é a intensidade do estresse: enquanto o excesso pode levar ao abortamento de flores e frutos, a insuficiência pode acarretar florescimento pouco vigoroso. A duração do estresse deve variar com as condições climáticas e com os atributos físicos do solo.

Em citros, no período que antecede ao florescimento, é essencial um período de repouso vegetativo, provocado por baixas temperaturas ou déficit hídrico para a indução ao florescimento. Para a indução devido a baixas temperaturas, estas devem oscilar entre 13 e 15 °C durante o dia e de 10 a 13 °C à noite, sendo que o limite máximo para promover a floração deve estar em torno de 19 °C. Temperaturas superiores a 22 °C são ineficientes para promoverem a floração (Silva et al., 2006).

Como nas condições de clima das regiões Norte e Noroeste Fluminense as temperaturas de inverno não são suficientemente baixas para estimular a floração, o estresse hídrico apresenta-se como o principal fator promotor da floração dos citros. A duração desse período, em média de dois a três meses, determina a quantidade de flores produzidas e, conseqüentemente, a produção (Doorenbos e Kassan, 1979). Finalizado esse período, é necessário um adequado suprimento de água para garantir o pegamento das flores e dos frutos e, conseqüentemente, o aumento da produtividade (Medina et al., 2005).

Em estudo realizado com o limoeiro ‘Femminello comune’, Barbera e Carimi (1988) verificaram que o potencial médio de água na folha ao amanhecer (*predawn*) de -3,08 MPa promoveu índices de queda de frutos de 43,1% e 65,2% nas florações de verão e inverno, respectivamente, em contraposição aos valores

de 19,7% e 57,2% nas que foram submetidas a potenciais médios de -2,7 MPa, indicando que este potencial não deva ser excedido.

Apesar da necessidade de um período de estresse térmico ou hídrico para produções economicamente viáveis de citros, em regiões tropicais sem períodos de estresse os citros lançam pequenas floradas, o que sugere que a indução floral não está apenas relacionada com a temperatura e com o repouso vegetativo, mas, também, com fatores internos cíclicos, tais como balanço hormonal e nutrição, entre outros, envolvendo o passado fisiológico da planta (Reuther, 1973, 1977).

Nesse sentido, a escassez de trabalhos sobre a intensidade do estresse hídrico para favorecer o florescimento, bem como sua influência na brotação, na produção e na qualidade dos frutos de laranjeira 'Folha Murcha', torna necessária a realização desta pesquisa, sobretudo na região Noroeste Fluminense. Assim, a relevância deste trabalho consiste em avaliar a influência de diferentes períodos de déficit hídrico no preflorescimento da laranjeira 'Folha Murcha' (*Citrus sinensis* L. Osbeck) enxertada sobre limoeiro 'Cravo' e a influência na produção e na qualidade dos frutos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A citricultura

2.1.1 Aspectos econômicos da citricultura

O Brasil é o maior produtor mundial de laranjas, seguido por Estados Unidos, China e Índia, sendo responsável por 30% da produção mundial de laranjas “in natura” e por 60% da produção de suco de laranja (MAPA, 2016). O setor movimenta anualmente recursos na faixa de R\$ 8,4 bilhões (IBGE, 2016). A citricultura gera, entre empregos diretos e indiretos, cerca de 230 mil postos, o que corresponde a uma massa salarial anual de R\$ 676 milhões (Neves et al., 2017). Na safra de 2017, a produção brasileira totalizou 18.666.928 Mg, em uma área colhida de 629.770 ha, com uma produtividade de 29. 641 kg ha⁻¹ (IBGE, 2018a). O Estado de São Paulo é o maior produtor do país, com 74,5% da produção nacional (IBGE, 2016), com uma produção anual de 14.300.000 Mg e uma área colhida de 385.268 ha, sendo que a maior parte desta produção destina-se ao esmagamento para a produção de suco concentrado (IBGE, 2018c). Outros estados que têm relevância na citricultura brasileira são: Bahia, Minas Gerais, Paraná, Sergipe e Rio Grande do Sul (IBGE, 2016; MAPA, 2016).

Nos últimos anos, apesar da importância da citricultura na economia brasileira, o setor vem sofrendo imensas perdas devido a problemas fitossanitários e econômicos. Doenças como clorose variegada dos citros, pinta-preta, leprose, cancro cítrico e, nos últimos anos, o *greening*, que vêm ocasionando perdas na produtividade, morte de plantas e a erradicação de lavouras. No cenário mundial, um mercado caracterizado por poucos vendedores e compradores torna o produto bastante vulnerável às oscilações internacionais de demanda e oferta, o que gera uma volatilidade dos preços. A redução do consumo de suco nos Estados Unidos e Europa, o aumento das exigências de qualidade da laranja e do suco, o aumento nos custos de produção contribuem ainda mais para agravar a crise do setor (Boteon e Neves, 2005; IBGE, 2016).

O aumento na produtividade, a busca por alternativas para a redução de custos de produção, a modernização do setor citrícola para atender ao mercado interno, bem como a busca de novos mercados promissores, como a Ásia e, em especial, a China, tornam-se decisivos para conviver com os altos e baixos do mercado (Boteon e Neves, 2005).

A citricultura fluminense já ocupou posição de destaque no agronegócio nacional. O Estado chegou a possuir na década de 70 uma área plantada de aproximadamente trinta e sete mil hectares, quando a ocorrência de pragas e doenças, provocou uma grande redução na área plantada (Neves et al., 2006). Atualmente, a área colhida com laranja corresponde a 4.382 ha, com uma produção de 51.608 Mg e uma produtividade de 11.777 kg ha⁻¹ (IBGE, 2018b). As condições edafoclimáticas favoráveis e o elevado consumo da fruta associado à baixa produção justificam o estímulo à citricultura no Estado, apesar do cenário internacional desfavorável.

2.1.2 Taxonomia e morfologia da laranjeira 'Folha Murcha'

O gênero *Citrus* é o mais importante da família *Rutaceae*, existindo numerosas espécies cultivadas em caráter comercial, como as laranjas (*Citrus sinensis*), tangerinas (*Citrus reticulata*), limões (*Citrus limon*), limas ácidas (*Citrus latifolia* e *Citrus aurantifolia*), cidras (*Citrus medica*), pomelos (*Citrus paradise*), entre outras. Estas plantas cítricas são originárias de regiões úmidas tropicais e subtropicais do continente asiático e foram introduzidas no Brasil pelos

colonizadores portugueses, provavelmente pelo estado da Bahia (Mattos Junior et al., 2017).

O grupo das laranjeiras doces (*Citrus sinensis* L. Osbeck), predominantes nas áreas citrícolas mundiais, responde por dois terços dos plantios. Neste grupo pode destacar as variedades 'Pêra', 'Natal', 'Valência' e 'Hamlin', que respondem pelos maiores percentuais das áreas de cultivo. Dentre as variedades com percentagens de plantio classificadas como "muito baixa", destaca-se a 'Folha Murcha' (Pio et al., 2005). Originária do Rio de Janeiro, mais precisamente da cidade de Araruama, é uma das principais variedades cultivadas no estado. De acordo com alguns autores, foi originada de uma variação espontânea das laranjeiras 'Pêra', 'Valência' ou 'Seleta'. Outros acreditam que esta variedade foi originada da mutação somática de 'Seleta' ou 'Natal' (Donadio et al., 1995; Pio et al., 2005).

A 'Folha Murcha' tem como característica principal a presença de folhas enroladas ou retorcidas, o que deu origem ao seu nome, pois a planta parece estar sob déficit hídrico. Esta característica se deve a assimetria verificada nas células da epiderme foliar. As células da epiderme abaxial são menores e em maior número e têm maior período de desenvolvimento em relação às células da epiderme adaxial, que são maiores e em menor número, resultando em folhas parcialmente enroladas (Paiva et al., 1993).

A planta tem vigor moderado, com copa de tamanho médio a grande. As folhas adultas são perenes, de tamanho médio, elípticas, com margem lisa, pecíolo pouco alado, coloração inicial verde-clara e posteriormente verde escura e apresentam, em média, as seguintes dimensões: comprimento de 9,08 cm, largura de 5,59 cm; pecíolo pouco alado, com comprimento de 1,75 cm e largura de 0,51 cm (Donadio et al., 1995).

As flores são completas, típicas das laranjas doces. As pétalas são brancas e retas na face inferior e curvas para fora na superior. Os frutos medem, em média, 6,35 cm de altura, 6,48 cm de diâmetro, apresentando forma arredondada, levemente achatada, com ocorrência também de frutos oblongos. Possuem pedúnculo diferencialmente grosso, com inserção reintrante. Apresentam casca fina, levemente rugosa, de cor laranja, típica das laranjeiras doces. A polpa é fina, com eixo central compacto. O ápice do fruto é côncavo e a base convexa (Donadio et al., 1995). A variedade apresenta maturação muito

tardia, com época de colheita nos meses de novembro a março, sob as condições do Estado de São Paulo (Donadio et al., 1995; Stuchi, 1999; Pio et al., 2005). De acordo com EMBRAPA (2016), sob as condições do Estado do Rio de Janeiro, a maturação dos frutos inicia-se em setembro, atingindo a faixa ideal em outubro, mas conserva boas características de índice de maturação ou 'ratio' até dezembro. Os frutos podem ser destinados ao mercado interno, à produção de suco e à exportação.

2.1.3 Demanda hídrica em citros

A irrigação possibilita aumento da produtividade, melhor desenvolvimento das plantas, maior pegamento de flores e frutos e melhor qualidade dos frutos. A ocorrência de déficit hídrico durante alguns estádios de desenvolvimento torna-se um fator limitante à obtenção de produtividades elevadas e frutos de qualidade (Pires et al., 2005). Em contrapartida, o excesso de água no solo ou o encharcamento pode causar a redução no crescimento e desenvolvimento das plantas em consequência dos danos às raízes. A falta de aeração do sistema radicular inibe a respiração e o transporte de água e não contribui para uma maior evapotranspiração da cultura (Taiz e Zeiger, 2009).

As plantas cítricas em geral apresentam elevada capacidade de conservação de água, devido a resistência e controle estomático e cerosidade das folhas, que reduzem a transpiração. Apesar desta eficiência, a irrigação torna-se necessária para suprir as exigências hídricas das plantas em regiões onde o regime pluvial não atenda à demanda durante todo o ciclo de cultivo ou em parte dele (Coelho et al., 2006; Simão et al., 2017).

No Brasil, apesar de ser o maior produtor mundial de citros, ainda predominam os cultivos sem irrigação. Todavia, nos últimos anos, a área irrigada vem expandindo (Pires et al., 2005). Esse incremento pode ser atribuído a alguns fatores como: a possibilidade de aumento da produtividade das lavouras, a necessidade de irrigação em regiões com irregularidades na distribuição e/ou baixo volume de precipitação pluvial e a diversificação do uso de porta-enxertos, alguns pouco tolerantes ao déficit hídrico. Essa diversificação dos porta-enxertos vem ocorrendo em virtude da susceptibilidade do limoeiro 'Cravo', o principal porta-enxerto utilizado, às doenças como morte súbita dos citros – MSC, gomose

e declínio (Silva et al., 2009). Porém, em estudo realizado por Cantuárias-Aviles et al. (2011), em que foi avaliada a laranjeira 'Folha Murcha' enxertada sobre 12 porta-enxertos em Bebedouro - SP, sem irrigação suplementar, foi verificado um baixo índice de tolerância à seca da maioria dos porta-enxertos avaliados, o que evidencia não só os benefícios da irrigação, mas também a sua dependência, no caso de alguns porta-enxertos.

A demanda hídrica dos citros varia entre 600 a 1.200 mm ano⁻¹ (Doorembos e Kassan, 1979). De acordo com Boman et al. (1996), dados de diferentes regiões apontam uma grande variação no consumo hídrico, variando de 1,5 mm dia⁻¹ no período de inverno e de 5,3 mm dia⁻¹ na primavera e verão. Marin et al. (2002), em experimento realizado no estado de São Paulo, verificaram um consumo de água de 3 mm dia⁻¹ em pomares irrigados e de 1,5 mm dia⁻¹ nos não irrigados. Atribuem-se a esta ampla faixa de variação diversos fatores como demanda climática, disponibilidade de água no solo, tratos culturais, densidade de plantio, porte das plantas, combinação da variedade copa com o porta-enxerto, manejo das irrigações e variedade cultivada, os quais afetam as características de absorção e transporte de água na planta, sensibilidade dos estômatos e transpiração (Pires et al., 2005).

A ocorrência de precipitações dentro do intervalo acima citado não indica que a irrigação seja desnecessária. Geralmente, a distribuição anual da precipitação não costuma atender às demandas sazonais máximas durante os estádios fenológicos de maior demanda. Durante esses períodos fenológicos, um bom manejo da irrigação é fundamental para reduzir a queda de frutos jovens associado ao estresse, que resulta na redução da produtividade (Pires et al., 2005; Morgan et al., 2010).

A demanda hídrica é elevada nos períodos de brotação, emissão de botões florais e início de desenvolvimento dos frutos, ou seja, até o fruto atingir 2,5 cm de diâmetro. Nesse período, o estresse se torna mais prejudicial à cultura. Em contraposição, os períodos de menor demanda hídrica são a maturação, a colheita e o período de repouso, quando ocorre a diferenciação das gemas florais; nesse período, o crescimento vegetativo é mínimo e, conseqüentemente, a demanda hídrica é menor (Doorembos e Kassam, 1979; Pires et al., 2005).

Espinoza-Núñez et al. (2011), avaliando a influência da irrigação em diferentes porta-enxertos, verificaram um aumento na produtividade da limeira

ácida 'Tahiti' em virtude do uso da irrigação. Mesmo no caso do porta-enxerto limoeiro 'Cravo', considerado mais resistente ao déficit hídrico, foi verificado um aumento de 257% na produção de frutos. Em porta-enxertos menos tolerantes ao déficit hídrico, como o citrange 'Carrizo' e trifoliata 'Davis a', foram verificados aumentos de 379% e 432% na produção, em comparação ao plantio não irrigado.

2.1.4 Estresse hídrico

Com relação à fisiologia vegetal, estresse pode ser definido como um fator externo que exerce uma influência deletéria sobre a planta. Os vegetais em condições naturais ou de cultivo são expostos a fatores ambientais desfavoráveis, o que pode resultar em algum grau de estresse. Déficit hídrico, estresse térmico, choque térmico, resfriamento, congelamento, salinidade e deficiência de oxigênio são os principais fatores de estresse (Taiz e Zeiger, 2009).

De acordo com Zanini et al. (1998), o estresse hídrico ocorre sempre que as condições ambientais levam à insuficiente absorção ou ao transporte de água pela planta para recuperar a água perdida pela transpiração. De maneira geral, um vegetal está submetido ao déficit hídrico e, conseqüentemente, em estresse hídrico, quando o conteúdo total de água de um tecido ou célula está situado abaixo do exibido no estado de maior hidratação (Taiz e Zeiger, 2009).

O estresse hídrico tem vários efeitos sobre o crescimento vegetal. O primeiro efeito é a inibição da expansão foliar, quando decréscimos na turgidez, resultantes do déficit hídrico, reduzem ou eliminam a força motora da expansão celular e foliar. Outros mecanismos adicionais de resistência em resposta ao estresse hídrico incluem abscisão foliar, acentuado crescimento de raízes, fechamento estomático, aumento da resistência ao fluxo de água e aumento do depósito de cera na folha. Como conseqüências agronômicas resultantes destes mecanismos, tem redução na altura da planta, diâmetro do caule, projeção de copa, área foliar e, conseqüentemente, queda na produção (Castro, 1994; Gomes et al., 2004; Taiz e Zeiger, 2009).

Embora geralmente associado a prejuízos às lavouras, o déficit hídrico, quando aplicado em um período específico e na intensidade correta, proporciona um florescimento vigoroso e conseqüentemente, abundante frutificação (Cruz et al., 2007; Taiz e Zeiger, 2009).

Doorenbos e Kassan (1979) afirmam que, para ocorrer o florescimento satisfatório em citros, é essencial um período de repouso. A duração desse período de repouso determina a quantidade de flores produzidas. Finalizado esse período, é necessário um adequado suprimento de água para garantir o pegamento das flores e o desenvolvimento dos frutos.

Nos citros, o desenvolvimento dos frutos é dividido em três períodos. No primeiro, denominado período de crescimento exponencial ou Fase I, ocorre entre a antese e o final da queda fisiológica dos frutos; que ainda não atingiram 20% do seu tamanho final. É considerado o período crítico ao déficit hídrico e às elevações dos níveis de estresse da planta. Caracteriza-se por uma intensa divisão celular; o número de células por fruto é normalmente determinado durante esta fase, nos primeiros 14 dias após a queda das pétalas. Com isso, um maior número de células por frutos possibilitará, por ocasião da expansão celular, a formação de frutos maiores. O segundo, denominado período linear ou Fase II, é caracterizado pela expansão dos tecidos, aumento celular e pela formação do mesocarpo esponjoso. Estende-se desde a queda fisiológica dos frutos até o início da mudança na coloração da casca. Por último, no período de amadurecimento ou Fase III, ocorre uma redução na taxa de crescimento e mudanças associadas ao amadurecimento (Agustí et al., 1995.; Pires et al., 2005).

Nesse sentido, pode-se concluir que os citros apresentam maior ou menor sensibilidade ao estresse hídrico nas diferentes fases fenológicas, o que indica a possibilidade de diferenciação das lâminas de irrigação ou mesmo a supressão da irrigação nas fases de menor sensibilidade, sem proporcionar efeitos negativos no desenvolvimento e na produção (Pires et al., 2005).

2.1.5 Indução ao florescimento

A evocação, uma das fases do florescimento, ocorre quando a gema vegetativa transforma-se em reprodutiva. Tem início com a ocorrência de um estímulo indutivo que pode ser externo e interno e compreende vários eventos de natureza morfológica, fisiológica e bioquímica (Taiz e Zeiger, 2009).

Quando o florescimento ocorre estritamente em resposta a fatores de desenvolvimento internos e não depende de nenhuma condição ambiental,

denomina-se regulação autônoma. Em contraste, algumas plantas, para que possam florescer, necessitam obrigatoriamente de estímulos ambientais; essa condição é denominada resposta obrigatória ou qualitativa. Por último, tem o grupo ao qual pertencem os citros, plantas cujo florescimento está baseado em sistemas de florescimento autônomos e ambientais, chamado resposta facultativa ou quantitativa (Taiz e Zeiger, 2009).

Nesse sentido, como citado anteriormente, para um florescimento satisfatório faz-se necessária a indução dos citros a um período de repouso. Em condições de clima subtropical, a indução ao repouso ocorre devido às baixas temperaturas. As temperaturas do ar promotoras da floração oscilam entre 13 e 15°C durante o dia e entre 10 e 13°C à noite. A temperatura máxima limite para promover a floração ainda não está bem definida, embora se acredite que esteja em torno de 19°C; temperaturas superiores a 22°C já são ineficientes (Doorenbos e Kassam, 1979; Silva et al., 2006).

Em regiões de inverno ameno, como as condições das regiões Norte e Noroeste Fluminense, onde a temperatura não é suficientemente baixa, pode-se provocar o período de repouso através do estresse hídrico. Nesse sentido, o estresse hídrico apresenta-se como o principal fator promotor da floração dos citros. Para a indução do repouso, as irrigações deveriam ser suspensas por dois a três meses. A duração desse período de repouso determina a quantidade de flores produzidas. Finalizado esse período de estresse, é necessário um adequado suprimento de água para garantir o pegamento das flores e frutos e a produção (Doorenbos e Kassam, 1979; Medina et al., 2005; Pires et al., 2005).

Um período de repouso insuficiente proporciona um florescimento pouco vigoroso. Por outro lado, níveis severos de estresse podem ocasionar maior queda de folhas, pequeno florescimento e redução na produtividade (Mataa et al., 1998).

De acordo com Phadung et al. (2011), plantas submetidas ao estresse hídrico produziram um maior número de flores, enquanto que as plantas irrigadas diariamente não floresceram e ainda apresentaram crescimento vegetativo, evidenciando o estresse hídrico com um indutor ao florescimento.

Southwick e Davenport (1986), em experimento realizado com lima ácida 'Tahiti', definiram as condições para induzir a floração. Foram avaliados níveis de estresse: moderado (-2,1 a -3,0 MPa) e severo (-3,5 MPa) de potencial hídrico na

folha. Ambos foram responsáveis pela promoção da floração, porém apresentando comportamento diferenciado. Nas plantas submetidas a níveis moderados de estresse hídrico, a duração foi o fator regulador da intensidade da floração. Os melhores resultados foram obtidos no tratamento com cinco semanas de estresse hídrico, em que foram verificados potenciais de água na folha no período de antemanhã de aproximadamente -2,89 MPa. Por outro lado, as plantas submetidas a níveis de estresse severo apresentaram respostas bem mais significativas em termos de floração que no tratamento submetido ao estresse moderado. No tratamento com uma semana de estresse hídrico, foram verificados potenciais de água na folha de -2,0 e -3,25 MPa, nas medições realizadas nos períodos de antemanhã e meio-dia, respectivamente. Nas plantas submetidas a períodos superiores a duas semanas foi verificada uma redução do número de flores, indicando que condições de estresse hídrico severo causam efeitos deletérios à floração e, conseqüentemente, na produtividade.

Barbera e Carimi (1988) destacam a importância da submissão das plantas a um adequado nível de estresse hídrico antes do reinício da irrigação como forma de promover a floração. As plantas avaliadas foram submetidas a diferentes períodos entre a suspensão da irrigação e reinício (7, 9 e 10 semanas). Segundo os autores, houve um relacionamento entre o nível do estresse e a floração. Um nível de estresse severo pode induzir a um alto percentual de queda de flores, influenciando na produtividade das plantas. Níveis moderados de estresse são recomendados.

Vélez et al. (2007), avaliando os diferentes níveis de estresse hídrico em cultivo de 'Clementine de Nules', não observaram diferenças significativas entre os tratamentos sobre a produção final. Os resultados justificam-se, uma vez que os tratamentos não atingiram valores de potencial de água na folha de -1,3 MPa.

Melgar et al. (2010), em experimento realizado na Flórida, avaliaram se o estresse hídrico no inverno poderia atrasar a floração e o desenvolvimento dos frutos da laranjeira "Valência". Os resultados obtidos apontam que o estresse hídrico de aproximadamente 3 meses atrasou efetivamente a floração por 2 a 4 semanas. Com relação à produção e ao número de frutos, a média acumulada ao longo dos três anos de avaliação não apresentou diferenças significativas entre o tratamento com estresse hídrico e o tratamento controle (plantas bem irrigadas). Variáveis como tamanho do fruto, rendimento em suco e índice de maturação não

apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, uma vez que no período de avaliação já havia sido restabelecido o *status* hídrico ideal.

Estudo realizado por García-Tejero et al. (2010), com a laranjeira 'Salustiana', demonstrou que o estresse hídrico provocou queda significativa no peso dos frutos e o aumento dos teores de sólidos solúveis totais (SST) e na acidez titulável total (ATT); não foram observadas diferenças significativas no rendimento em suco e no índice de maturação. Nesse sentido, a submissão das plantas ao estresse hídrico não tem efeito sobre o rendimento, mas afeta outros parâmetros que têm relevância na qualidade final do produto. Resultados semelhantes foram obtidos por Bary et al. (2004). Segundo os autores, o aumento das lâminas de irrigação pode aumentar a turgescência e, conseqüentemente, o tamanho e peso dos frutos, causando a diluição do teor de sólidos solúveis totais e dos níveis de acidez do suco.

De acordo com Pérez-Pérez et al. (2008), em estudo realizado com a laranjeira doce cultivar 'Lane late', a qualidade do fruto foi afetada diferentemente pelo estresse hídrico. Quando o estresse hídrico ocorreu durante o período de crescimento final do fruto, amadurecimento e colheita, foi verificado um aumento no teor de sólidos solúveis totais e na acidez titulável total. Por outro lado, se o estresse ocorreu no período de crescimento inicial do fruto, este pode causar alterações no tamanho e no número de vesículas de suco, o que induz ao aumento da relação casca/polpa e, conseqüentemente, à redução da porcentagem de suco. O estresse durante esta fase não interferiu no teor de sólidos solúveis totais e acidez titulável total.

2.2 Umidade do solo através da "reflectometria no domínio do tempo"

A umidade do solo expressa a quantidade de água em massa ou volume contida no solo em um dado momento. Diversos métodos, diretos e indiretos, são utilizados para a determinação da umidade do solo, dentre os principais pode-se citar: o método gravimétrico, sonda de nêutrons, atenuação de raios gama, sondas de capacitância, tensiômetro, sensores eletrométricos, reflectometria no domínio do tempo (TDR), entre outros (Bernardo et al., 2006; Santos et al., 2010).

O método gravimétrico, considerado como padrão, é o mais preciso. Possui como desvantagens ser trabalhoso e destrutivo, pois necessita a retirada

de amostras de solo, além de requerer tempo de resposta de pelo menos 24 horas para a obtenção do resultado, não possibilitando a repetitividade e a automação (Noborio, 2001; Souza et al., 2013).

Como métodos para medição do teor de água no solo *in situ*, tem-se a sonda de nêutrons e o método de atenuação de raios gama. Estes métodos são bastante precisos e não destrutivos. No entanto, requerem calibração para cada tipo de solo e cuidado especial para evitar possíveis riscos à saúde (Noborio, 2001).

Nesse sentido, métodos indiretos para a quantificação do conteúdo de água no solo, como a técnica da reflectometria no domínio do tempo (TDR), apresentam-se como alternativa. Têm como vantagens: manutenção da estrutura física do solo, facilidade de manuseio, portabilidade, possibilidade de monitoramento do avanço da frente de umedecimento e redistribuição da água no perfil do solo (Bernardo et al., 2006). Segundo Noborio (2001), pode-se ainda citar como vantagem a não emissão de radiações ionizantes, facilidade de acoplamento a dispositivos coletores de dados e a baixa interferência de fatores como densidade do solo, textura, temperatura e salinidade na eficiência de desempenho do equipamento. De acordo com Tommaselli e Bacchi (2001), tem como principal vantagem a velocidade na obtenção dos dados e, como desvantagem, a dependência do tipo de solo (mineral ou orgânico), materiais magnéticos e a calibração trabalhosa. Entre outras desvantagens, pode-se citar: pouco conhecimento do comportamento em solos tropicais, alto custo de aquisição e a necessidade de calibração em virtude das características dos solos, como tipo e estrutura, entre outros (Bernardo et al., 2006; Souza et al., 2013).

Basicamente, o princípio de funcionamento do TDR consiste na determinação de uma constante dielétrica (k) a partir da emissão de uma sequência de pulsos harmônicos em uma linha de transmissão, composta de hastes de comprimento conhecido (L) introduzido no solo. Esta constante é obtida da medição do tempo de deslocamento da sequência de pulsos: quanto maior o tempo de deslocamento, maior a constante dielétrica do solo. Estas ondas eletromagnéticas propagam-se através de um cabo coaxial para uma sonda TDR, que é geralmente uma haste feita de aço inoxidável ou latão. Parte da onda eletromagnética incidente é refletida no início da sonda por causa da diferença de impedância entre o cabo e a sonda. O restante da onda se propaga ao longo de

uma sonda inserida no solo até atingir a extremidade e ser então refletida. O tempo de deslocamento da onda eletromagnética (t), desde o início até a extremidade da sonda, é calculado através da Equação 1 (Fellner-Feldegg, 1969).

$$t = \frac{2 L k^{0,5}}{c} \quad (1)$$

onde: t = tempo de deslocamento da onda eletromagnética, s; L = comprimento da haste da sonda do TDR, m; k = constante dielétrica do solo; e c = velocidade da luz, $3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$.

A partir da Equação 1, obtém-se a constante dielétrica pela Equação 2.

$$k = \left(\frac{ct}{2L} \right)^2 \quad (2)$$

Em virtude da constante dielétrica da água (81) ser muito maior que a dos outros constituintes do solo (3 a 5) e do ar (1), a determinação do conteúdo de água pela medição da constante dielétrica do solo é aceitável, uma vez que a maior parte do efeito de retardamento do pulso é decorrente do conteúdo de água no solo. Quanto maior o conteúdo de água no solo, maior será a sua constante dielétrica aparente e o tempo de deslocamento do pulso aplicado (Hoekstra e Delaney, 1974; Tommaselli e Bacchi, 2001).

O processo de calibração do TDR consiste no estabelecimento de uma relação entre o conteúdo de água e a constante dielétrica aparente do solo. Foram estudadas diversas formas de calibração, que resultaram na obtenção de modelos empíricos, semiempíricos e físicos. Os modelos empíricos são relações funcionais entre variáveis e não há necessariamente significado físico para a relação encontrada. Possuem aplicabilidade limitada ao solo de origem e podem eventualmente ser extrapolados para solos com características semelhantes. Em virtude de serem simples e práticos para o estabelecimento das curvas de calibração, têm sido amplamente estudados (Tommaselli e Bacchi, 2001).

De acordo com Topp et al. (1980), pode-se estabelecer uma relação empírica como ajuste, sendo proposto um único modelo linear cúbico entre a constante dielétrica do solo, em um dado momento, com o teor volumétrico de

água no solo. Logo, para solos homogêneos, o conteúdo volumétrico de água pode ser calculado utilizando a curva de calibração (Equação 3).

$$\theta = -5,3 \times 10^{-2} + 2,92 \times 10^{-2}k - 5,5 \times 10^{-4} k^2 + 4,3 \times 10^{-6}k^3 \quad (3)$$

No entanto, pesquisas apontam diferenças entre os valores da umidade do solo quando foram comparados os valores estimados pelo TDR utilizando a equação padrão do equipamento e o modelo proposto por Topp et al. (1980), em comparação com os valores obtidos pelo método gravimétrico (método padrão). Nesse sentido, na estimativa da umidade do solo recomenda-se a confecção de curva de calibração para cada tipo de solo (Tommaselli e Bacchi, 2001; Silva et al., 2005; Souza et al., 2006, Souza et al., 2013).

Souza et al. (2013), em estudo realizado no vale do Paraíba, em São Paulo, com solos classificados como Nitossolo Vermelho, de textura argilosa e Latossolo Vermelho-Amarelo, de textura média, concluíram que os valores de umidade do solo medidos pelo TDR com sua equação padrão superestimaram os valores quando comparados com o método gravimétrico, sendo propostos modelos lineares de ajuste para os dois solos avaliados.

Tommaselli e Bacchi (2001) determinaram as curvas de calibração de um equipamento do tipo TDR. Foram analisados cinco tipos de solos da região de Piracicaba, SP: Areia Quartzosa, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Escuro, Podzólico Vermelho-Amarelo e Terra Roxa-Estruturada. Os autores concluíram que é necessária a calibração do aparelho para cada tipo de solo especificamente, sendo obtidos modelos cúbicos (empíricos). Os resultados mostraram ainda que a curva de calibração embutida no equipamento é inadequada para as determinações de umidade nos cinco solos estudados. Verificou-se também a ineficácia do modelo proposto por Topp et al. (1980), uma vez que superestima os valores das constantes dielétricas à medida que aumenta a umidade.

Experimento realizado por Villwock et al. (2004), visando à determinação da curva de calibração do TDR em condições de campo em solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférico, verificou que o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o polinomial cúbico, sem os termos linear e quadrático. Os autores também concluíram que o modelo proposto por Topp et al. (1980) e a

calibração fornecida pelo fabricante do equipamento superestimaram os valores da umidade volumétrica do solo.

Milani et al. (2008), em experimento realizado visando à calibração de sondas TDR em condições de laboratório, constataram que o melhor ajuste de regressão para todas as sondas foi o modelo polinomial cúbico, comprovando os resultados obtidos por outros autores.

2.3 Potencial hídrico foliar (Ψ_w)

A água desempenha um papel fundamental nos vegetais. Como principal constituinte dos vegetais, atua como reagente no metabolismo vegetal, transporte e translocação de solutos, na turgescência celular, na abertura e fechamento dos estômatos e na penetração do sistema radicular. Entre os recursos que as plantas necessitam para o seu desenvolvimento, a água é o mais abundante e, ao mesmo tempo, o mais limitante. Esta expressiva demanda hídrica dos vegetais deve-se, principalmente, à perda de água para a atmosfera, em virtude da absorção de gás carbônico para a fotossíntese (Taiz e Zeiger, 2009).

De acordo com Larcher (2004), nos vegetais, a disponibilidade de água, ou seja, sua capacidade de realizar trabalho e translocação é expressa como potencial hídrico de um sistema aquoso, tendo por referência o potencial da água pura, significando que, quanto maior a pressão hidrostática negativa do potencial hídrico do sistema considerado, menor será também a disponibilidade de água nesse sistema.

O potencial hídrico também é comumente utilizado como uma medida da condição hídrica da planta e seus componentes variam de acordo com as condições de crescimento, tipo de vegetal e condições ambientais (Taiz e Zeiger, 2009).

De acordo com Pires et al. (2005), existe uma relação direta entre o potencial de água na folha e o potencial de água da planta ou do solo. Ainda segundo os mesmos autores, para cada cultura existe uma relação em que potenciais de água do solo ou da planta podem ser críticos, a partir do qual há redução da produção. Estudos realizados por Cruz et al. (2006) com limeira ácida 'Tahiti' e tangerineira 'Ponkan' verificaram que o potencial hídrico foliar decresceu com o aumento do período de estresse hídrico, em ambas as cultivares, o que

indica que o potencial hídrico está diretamente relacionado com o teor de água no solo. Observou-se que a limeira 'Tahiti' manteve o potencial hídrico mais elevado em comparação com a tangerineira 'Ponkan'; este resultado evidencia que as respostas das plantas de citros à aplicação do estresse hídrico são variáveis devido às características das cultivares.

Apesar dos estudos indicarem a relação entre o potencial de água na folha e o teor de água no solo, de acordo com Shalhevet e Levy (1990), as irrigações não deveriam ser baseadas somente na umidade do solo, pois nem sempre refletem o estado da água na planta. Nesse sentido, torna-se necessário um monitoramento do potencial hídrico nas plantas.

A determinação do potencial hídrico na planta pode ser obtida por vários métodos, com a utilização de diversas partes da planta. Entre eles, pode-se citar: o método baseado na mudança de peso do tecido, o método de determinação do potencial osmótico e o método da câmara de pressão.

Desenvolvido por Scholander et al. (1965), o método da câmara de pressão se destaca entre os demais pela praticidade, em comparação com os demais métodos. Neste método, a partir de folhas ou ramos inteiros, pode-se estimar o potencial hídrico dos tecidos pela medição da pressão hidrostática negativa, ou seja, da tensão no xilema. Assume-se que o potencial hídrico do xilema é igual ao potencial hídrico de todo o órgão. A validade desta afirmativa se deve, primeiramente, ao fato do potencial osmótico do xilema ser desprezível, dessa forma, o principal componente do potencial hídrico é a tensão e também devido ao fato do xilema estar em contato com a maioria das células do órgão e até mesmo de toda a planta (Southwick e Davenport, 1986).

Basicamente, a medição da tensão da seiva no xilema consiste na introdução de um ramo ou folha dentro de uma câmara selada, onde somente a extremidade do ramo ou o pecíolo da folha é mantido do lado externo da câmara. Em seguida, um gás pressurizado é introduzido lentamente dentro da câmara. Quando o módulo da pressão do gás dentro da câmara se iguala ao módulo da tensão da seiva no xilema, observa-se uma exsudação de seiva na extremidade cortada do ramo ou pecíolo. Nesse momento, faz-se a leitura da pressão do gás no interior da câmara. Dessa forma, o potencial hídrico do ramo ou folha corresponde ao oposto da pressão introduzida na câmara (Figura 1).

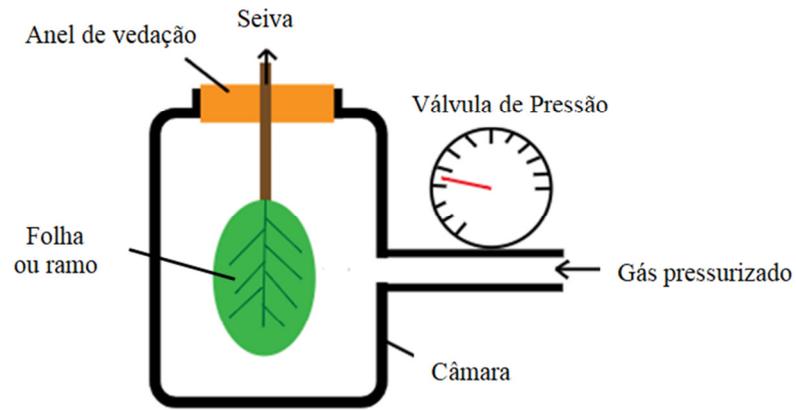


Figura 1 – Representação esquemática da bomba de pressão do princípio de funcionamento da bomba de pressão (Scholander, 1965).

A utilização do método da câmara de pressão possibilita a determinação do potencial de água foliar de base, que corresponde à medição do potencial hídrico feito antes do nascer do sol (antemanhã ou predawn), horário em que a planta apresenta um comportamento iso-hídrico, ou seja, descreve o estado hídrico do vegetal em uma situação de equilíbrio de potencial entre a planta e o solo, sem a interferência das condições ambientais diurnas (Katerji e Hallaire, 1984).

3 TRABALHOS

CURVA DE MATURAÇÃO DA LARANJA 'FOLHA MURCHA' NO NOROESTE FLUMINENSE

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo determinar a curva de maturação de frutos da laranjeira Folha Murcha (*Citrus sinensis* L. Osbeck) enxertada sobre limoeiro Cravo (*Citrus limonia* Osbeck) em cultivo irrigado e sem irrigação complementar, entre agosto e dezembro dos anos de 2014, 2015 e 2016, em Bom Jesus do Itabapoana, RJ. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 2 tratamentos e 15 repetições, sendo a parcela experimental constituída de uma planta de laranjeira adulta. Foram determinados o teor de sólidos solúveis totais (SST), a acidez total (AT), o índice de maturação (IM) e o rendimento em suco (S). A escolha dos modelos, quadrático para SST e linear para AT, IM e S foi determinada baseando-se na ANOVA da regressão (Teste F), no coeficiente de determinação e na significância dos coeficientes da regressão linear. Para as variáveis SST e S, houve diferenças significativas entre os

tratamentos, sendo determinadas curvas de regressão, para as variáveis em cada tratamento. Os frutos tiveram uma evolução no teor de SST com valor máximo estimado de 13,3 e 13,7°Brix, para os tratamentos irrigado e sem irrigação complementar, respectivamente. A irrigação também induziu a produção de frutos com maior rendimento em suco com um valor máximo estimado de 61,08% de rendimento em suco, enquanto que no tratamento sem irrigação complementar o valor máximo estimado foi de 57,37%. Quanto a AT e IM não houve diferença significativa entre os sistemas de cultivo. Com relação à acidez total, ao longo do período avaliado, foi observada uma diminuição da concentração de ácido nos frutos em ambos os tratamentos. O índice de maturação apresentou uma evolução linear com valores crescentes durante o período avaliado. Em função da observação do decréscimo do teor de SST, do rendimento em suco e a ocorrência da granulação, determinou-se o início da segunda quinzena de novembro como uma provável época de colheita, quando os frutos apresentam os melhores indicadores de qualidade.

Palavras-chave: *Citrus sinensis* L. Osbeck, Irrigação, Sistemas de cultivo, Qualidade do fruto.

ABSTRACT

The present study aimed to determine the maturation curve of the 'Folha Murcha' sweet orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) fruits, grafted onto 'Rangpur' lime (*Citrus limonia* Osbeck) in irrigated and non-irrigated crops, between August to December of the years 2014, 2015 and 2016 in Bom Jesus do Itabapoana, RJ. The experimental design used was randomized blocks with two treatments and fifteen replicates; each experimental plot was composed of one adult orange tree. The total soluble solids (TSS), total acidity (TA), ratio (TSS/TA) and juice yield were determined. The choice of models, quadratic for TSS and linear to TA; ratio and juice yield were determined based on analysis of variance of the regression ('F' test), in the coefficient of determination and significance of linear regression coefficients. For the TSS and juice yield variables, there were significant

differences between treatments, with regression curves being determined for the variables in each treatment. The fruits had an evolution in the TSS level with a maximum estimated value of 13.3 and 13.7°Brix, for the irrigated and non-complementary irrigation treatments respectively. The irrigation also induced the production of fruits with greater yield in juice with a maximum estimated value of 61.08% of juice yield, whereas in the non-complementary irrigation treatment the maximum estimated value was 57.37%. Regarding the TA and ratio there was no significant difference between the crop systems. Regarding the total acidity, during the evaluation period, a decrease in the acid concentration in fruits of both treatments was observed. The ratio presented a linear evolution with increasing values during the evaluated period. Based on the observation of the decrease of the TSS content, juice yield and the occurrence of the granulation, it was determined at the beginning of the second half of November as a probable harvest season, when the fruits present the best quality indicators.

Keywords: *Citrus sinensis* L. Osbeck, Irrigation, Cropping systems, Fruit quality.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de laranjas, sendo responsável por 30% da produção mundial de frutos e 60% da produção mundial de suco (MAPA, 2016). Na safra de 2017, a produção brasileira totalizou 18.666.928 Mg, em uma área colhida de 629.770 ha com uma produtividade de 29.641 kg ha⁻¹ (IBGE, 2018a).

No Estado do Rio de Janeiro, a área colhida em 2017 correspondeu a 4.382 ha com uma produção de 51.608 Mg. Esta baixa produção, associada ao elevado consumo da fruta leva o estado a importar grande parte das laranjas consumidas, justificando a necessidade de pesquisas e o estímulo à citricultura no Estado (IBGE, 2018b).

A 'Folha Murcha' (*Citrus sinensis* L. Osbeck) é originária do Rio de Janeiro, mas é cultivada em outras unidades da federação. Uma de suas

características é a presença de folhas enroladas ou retorcidas e plantas que se adaptam melhor a pleno sol (Martins et al., 2015). Os frutos apresentam maturação tardia, que podem suprir o mercado no período da entressafra, e a copa tem desenvolvimento vegetativo menos vigoroso, sendo indicada para cultivos adensados no estado de São Paulo (Azevedo et al., 2015).

Apesar de o Brasil ser o maior produtor mundial de laranjas, a maioria das lavouras ainda não é irrigada. Todavia, este cenário vem mudando nos últimos anos, sendo registrado um incremento na área irrigada, com a predominância da irrigação localizada que, associada ao uso de outras tecnologias, como a fertirrigação, tem possibilitado o aumento da produtividade das lavouras (Souza et al., 2012). Segundo Morgan et al. (2010), dentre os fatores que justificam a predominância da irrigação localizada, pode-se citar a possibilidade de economia de água e a redução dos custos com energia.

A avaliação do consumo médio de água pela laranjeira 'Folha Murcha' enxertada sobre o limoeiro 'Cravo' na região Noroeste Fluminense demonstrou que a disponibilidade de água no solo não atende à necessidade hídrica da planta nos períodos de maior demanda, indicando que o desempenho da cultura na região pode ser incrementado pela irrigação (Moraes et al., 2015).

De acordo com Pereira et al. (2009), não só o rendimento da cultura é influenciado pela disponibilidade de água no solo, mas também a qualidade dos frutos, com impacto na concentração de sólidos solúveis totais e na acidez total.

Devido à importância do conhecimento do acúmulo de sólidos solúveis totais e da diminuição da acidez titulável total durante o processo de maturação da laranja, são desenvolvidas equações de estimativa desses parâmetros, utilizando modelos de regressão que descrevem curvas de maturação. Variáveis como temperatura, radiação solar, disponibilidade de água no solo, topografia, altitude, características varietais da copa e porta-enxerto, entre outras, podem influenciar na curva de maturação (Stenzel et al., 2006; Lima et al., 2014; Pedro Junior et al., 2014). Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi determinar a curva de maturação da laranja 'Folha Murcha' em cultivo irrigado e sem irrigação complementar na região Noroeste Fluminense.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido utilizando frutos de laranja 'Folha Murcha' (*Citrus sinensis* L. Osbeck), enxertada sobre o limoeiro 'Cravo' (*Citrus limonia* Osbeck), em uma área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFF), em Bom Jesus do Itabapoana, RJ, latitude 21° 08,3` S, longitude 41° 39,3` W, com altitude de 88 m.

O clima, de acordo com a classificação de Köppen, é Aw, com uma estação quente e chuvosa e outra seca. A precipitação média anual é de 1.100 mm, com tendência de concentração principalmente na primavera e verão; a temperatura média anual é de 23,6°C (Ramos et al., 2009). O solo é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, com textura argilosa no horizonte A e muito argilosa no horizonte B (Moraes et al., 2015).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com 2 tratamentos e 15 repetições, sendo a parcela experimental constituída de uma planta de laranja adulta com dez anos. Os tratamentos consistiram na submissão das plantas a diferentes formas de cultivo, e sem irrigação complementar (T1) e irrigado (T2).

As irrigações foram realizadas com turno de rega de três dias, através de um sistema de irrigação localizada, aplicando-se a lâmina de irrigação determinada pelo déficit de água no solo, a partir dos dados climáticos de uma Estação Meteorológica Digital marca Vaisala®. No tratamento irrigado, as plantas foram induzidas ao repouso, através do estresse hídrico, por um período de 2 meses, iniciado no mês de agosto, com o objetivo de induzir ao florescimento.

Foram avaliadas as safras 2013/14, 2014/15 e 2015/16, quando foram realizadas amostragens dos frutos quinzenalmente, no período de agosto a dezembro. Em cada planta foram colhidos oito frutos da parte externa da planta, nos quatro quadrantes, em cada época de coleta.

A massa do fruto (MF) de cada amostra foi obtida em balança com capacidade para 5 kg e precisão de 0,1 g. A massa do suco (MS) foi determinada após extração em extrator elétrico. O rendimento em suco (S), em porcentagem, foi obtido da relação entre a massa do suco e a massa da fruta (MS/MF).

O teor de sólidos solúveis totais (SST), em °Brix, foi determinado em refratômetro digital com correção automática de temperatura. A acidez total (AT) foi determinada por titulação com NaOH a 0,1N (AOAC, 2010), sendo os resultados expressos em porcentagem de ácido cítrico. O índice de maturação ou “ratio” (IM) foi calculado da relação entre o teor de sólidos solúveis totais e da acidez total.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste “F” em 1% e 5% de probabilidade, enquanto aos dados das variáveis quantitativas foi aplicada regressão linear.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos quadrático para SST e lineares para AT, IM e S foram determinados baseando-se na ANOVA da regressão (Teste F), no coeficiente de determinação e na significância dos coeficientes da regressão linear, sendo os testes realizados em nível de 1 ou 5% de significância. Foram determinados os intervalos de confiança ($p < 0,05$) para cada ponto da curva de regressão para a comparação dos modelos em cada tratamento. Para as variáveis SST e S, houve diferenças significativas entre os tratamentos irrigado e sem irrigação, sendo determinadas curvas de regressão, para as variáveis em cada tratamento (Figuras 1 e 6). Para as variáveis AT e IM, como houve sobreposição dos intervalos, foi determinada somente uma curva de regressão, representando os dados de ambos os tratamentos (Figuras 2 e 3).

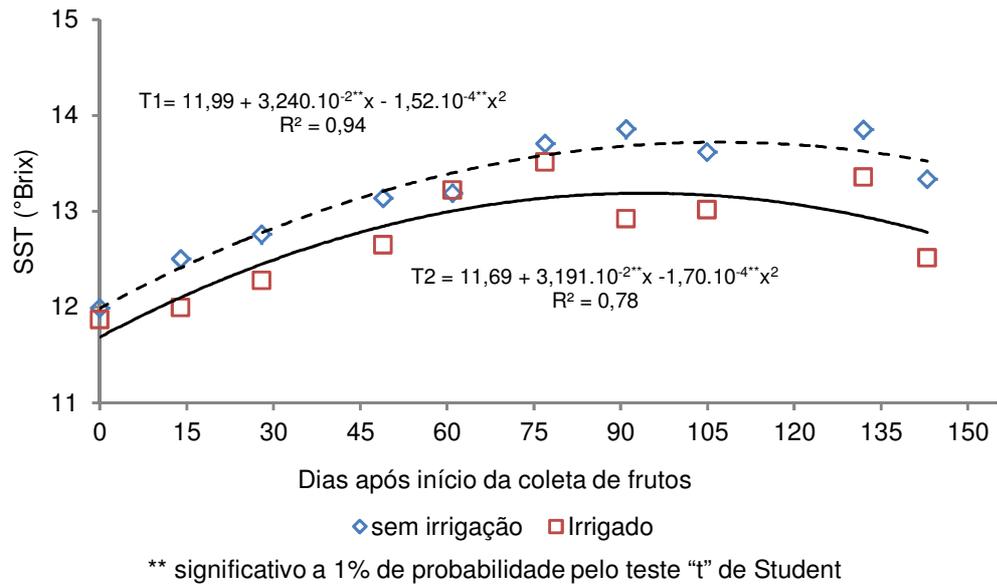


Figura 1. Teores de sólidos solúveis totais (SST) em frutos da laranjeira 'Folha Murcha' em função da época de colheita no município de Bom Jesus do Itabapoana, RJ, nos anos de 2014 a 2016.

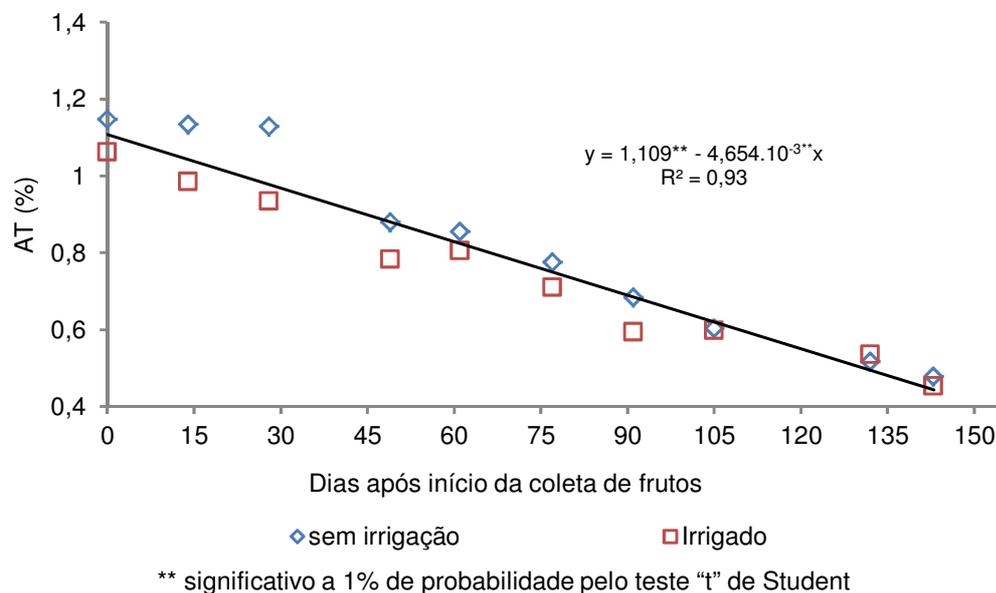


Figura 2. Acidez total (AT) em frutos da laranjeira 'Folha Murcha' em função da época de colheita no município de Bom Jesus do Itabapoana, RJ, nos anos de 2014 a 2016.

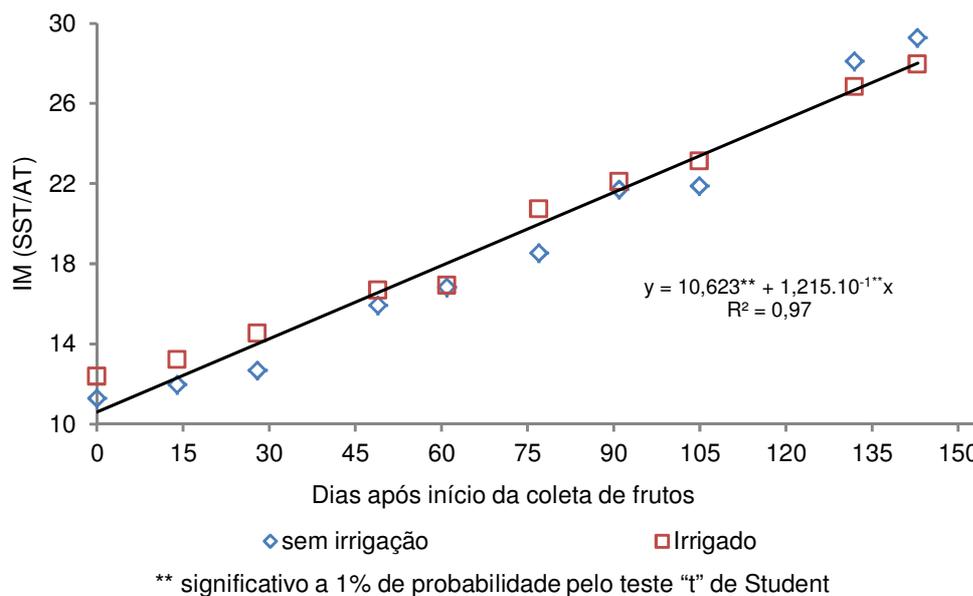


Figura 3. Índice de maturação (IM) em frutos da laranjeira 'Folha Murcha' em função da época de colheita no município de Bom Jesus do Itabapoana, RJ, nos anos de 2014 a 2016.

Os teores mais elevados de sólidos solúveis totais foram registrados no tratamento sem irrigação com ponto de máximo estimado de 13,7°Brix aos 107 dias após início da análise, conforme demonstrado na Figura 1. No tratamento com irrigação, o ponto de máximo estimado foi de 13,2°Brix, aos 94 dias após o início da análise. A resposta semelhante na evolução do teor de SST, em ambos os tratamentos, indica o início da segunda quinzena de novembro como uma provável época de colheita. No tratamento sem irrigação, os teores mais elevados de SST têm sido relacionados ao estresse hídrico, devido à perda de água contida nos frutos (Reuther e Rios-Castanõ, 1969). Por outro lado, no cultivo irrigado, os maiores tamanhos dos frutos, bem como o maior tamanho médio das células conduzem ao efeito de diluição e conseqüentemente frutos com menor teor de SST (Benbrook, 2016). Para ambos os tratamentos, os frutos apresentaram uma evolução no teor de SST durante o crescimento e, um declínio foi observado desde o início do amadurecimento, que pode ser atribuído ao aumento do peso médio dos frutos em virtude do início do período chuvoso e ao reinício das irrigações em virtude do término do período de estresse hídrico (Figura 2). Os resultados obtidos estão de acordo com os de Stenzel et al. (2006), que verificaram uma tendência quadrática no teor de SST da laranja 'Folha

Murcha' em todos os porta-enxertos avaliados e com os de Arruda et al. (2011), que avaliaram frutos de laranja 'Valência' provenientes de cultivos orgânico e convencional. Auler et al. (2009), também avaliando a laranja 'Valência', obtiveram ajustes diferenciados nos dois anos de avaliação, sendo linear no primeiro ano e quadrático no segundo, sendo estas diferenças explicadas pelo comportamento atípico do regime climático no primeiro ano de avaliação.

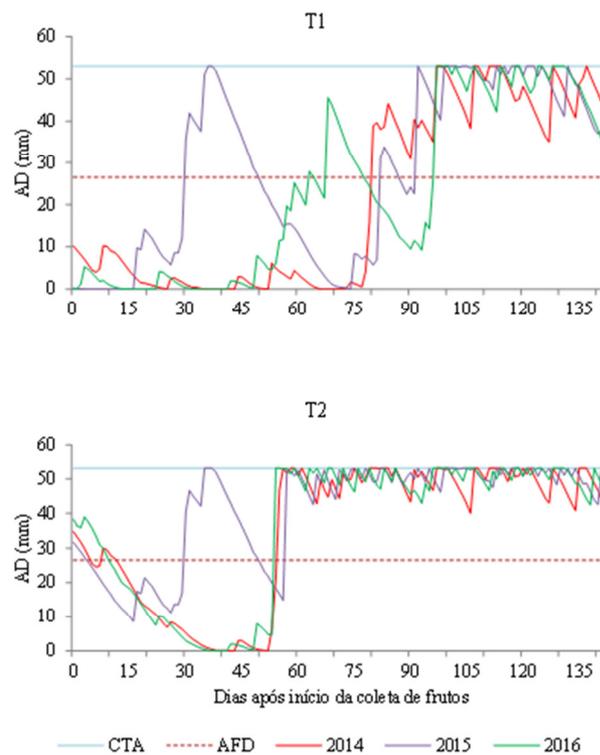


Figura 4. Disponibilidade de água no solo (AD), capacidade total de água (CTA), limite inferior da água facilmente disponível (AFD) e estimativa da lâmina efetiva de água no solo para os tratamentos (T1 e T2), durante o período de avaliação nos anos de 2014 a 2016.

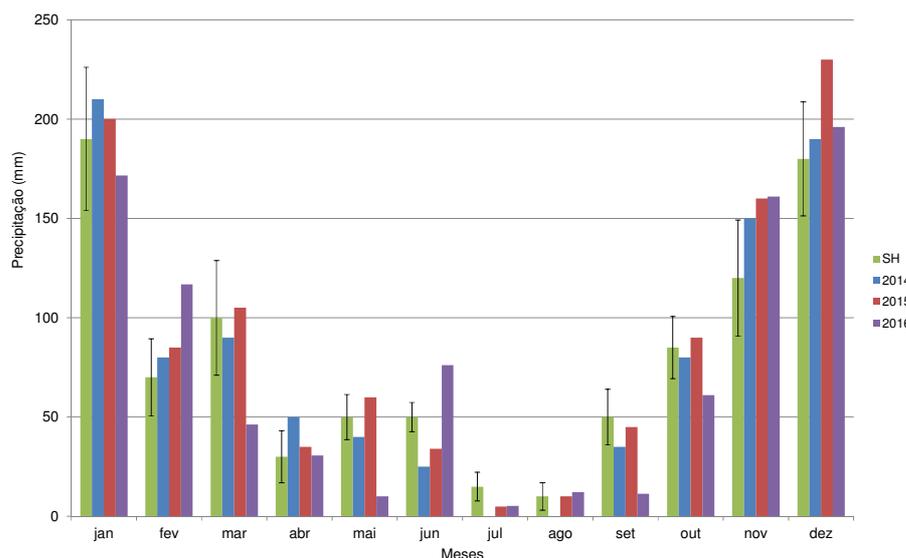


Figura 5. Cotas pluviométricas médias mensais em Itaperuna – RJ (SH), período de 1969 a 2015 (Dados da Rede do INMET, 2016) e cotas pluviométricas mensais no município de Bom Jesus do Itabapoana, RJ, 2014 a 2016.

Com relação à acidez total, foi observada, ao longo do período avaliado, uma diminuição de 1,1% no início a 0,4% no final da concentração de ácido nos frutos em ambos os tratamentos (Figura 2). Duarte et al. (2011), avaliando o efeito da carga pendente na qualidade dos frutos da laranjeira ‘Valência’, também verificaram comportamento semelhante em ambos os tratamentos avaliados. De uma forma geral, a redução na concentração de ácidos ocorre principalmente devido à diluição ocasionada pelo crescimento do fruto e ao aumento da absorção e retenção de água, visto que a redução no conteúdo de acidez titulável é pequena (Kimbal, 1984; Arruda et al., 2011). De acordo com Nogueira (1979), a temperatura também pode influenciar na diminuição no teor de ácido nos frutos, uma vez que temperaturas mais elevadas aceleram o processo de maturação.

Os resultados obtidos estão de acordo com os de Auler et al. (2009) e os de Arruda et al. (2011), que obtiveram um ajuste linear estatisticamente significativo entre a AT e o período de colheita. Os resultados obtidos diferem dos encontrados por Stenzel et al. (2006), que verificaram uma relação quadrática nos experimentos realizados em Paranaíba e Londrina – PR.

Conforme pode ser verificado na Figura 3, o índice de maturação (SST/AT) apresentou um ajuste linear, com um aumento ao longo dos meses de colheita, não sendo observada diferença significativa entre os sistemas de cultivo.

A relação linear crescente é devida principalmente à redução da AT (Figura 2), haja visto que, mesmo sendo verificada uma redução no teor de SST (Figura 1), em ambos os tratamentos, o índice de maturação mantém a tendência de crescimento (Figura 3). Stenzel et al. (2006) observaram o mesmo comportamento linear do IM para a laranja 'Folha Murcha' nos dois locais avaliados. De acordo com Auller et al. (2009) e Arruda et al. (2011), em experimentos realizados com a laranja 'Valência', o índice de maturação apresentou uma evolução linear com valores crescentes durante o período avaliado.

De acordo com Lima et al. (2014), o índice de maturação pode ser utilizado para determinar a maturidade e a época de colheita dos frutos de laranja 'Lima', no Noroeste Fluminense. No presente trabalho, a verificação do comportamento linear crescente da variável, até a segunda quinzena de dezembro, induz a concluir que não existe um ponto de máximo a ser estabelecido, sendo necessária a adoção de outros critérios. Nesse sentido, a observação do decréscimo do teor de SST, do rendimento em suco e a ocorrência da granulação, permitem estabelecer uma época de colheita, quando os frutos apresentam os melhores indicadores de qualidade, ou seja, no início da segunda quinzena de novembro, quando o índice de maturação está em torno de 22,8.

O rendimento em suco (Figura 6) apresentou um comportamento linear, evidenciando decréscimo para ambos os tratamentos. O tratamento irrigado foi superior ao não irrigado, promovendo maior rendimento em suco ao longo de todo o período avaliado. O tratamento irrigado apresentou um valor máximo estimado de 61,08% de rendimento em suco, enquanto no tratamento sem irrigação complementar o valor máximo estimado foi de 57,37%. Os resultados obtidos diferem de Auller et al. (2009) com a laranjeira 'Valência', no qual o rendimento em suco apresentou um ajuste quadrático, com valor máximo de 49,78, em 31 de outubro. O mesmo comportamento quadrático foi verificado por Arruda et al. (2011), com rendimentos diferentes entre as localidades avaliadas.

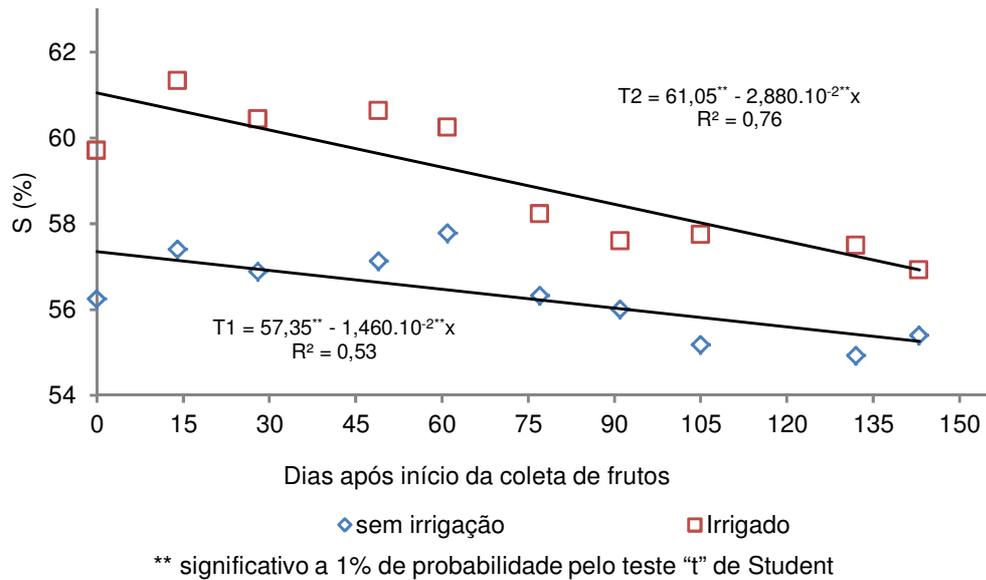


Figura 6. Rendimento em suco (S) em frutos da laranjeira 'Folha Murcha' em função da época de colheita no município de Bom Jesus do Itabapoana, RJ, nos anos de 2014 a 2016.

O decréscimo do rendimento em suco verificado, principalmente no cultivo irrigado, pode ser atribuído a diversos fatores. O primeiro destes fatores é a disponibilidade de água. No cultivo irrigado, inicialmente a disponibilidade de água no solo era maior, em virtude da irrigação (Figura 4) e, conseqüentemente, o rendimento em suco foi maior que no cultivo sem irrigação complementar. Com a submissão das plantas ao estresse hídrico, a partir do mês de agosto, ocorreu uma diminuição da disponibilidade de água no solo e, por conseguinte, uma redução do rendimento em suco, o que também foi verificado no cultivo sem irrigação complementar, em virtude do término do período chuvoso. Outro fator que pode influenciar no rendimento em suco é a granulação, também conhecida como cristalização. Trata-se de uma desordem fisiológica que resulta na redução do rendimento em suco em virtude da formação de gel nas vesículas, que pode estar associada ao avançado estado de maturação dos frutos e à condição hídrica da planta (Ritenour et al., 2004), sendo observada a ocorrência desta nas análises realizadas a partir do mês de novembro.

CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos nesse trabalho, conclui-se que o teor de sólidos solúveis totais foi influenciado pela forma de cultivo, uma vez que o tratamento sem irrigação produziu frutos com maiores teores. A irrigação complementar também induziu a produção de frutos com maior rendimento em suco. As variáveis, acidez total e índice de maturação não foram influenciados pela forma de cultivo. O decréscimo do teor de SST, do rendimento em suco e a ocorrência da granulação, permitem estabelecer uma época de colheita, quando os frutos apresentam os melhores indicadores de qualidade, ou seja, no início da segunda quinzena de novembro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC – Association of Official Analytical Chemists. (2010) *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18. ed. 3. revisão. Gaithersburg: AOAC International.
- Arruda, M. C., Fischer, I. H., Zanette, M. M., Silva, B. L., Santos, C. A. J. P. (2011) Qualidade físico química de frutos de laranja Valência provenientes de cultivos orgânicos e convencional. *Citrus Research & Technology*, Cordeirópolis, 32(2):103-108.
- Auler, P. A. M., Fiori-Tutida, A. C. G., Scholz, M .B. S. (2009) Qualidade industrial e maturação de frutos de laranja 'Valência' sobre seis porta-enxertos. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, 31(4):1.158-1.167.

- Azevedo, F. A., Pacheco, C. A., Schinor, E. H., Carvalho, S. A., Conceição, P. M. (2015) Produtividade da laranjeira Folha Murcha enxertada em limoeiro Cravo sob adensamento de plantio. *Bragantia*, Campinas, 74(2):184-188.
- Benbrook, C., Zhao, X., Yáñez, J., Davies, N., Andrews, P. New Evidence Confirms the Nutricional Superiority of Plant-Based Organic Foods: <https://organic-center.org/reportfiles/Nutrient_Content_SSR_Executive_Summary_FINAL.pdf> em 01/11/2016.
- Duarte, T. F., Bron, I. U., Ribeiro, R. V., Machado, E. C., Mazzafera, P., Shimizu, M. M. (2011) Efeito da carga pendente na qualidade de frutos de laranjeira 'Valencia'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, 33(3):823-829.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção agrícola: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>> em 28/01/2018a.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção agrícola: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/rio-de-janeiro>> em 28/01/2018b.
- Kimball, D. A. (1984) Factors affecting the rate of maturation of citrus fruits. *Proceedings of Florida State Horticultural Society*, Gainesville, 97:40-44.
- Lima, C. F., Marinho, C. S., Costa, E. S., Almeida, T. R. V., Amaral, C. O. (2014) Qualidade dos frutos e eficiência produtiva da laranjeira 'Lima' enxertada sobre 'Trifoliata', em cultivo irrigado. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, 9(3):401-405.
- MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2016) Vegetal. Cultura. Citrus: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/citrus>> em 05/08/2016.

- Martins, M. Q., Marçal, T. S., Souza, M. F., Coelho, R. I. (2015) Influência do sombreamento no crescimento de mudas da laranja 'Folha Murcha'. *Revista de Ciências Agrárias*, Lisboa, 38(3):407-413.
- Moraes, J. G., Marciano, C. R., Amaral, C. O., Sousa, E. F., Marinho, C. S. (2015) Balanço hídrico e coeficiente de cultura da laranja 'Folha Murcha' no Noroeste Fluminense. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, 46(2):241-249.
- Morgan, K. T., Zotarelli, L., Dukes, M. D. (2010) Use of Irrigation Technologies for Citrus Trees in Florida. *Horttechnology*, Alexandria, 20(1):74-81.
- Nogueira, D. J. P. (1979) Citrus/Tecnologia de produção. O clima na citricultura. *Informe Agropecuário*, 5:3-12.
- Pedro Junior, M. J., Hernades, J. L., Blain, G. C., Bardin-Camparotto, L. (2014) Curva de maturação e estimativa do teor de sólidos solúveis e acidez total em função de graus-dia: Uva IAC 138-22 'Máximo'. *Bragantia*, Campinas, 73(1):81-85.
- Pereira, A. B., Nova, N. A. V., Alfaro, A. T. (2009) Necessidade hídricas de citros e macieiras a partir da área foliar e da energia solar. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, 31(3):671-679.
- Ramos, A. M., Santos, L. A. R., Fontes, L. T. G. (org.) (2009) *Normais climatológicas do Brasil 1961-1990*. 1. ed. Brasília, DF: INMET, 465p.
- Reuther, W., Rios-Castanõ, D. (1969) Comparison of growth, maturation and composition of citrus fruits in subtropical California and tropical Colombia. *Anais do Simpósio Internacional de Citrus*, 1, Riverside: Riverside, p.277-300.
- Ritenour, M. A.; Albrigo, L. G.; Burns, J. K.; Miller, W. M. (2004) Granulation in Florida Citrus. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, Gainesville, 117:358-361.

Souza, T. R., Villas Bôas, R. L., Quaggio, J. A., Salomão, L. C., Foratto, L. C. (2012) Dinâmica de nutrientes na solução do solo em pomar fertirrigado de citros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 47(6):846-854.

Stenzel, N. M. C., Neves, C. S. V. J., Marur, C. J., Scholz, M. B. S., Gomes, J. C. (2006) Maturation curves and degree-days accumulation for fruits of 'Folha Murcha' orange trees. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, 63(3):219-225.

CALIBRAÇÃO DE UMA SONDA TDR EM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO PARA DOIS TIPOS DE TUBOS DE ACESSO

RESUMO

A reflectometria no domínio do tempo (TDR) se destaca entre as técnicas utilizadas para a determinação do conteúdo de água no solo devido a características como alta precisão, manutenção da estrutura física do solo, facilidade de manuseio e portabilidade. Todavia, devido ao alto custo do equipamento e, eventualmente, de tubos de acesso, e à necessidade de calibração, sua aplicação tem sido limitada à pesquisa. Nesse sentido, os objetivos deste trabalho foram comparar as umidades volumétricas estimadas pelo equipamento com a utilização de tubos de acesso em TECANAT e em PVC, com as obtidas a partir do método gravimétrico, bem como obter equações de calibração do TDR TRIME-PICO IPH/T3 para um Argissolo Vermelho-Amarelo para os dois tipos de tubos de acesso. Os resultados indicam que, para conteúdos volumétricos de água no solo menores que 35,5%, a medida feita com o TDR no tubo TECANAT resultou em subestimativa do valor, em comparação com o método padrão. Para medidas feitas com TDR no tubo de PVC as subestimativas foram superiores a 50%, para qualquer valor de umidade do solo considerada. Os resultados também indicam que, mesmo com o uso do tubo original do equipamento (TECANAT), a utilização de curva de calibração é necessária para a obtenção de valores mais confiáveis. Para os tubos de acesso em PVC, alternativa para redução dos custos, a curva de calibração é também

obrigatória, ficando a viabilidade de seu uso dependente ainda da qualidade de sua instalação no solo.

Palavras-chave: Reflectometria no Domínio do Tempo, Umidade do solo, Tipo de solo.

ABSTRACT

The Time Domain Reflectometry (TDR) stands out amongst the techniques used for the measurement of the water content in the soil due to characteristics such as high precision, conservation of the soil's physical structure, easiness of use and portability. However, due to the high cost of equipment and access tubes and the need to calibrate, its application has been limited to research. Thus, the objectives of this work were to compare the volumetrical humidity estimated by the equipment with the use of TECANAT and PVC access tubes, with the ones obtained by the gravimetric method, as well as to obtain the equations for the TDR TRIME-PICO IPH/T3 calibration for a Typic Kandudult for both kinds of access tubes. The results indicate that, for volumetrical contents of water below 35.5%, the measurement done with the TDR on the TECANAT tube resulted in an underestimation in value, in comparison with the standard method. For measurements done with TDR on the PVC tube the underestimations were superior to 50%, for any value in considered soil humidity. The results also indicate that, even with the use of the original equipment tube (TECANAT), the use of the calibration curve is needed to obtain more reliable values.

Keywords: Time domain reflectometry, Soil moisture, Type of soil.

INTRODUÇÃO

O conhecimento da umidade do solo consiste em informação técnica fundamental para estudos nas áreas de agricultura, ecologia e engenharia, bem como atividades relacionadas às áreas científicas como física do solo e hidrologia. (Souza et al., 2013). A determinação da umidade do solo pode ser feita através de métodos diretos ou indiretos. Entre eles pode-se citar: o método gravimétrico, sonda de nêutrons, atenuação de raios gama, sondas de capacitância, tensiômetro, sensores eletrométricos, reflectometria no domínio do tempo (TDR), entre outros (Santos et al., 2010).

Devido à sua precisão, o método gravimétrico é considerado padrão para a quantificação da umidade do solo. Todavia, em virtude de características como a necessidade da coleta de amostras de solo, intervalo de tempo para a obtenção dos resultados, dificuldade de repetitividade e automação, esse método torna-se pouco atrativo e seu uso mais restrito a estudos científicos. Outros métodos, apesar da possibilidade de utilização *in situ* e rapidez na obtenção dos resultados, necessitam de cuidado especial devido a riscos à saúde (Noborio, 2001).

Diante do exposto, a técnica da reflectometria no domínio do tempo (TDR) se destaca devido à boa precisão, pela possibilidade de monitoramento de uma grande quantidade de pontos amostrais, pela rapidez, pela manutenção da estrutura física do solo, facilidade de manuseio, portabilidade, possibilidade de automação na coleta de dados e de monitoramento da frente de umedecimento e redistribuição da água no perfil do solo (Bizari et al., 2011).

Basicamente, o princípio de funcionamento do TDR consiste na determinação de uma constante dielétrica, a partir da emissão de uma sequência de pulsos harmônicos em uma linha de transmissão, composta de hastes introduzidas no solo. Esta constante é obtida a partir da medição do tempo de deslocamento da sequência de pulsos; quanto maior o tempo de deslocamento, maior a constante dielétrica do solo (Santos et al., 2012). Logo, a estimativa do conteúdo de água no solo é obtida a partir da correlação entre a constante dielétrica do solo e os dados de conteúdo de água no solo obtidos no campo ou laboratório (Almeida et al., 2012).

No caso específico do TDR TRIME-PICO IPH/T3, estas hastes são substituídas por uma sonda. Esta sonda é composta por um corpo cilíndrico em PVC, contendo quatro placas de alumínio montadas sobre molas, em lados opostos da sonda. Os pulsos gerados se propagam ao longo destas placas, gerando um campo magnético em torno da sonda, até atingirem a sua extremidade final e então serem refletidos. A partir desta constante dielétrica, pode-se calcular o conteúdo volumétrico de água. Esta sonda é introduzida no solo através de tubos de acesso em material plástico TECANAT (IMKO, 2018).

Todavia, o TDR apresenta algumas desvantagens, como o pouco conhecimento do comportamento em solos tropicais, alto custo de aquisição do equipamento e dos tubos de acesso e a necessidade de calibração (Bernardo et al., 2006; Souza et al., 2013).

A necessidade de calibração para cada tipo de solo resulta das pesquisas que apontam diferenças entre os valores da umidade do solo quando comparados os valores estimados pelo TDR utilizando a equação padrão do equipamento com os valores de umidade obtidos pelo método gravimétrico (Tommaselli e Bacchi, 2001; Silva et al., 2005; Souza et al., 2006, Souza et al., 2013).

Nesse sentido, os objetivos desse trabalho foram comparar as umidades volumétricas estimadas pelo equipamento (com a utilização de tubos de acesso tanto originais, em TECANAT, como em PVC) com as obtidas a partir do método gravimétrico, bem como obter equações de calibração do TDR TRIME-PICO IPH/T3 para o solo Argissolo Vermelho-Amarelo para os dois tipos de tubos de acesso.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, em Bom Jesus do Itabapoana, RJ, latitude 21° 08,3` S, longitude 41° 39,3` W, com altitude de 88 m.

O clima, de acordo com a classificação de Köppen, é Aw, com uma estação quente e chuvosa e outra seca. A precipitação média anual é de 1.100 mm e a temperatura média anual é de 23,6°C (Ramos et al., 2009).

O solo, pelo “Sistema Brasileiro de Classificação de Solos” (Embrapa, 2013), é um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, correspondendo ao Typic Kandudult do sistema americano (Soil Survey Staff, 2014), com textura argilosa no horizonte A e muito argilosa no horizonte B, com características físicas apresentadas no Quadro 1.

Quadro1. Composição granulométrica, densidade das partículas (Dp), densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), macroporosidade (macro) e microporosidade (micro) para os horizontes do Argissolo Vermelho-Amarelo, Bom Jesus do Itabapoana –RJ

Horizonte	Profundidade (m)	Areia ----- (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Argila -----	Dp ---- (mg m ⁻³)	Ds ----	PT -----	Macro (m ³ m ⁻³)	Micro -----
Ap	0-0,20	421	127	452	2,695	1,470	0,455	0,126	0,328
BA	0,20-0,55	272	111	617	2,717	1,406	0,482	0,120	0,362
Bt1	0,55-0,90	247	84	669	2,848	1,337	0,531	0,129	0,402
Bt2	0,90-1,20	289	84	627	2,841	1,415	0,502	0,104	0,398
Bt3	1,20-1,60	340	115	545	2,863	1,478	0,484	0,117	0,367
C	1,60-2,20	499	178	323	2,817	1,589	0,436	0,100	0,336

O equipamento utilizado foi um coletor de dados composto por um TDR modelo TRIME-PICO IPH/T3 produzido pela empresa IMKO Micromodultechnik GmbH e um palmtop modelo IPAQ Hx2490, fabricado pela HP para registro das medições e estimativa do conteúdo volumétrico de água no solo a partir de uma equação padrão do equipamento de acordo com o modelo proposto por Topp et al. (1980).

Os tubos de acesso utilizados foram de dois tipos: o primeiro, em TECANAT, possui 44 mm de diâmetro externo e 42 mm de diâmetro interno, com uma lâmina de corte em aço em uma das extremidades; o segundo tipo foram tubos de PVC, da linha irrigação, cor azul, com 50,8 mm de diâmetro externo e 48,1 mm de diâmetro interno e pressão de serviço de 4,0 kgf cm⁻², ambos os tubos com 2 m de comprimento. Para a instalação dos tubos de TECANAT foi

utilizado um conjunto de perfuração especialmente desenvolvido pelo fabricante do TDR. Os tubos de PVC foram instalados com a utilização de sondas, semelhantes às utilizadas para coleta de amostras de solo, com diâmetro externo de 50 mm, visando a um bom contato do tubo de acesso com o solo.

Para a instalação do experimento, foram delimitadas três parcelas próximas, onde foram instalados em cada uma um tubo de PVC e um tubo de TECANAT, respeitando uma distância mínima de 60 cm entre os tubos, de forma a não haver interferências nas medições. Os tubos foram introduzidos no solo até uma profundidade de 1,5 m, sendo as medições realizadas em quatro camadas (0,00 – 0,20; 0,20 – 0,40; 0,40 – 0,60; 0,60 – 0,80 m de profundidade).

Após a instalação dos tubos, as áreas foram inundadas e deixadas em repouso por 24 horas, visando à estabilização do contato solo-tubo e à uniformização da distribuição da água no perfil do solo a ser avaliado. Finalizado este período, foram realizadas oito medições utilizando o equipamento TDR, por um período de um mês para cada profundidade avaliada. Imediatamente após cada uma das medições, em pontos afastados pelo menos 0,40 m dos tubos, com o auxílio de um trado tipo “holandês”, foram coletadas amostras deformadas de solo de cada profundidade avaliada, para a quantificação da umidade do solo a partir do método gravimétrico.

As amostras, acondicionadas em sacos plásticos para impedir a perda de água, foram levadas ao laboratório, pesadas e levadas para a estufa a 105-110 °C e deixadas nesta condição por 24 horas. Em seguida, foram colocadas em dessecador e deixadas esfriar e então pesadas. Após a pesagem, as amostras foram novamente levadas para a estufa e, após 1 hora, novamente pesadas, sendo repetido o processo até a obtenção de peso constante.

A determinação do conteúdo de água no solo à base de massa foi obtida conforme a Equação 1.

$$U = \frac{m - m_s}{m_s} \quad (1)$$

onde: U = conteúdo de água no solo à base de massa, kg kg^{-1} ; m = massa da amostra úmida, kg; e m_s = massa da amostra seca em estufa, kg.

O conteúdo de água no solo à base de volume pode ser calculado a partir da determinação do conteúdo de água no solo à base de massa e das densidades do solo e da água (Equação 2).

$$\theta = \frac{\rho}{\rho_a} U 100 \quad (2)$$

onde: θ = conteúdo de água no solo à base de volume, %; ρ = densidade do solo, kg m^{-3} ; ρ_s = densidade da água, kg m^{-3} ; e U = conteúdo de água no solo à base de massa, kg kg^{-1} .

A partir dos resultados obtidos, foram realizadas análises de regressão para a obtenção das equações relacionando os diferentes materiais utilizados como tubo de acesso. Foram também realizadas regressões entre os valores percentuais de umidade obtidos pelo método gravimétrico e os valores estimados pelo TDR para os dois tipos de tubo, utilizando a equação padrão do equipamento.

Para avaliar o desempenho das equações de ajuste, foi utilizado o critério de interpretação proposto por Camargo e Sentelhas (1997), pelo índice de confiança e desempenho (Quadro 2).

Quadro 2. Critério de interpretação do desempenho das equações de ajuste, pelo índice de confiança e desempenho (c)

Valor de "c"	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 – 0,85	Muito Bom
0,66 – 0,75	Bom
0,61 – 0,65	Mediano
0,51 – 0,60	Sofrível
0,41 – 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

Fonte: Camargo e Sentelhas (1996).

O índice de confiança ou desempenho, estabelecido por Camargo e Sentelhas (1997), foi calculado pela Equação 3.

$$c = r d \quad (3)$$

onde: c = índice de confiança ou desempenho, adimensional; r = coeficiente de correlação de Pearson; e d = índice de concordância de Willmott.

O coeficiente de correlação de Pearson (Equação 4) mede o grau da correlação linear entre duas variáveis quantitativas.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (4)$$

onde: r = coeficiente de correlação de Pearson, adimensional; n = número de observações; X_1, X_2, \dots, X_n = são os valores de umidade estimados pelo TDR; Y_1, Y_2, \dots, Y_n = são os valores de umidade obtidos pelo método gravimétrico; \bar{X} = média dos valores de X , obtido pela Equação 5; e \bar{Y} = média dos valores de Y , obtido pela Equação 6.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (5)$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \quad (6)$$

Os valores do índice de concordância (Willmott et al., 1985) variam de zero, para nenhuma concordância, a 1, para concordância perfeita. O índice foi obtido pela Equação 7.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (7)$$

onde: d = índice de concordância de Willmott, adimensional; E_i = o valor estimado pela equação de ajuste; O_i = o valor obtido; \bar{O} = a média dos valores obtidos; e n = número de observações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra a relação entre os valores de umidade do solo obtidos pelo método gravimétrico e os valores estimados pelo TDR utilizando a equação padrão do equipamento, nos tubos de acesso em TECANAT. Mostra, também, a curva de ajuste dos dados observados.

O modelo linear apresentou bom ajuste para a determinação da umidade volumétrica em função da umidade estimada pelo TDR, baseado na ANOVA da regressão e no índice de confiança ou desempenho. De acordo com o critério de interpretação do desempenho das equações de ajuste (Quadro 2), o desempenho foi classificado como “ótimo”, em função dos valores: 0,87; 0,89 e 0,94, para o índice de confiança ou desempenho, coeficiente de correlação de Pearson e índice de concordância de Willmott, respectivamente (Equações 3, 4, 5, 6 e 7).

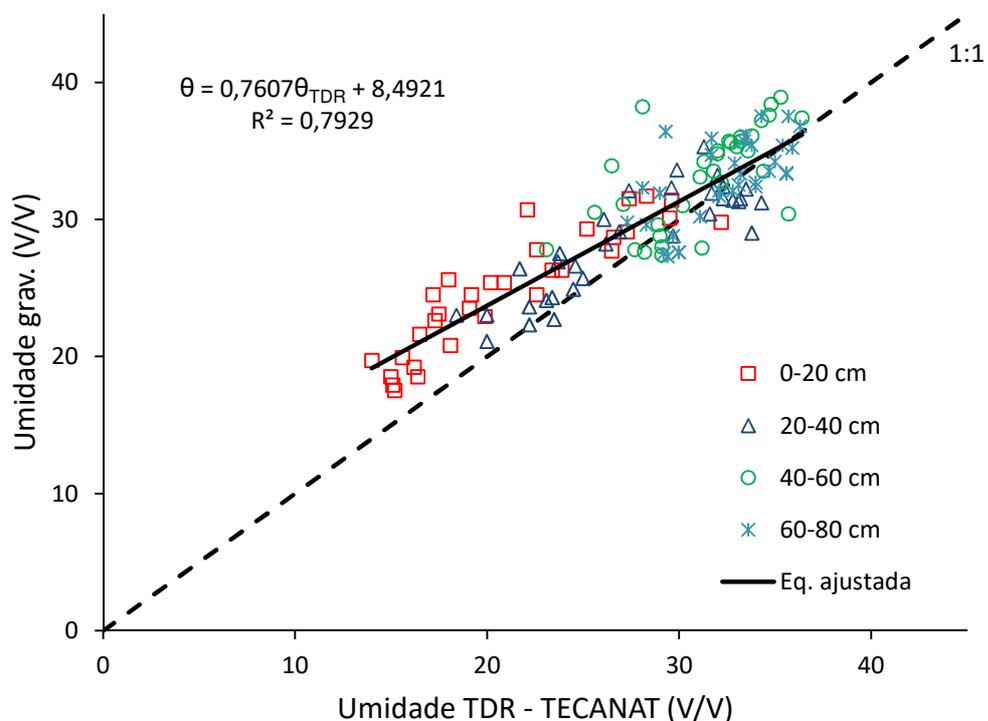


Figura 1. Umidade volumétrica do solo estimada pelo TDR, em tubos de acesso em TECANAT (Umidade TDR-TECANAT), em relação aos valores de umidade volumétrica determinados pelo método gravimétrico (Umidade grav.), em Argissolo Vermelho-Amarelo.

Na Figura 1, pode ser observada a variação da umidade volumétrica do solo durante o período experimental, obtida pelo método gravimétrico e medida com o TDR, nas camadas 0-0,2 m, 0,20-0,40 m, 0,40-0,60m e 0,60-0,80m. Em condições de solo úmido os resultados obtidos com o TDR se aproximam dos valores de umidade obtidos pelo método gravimétrico. Por outro lado, para valores de umidade gravimétrica abaixo de 35,5%, verificado principalmente na camada 0-0,20, as medições pelo TDR tendem a subestimar os valores de umidade do solo, quando comparadas com o método padrão.

Diversos estudos observaram a necessidade de utilização de curvas de calibração, entre eles, Souza et al. (2013), Batista et al. (2016) e Souza et al. (2016), os quais verificaram que o modelo linear apresentou o melhor ajuste para a determinação da umidade volumétrica em função da umidade volumétrica estimada pelo TDR.

Corroborando com os resultados do trabalho, Tommaselli e Bacchi (2001) verificaram a necessidade de calibração do TDR para cada tipo de solo especificamente. Os autores ainda observaram a ineficácia do modelo proposto por Topp et al. (1980), o mesmo utilizado no equipamento avaliado, uma vez que superestima os valores das constantes dielétricas à medida que aumenta a umidade. Tal comportamento se deve ao fato de Topp et al. (1980) ter utilizado uma faixa muito ampla de texturas na elaboração do modelo proposto, uma vez que os modelos empíricos de calibração pressupõem que a relação entre a constante dielétrica aparente e o conteúdo de água no solo dependem apenas deste último, não levando em consideração características como distribuição e tamanho das partículas, teores de ferro e matéria orgânica e superfície específica (Tommaselli e Bacchi, 2001).

De acordo com Santos et al. (2010) e Muñoz-Carpena et al. (2015), a textura do solo também pode influenciar no desempenho do TDR, confirmando a necessidade da utilização de curvas de calibração para cada tipo de solo. Segundo os autores, solos com alto teor de argila possuem uma quantidade maior de água adsorvida e uma menor quantidade de água livre na matriz do solo, apresentando uma constante dielétrica baixa. Resultados semelhantes foram obtidos por Souza et al. (2016), em um Latossolo Vermelho-Amarelo. Segundo os autores as estimativas de umidade apresentaram o menor desempenho e maior

erro nos solos de textura argilosa em comparação aos solos com menores teores de argila.

Os resultados indicam que a viabilidade da utilização do TDR modelo TRIME-PICO IPH/T3 com a equação padrão do equipamento (Topp, et al., 1980) está condicionada à necessidade de utilização de equações de regressão, entre os valores de umidade estimados pelo TDR, com a utilização de tubo de acesso em TECANAT e os obtidos pelo método gravimétrico, para a estimativa do conteúdo de água no solo.

A Figura 2 mostra a relação entre os valores de umidade estimados pelo equipamento com a utilização de tubos de acesso em PVC e os valores de umidade obtidos pelo método gravimétrico. Na figura também pode ser observada a equação de ajuste considerando as medidas gravimétricas e as obtidas no TDR.

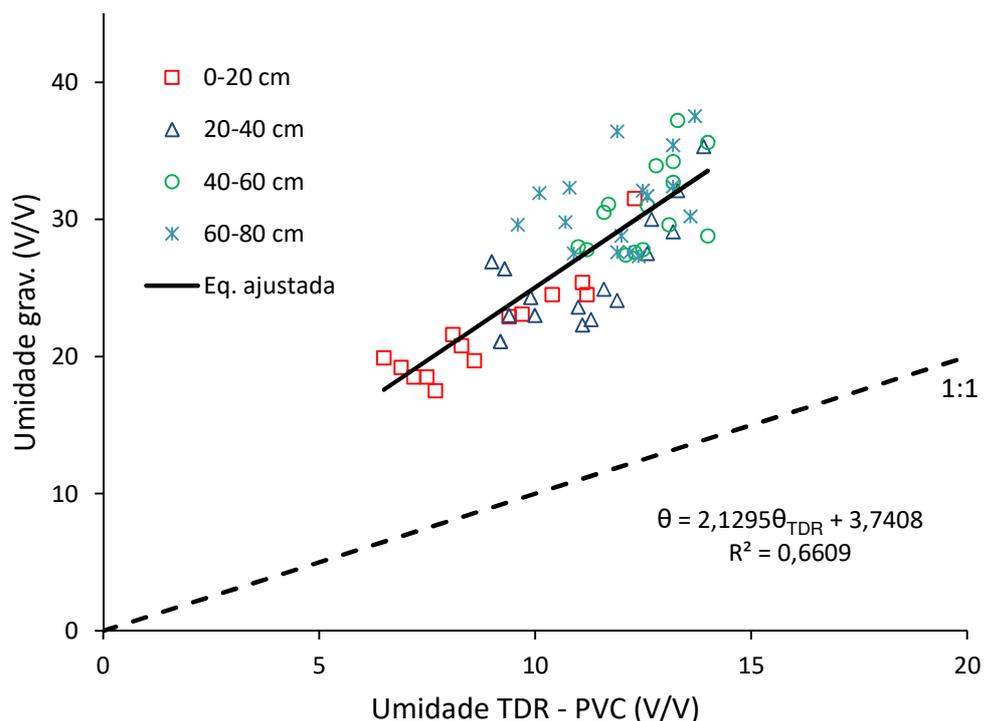


Figura 2. Umidade volumétrica do solo estimada pelo TDR, em tubos de acesso em PVC (Umidade TDR-PVC), em relação aos valores de umidade volumétrica determinados pelo método gravimétrico (Umidade grav.), em Argissolo Vermelho-Amarelo.

Baseado na ANOVA da regressão e no índice de confiança ou desempenho, o modelo linear apresentou bom ajuste. O desempenho do ajuste foi classificado como “bom”, em função dos valores de 0,81; 0,90; e 0,74; para o índice de confiança ou desempenho, coeficiente de correlação de Pearson e índice de concordância de Willmott, respectivamente (Quadro 2).

Como podem ser observadas, para medidas feitas nos tubos em PVC, houve uma subestimativa dos valores de umidade do solo em relação aos valores de umidade obtidos pelo método gravimétrico, em todos os valores de umidade do solo avaliados.

Para as medições de umidade feitas nos tubos de acesso em PVC, os valores obtidos também foram subestimados em relação àqueles obtidos nos tubos em TECANAT (Figura 3).

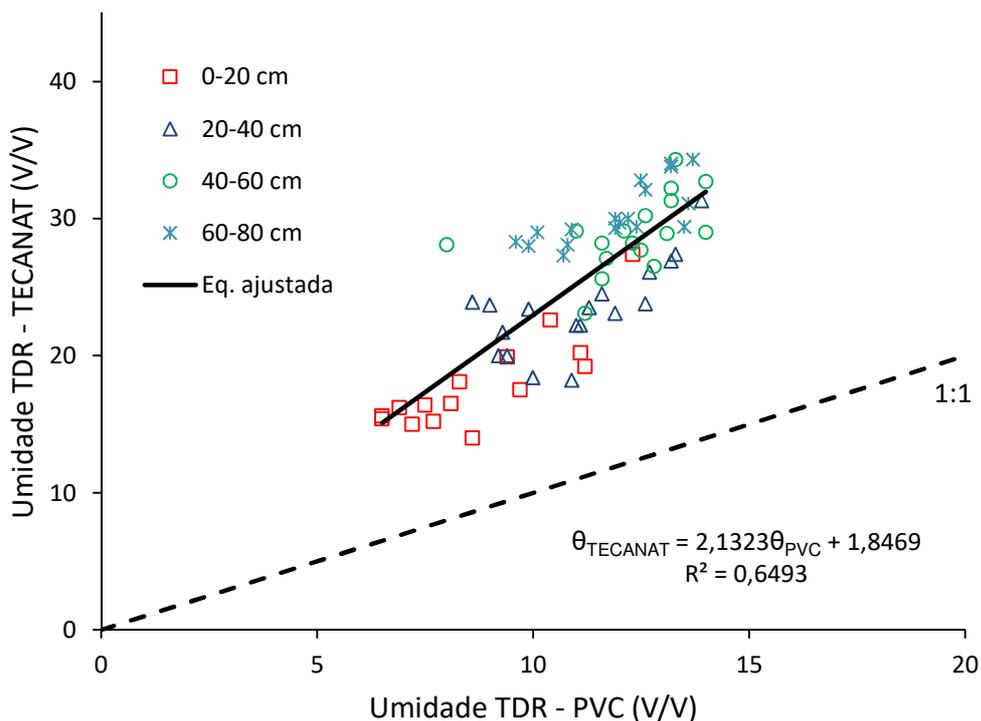


Figura 3. Umidade volumétrica do solo estimada pelo TDR, em tubos de acesso em PVC em relação aos valores de umidade volumétrica estimados em tubos de acesso em TECANAT, em Argissolo Vermelho-Amarelo.

Os tubos de acesso em PVC (Policloreto de polivinila), apesar de apresentarem diferenças com relação às propriedades e características, como transparência, densidade, fator de dissipação dielétrica, resistividade volumétrica e resistividade superficial em relação aos tubos de acesso originais em TECANAT, não interferiram nos resultados das leituras, uma vez que o próprio fabricante do equipamento recomenda a utilização de outros materiais, como Polietileno (PE), Policloreto de polivinila (PVC) ou Politetrafluoretileno (PTFE), em situações que se deseja monitorar o teor de umidade do solo em maiores profundidades (Braskem, 2018; Ensinger, 2018; IMKO, 2018).

Nesse sentido, a subestimativa dos valores de umidade do solo pelo TDR com a utilização de tubos em PVC ou TECANAT, quando comparadas com o método gravimétrico, pode ser atribuída à utilização do modelo proposto por Topp et al. (1980) no equipamento para a estimativa dos valores do conteúdo de água no solo. Outro fator que pode contribuir para a subestimativa dos valores é a falta ou irregularidade no contato entre o tubo de acesso e o solo e entre a sonda e o tubo. Segundo IMKO (2018), a necessidade de um contato próximo entre o tubo e o solo é essencial para medições confiáveis, uma vez que a sensibilidade de medição é mais alta perto do tubo de acesso e diminui exponencialmente à medida que se afasta do mesmo. Para um teor de água no solo de 15%, um espaço de ar de 1 mm, ao redor do tubo, resultaria em uma subestimativa de 1 a 2%. Com um teor de água de 25%, o erro seria de 5% e, para conteúdos muito elevados (acima de 50 %), os erros podem atingir 10%.

Por conseguinte, a viabilidade da utilização de tubos de acesso em PVC, como alternativa para redução de custos, está condicionada à utilização de curva de calibração, em virtude da subestimativa dos valores de umidade do solo estimados pelo TDR, utilizando a equação padrão do equipamento em relação aos valores de umidade obtidos pelo método gravimétrico, bem como a adoção de uma metodologia para introdução do tubo de acesso de forma a proporcionar um bom contato entre este e o solo. Outro fator a ser considerado, diz respeito ao diâmetro interno do tubo em PVC utilizado, acredita-se que a utilização de tubos com diâmetro interno mais próximo das medidas do tubo padrão do equipamento, ou seja, 42 mm possa melhorar o contato da sonda com o tubo, possibilitando medições mais confiáveis.

CONCLUSÃO

Os valores de umidade do solo obtidos pelo método gravimétrico e os estimados pelo TDR com a utilização de tubos de acesso tanto originais, em TECANAT, como em PVC, permitem concluir que as leituras com o TDR resultaram em subestimativa da umidade do solo.

Os resultados indicam que a viabilidade da utilização do TDR para o monitoramento do conteúdo de água no solo está condicionada à utilização de equações de regressão, entre os valores de umidade estimados pelo TDR e os obtidos pelo método gravimétrico, sendo o modelo linear o que apresentou o melhor ajuste.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, C. A. B., Antonino, A. C. D., Pimentel, R. M. M., Lira, C. A. B. O., Lima, J. R. S. (2012) Influência da densidade na estimativa da umidade volumétrica em um Latossolo Vermelho-Amarelo. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, 5(5):1056-1068.
- Batista, L. S., Coelho, E. F., Pereira, F. A. C., Silva, M. G., Gomes Filho, R. R., Gonçalves, A. A. (2016) Calibração de sonda artesanal de uso com TDR para avaliação de umidade de solos. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, Fortaleza, 10(2):522-532.
- Bernardo, S., Soares, A. A., Mantovani, E. C. (2006) *Manual de Irrigação*. 8. ed. Viçosa: UFV, 625p.

Bizari, D. R., Matsura, E. E., Souza, C. F., Roque, M. W. (2011) Haste portátil para utilização de sondas de TDR em ensaios de campo. *Revista Irriga*, Botucatu, 16(1):31-41.

Braskem.(2018): <
https://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm_tecnico/Tabela_de_Propriedades_de_Referencia_dos_Compostos_de_PVC.pdf > em 11/01/2018.

Camargo, A. P., Sentelhas, P. C. (1997) Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, 5(1):89-97.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2013) *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 3. ed. rev. ampl. Brasília: EMBRAPA, 353p.

Ensinger. (2018): <
http://www.ensinger.com.br/upload/download/pt/arquivo_ODQ114147725150.pdf > em 11/01/2018.

IMKO – IMKO Micromodultechnik GmbH. (2017): <
<https://imko.de/en/products/soilmoisture/soil-moisture-sensors/trimepicoipht3>> em 10/01/2018.

Muñoz-Carpena, R., Shukla, S., Morgan, K. (2015) *Field Devices for Monitoring Soil Water Content*. Gainesville: University of Florida, 24p.

Noborio, K. (2001) Measurement of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry: a review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 31:213-237.

Ramos, A. M., Santos, L. A. R., Fontes, L. T. G. (org.) (2009) *Normais climatológicas do Brasil 1961-1990*. 1. ed. Brasília, DF: INMET, 465p.

- Santos, D. B., Cecílio, R. A., Coelho, E. F., Batista, R. O., Silva, A. J. P. (2012) Calibração de TDR: desempenho de alguns métodos e equações de calibração. *Revista Agrarian*, Dourados, 5(16):131-139.
- Santos, M. R., Zonta, J. H., Martinez, M. A. (2010) Influência do tipo de amostragem na constante dielétrica do solo e na calibração de sondas TDR. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 34(2):299-308.
- Silva, C. R., Souza, C. F., Atarassi, R. T., Ferreira Neto, M., Matsura, E. E., Folegatti, M. V. (2005) Calibração de equipamentos para medida da umidade do solo com sistema eletrônico de aquisição de dados "Data Logger". *Engenharia Rural*, Piracicaba, 16(2):9-13.
- Soil Survey Staff. (2014) *Keys to Soil Taxonomy*. 12. ed. Washington: USDA-NRCS, 360p.
- Souza, J. M., Reis, E. F., Bonomo, R., Pereira, L. R. (2016) Calibração de Sonda TDR em um Latossolo Vermelho Amarelo. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, Fortaleza, 10(6):1049-1055.
- Souza, C. F., Pires, R. C. M., Miranda, D. B., Varallo, A. C. T. (2013) Calibração de sondas FDR e TDR para a estimativa da umidade em dois tipos de solo. *Irriga*, Botucatu, 18(4):597-606.
- Souza, C. F., Matsura, E. E., Folegatti, M. V., Coelho, E. F., Or, D. (2006) Sondas de TDR para a estimativa da umidade e da condutividade elétrica do solo. *Irriga*, Botucatu, 11(1):12-25.
- Tommaselli, J. T. G., Bacchi, O. O. S. (2001) Calibração de um equipamento de TDR para medida de umidade de solos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 36(9):1145-1154.

Willmott, C. J., Ackleson, S. G., Davis, R. E., Feddema, J. J., Klink, K. M., Legates, D. R., O'Donnell, J., Rowe, C. M. (1985) Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, Washington, 90(C5):8995–9005.

AVALIAÇÃO DE DIFERENTES PERÍODOS DE DÉFICIT HÍDRICO NO
PREFLORESCIMENTO DA LARANJEIRA 'FOLHA MURCHA' E A INFLUÊNCIA
NA PRODUÇÃO E NA QUALIDADE DOS FRUTOS

RESUMO

O trabalho foi conduzido em um pomar de citros do Instituto Federal Fluminense, em Bom Jesus do Itabapoana-RJ, no período de junho de 2013 a dezembro de 2017. A cultivar avaliada foi a laranjeira 'Folha Murcha' (*Citrus sinensis* L. Osbeck) enxertada sobre limoeiro 'Cravo' (*Citrus limonia*). Os tratamentos consistiram na submissão das plantas a diferentes períodos de déficit hídrico, no período que antecede a floração da laranjeira. Foram avaliados a produção, o número de frutos, o potencial hídrico foliar, a umidade do solo e as características referentes à qualidade do fruto, como teor de sólidos solúveis totais, acidez total, índice de maturação, peso dos frutos, rendimento em suco e índice tecnológico. Observou-se, baseado nos valores de potencial de água na folha e do conteúdo de água no solo, que, nas condições de realização do experimento, não foram alcançadas as condições de estresse moderado ou severo, responsáveis por um florescimento satisfatório nos citros. Com relação à qualidade dos frutos, os resultados mostraram diferenças significativas entre os tratamentos para peso dos frutos, sólidos solúveis totais, acidez total e índice de

maturação; não foram observadas diferenças significativas com relação ao índice tecnológico.

Palavras-chave: Déficit hídrico, Florescimento, *Citrus sinensis*, Produção, Qualidade do Fruto.

ABSTRACT

The study was conducted in a citrus orchard at Instituto Federal Fluminense, in Bom Jesus do Itabapoana - RJ, in the period between June 2013 and December 2017. The evaluated cultivate was the 'Folha Murcha' orange tree (*Citrus sinensis* L. Osbeck) grafted onto 'Rangpur' lime (*Citrus limonia*). The treatments consisted in the submission of the plants to different periods of hydric deficit, in the period that precedes the flowering of the orange tree. The production, number of fruits, leaf water potential, soil water content and the characteristics regarding the quality of the fruit, such as the content of total soluble solids, total acidity, maturation index, fruit weight, juice yield and technological index were evaluated. It has been observed, based on the leaf water potential and the soil water content, that, in the conditions where the experiment was conducted, neither moderate nor severe stress conditions were met, which are responsible for a satisfactory citrus flowering. Regarding the fruit quality, the results have shown significant differences between the treatments in relation to fruit weight, total soluble solids, total acidity and maturation index, no significant difference regarding the technological index was observed.

Keywords: Water deficit, Flowering, *Citrus sinensis*, Yield, Fruit quality.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de frutas e suco de laranja. O agronegócio da laranja tem grande importância econômica e social, sendo responsável pela geração de mais de 230 mil empregos, diretos e indiretos (MAPA, 2016). Todavia, os atuais desafios impostos pelo mercado, como o excesso de oferta global e consequente pressão sobre os preços, leva a concluir, com base na experiência brasileira e mundial, que as únicas alternativas para a sustentabilidade do setor são: a elevação da produtividade, que leva à redução nos custos; a redução da amplitude inferior, isto é, da importância relativa dos pomares com produtividades abaixo da média; e a melhoria da qualidade do produto (Barros et al., 2017). Diante disso, fica evidente a necessidade da realização de estudos sobre preparo do solo; adensamento do *stand* de plantas; uso de mudas sadias; adubação; controle fitossanitário com utilização de agroquímicos eficientes e de última geração; uso de reguladores vegetais; manejo da parte aérea; manejo de plantas daninhas e da matéria orgânica; e manejo da irrigação, aspectos esses que são fundamentais no aumento da produtividade e da qualidade dos frutos (Grizzoto et al., 2011).

Dentro desse contexto, estudos na área de manejo da irrigação e sua influência no florescimento e, conseqüentemente, na produção e qualidade dos citros, são fundamentais no alcance dos objetivos mencionados.

A irrigação possibilita o aumento da produtividade, em virtude do melhor desenvolvimento das plantas, devido ao menor índice de abortamento de flores e frutos. Dessa forma, a ocorrência de déficit hídrico durante alguns estádios de desenvolvimento torna-se um fator limitante à obtenção de produtividades elevadas (Pires et al., 2005).

Os períodos de brotação, emissão de botões florais e início de desenvolvimento dos frutos são os períodos de maior demanda hídrica, quando o estresse é mais prejudicial à cultura. Nos períodos de maturação, colheita e repouso, o crescimento vegetativo é mínimo e, conseqüentemente, a demanda hídrica é menor, e o estresse é menos prejudicial à cultura (Pires et al., 2005).

O florescimento nos citros está baseado em sistemas de florescimento autônomos e ambientais, chamado resposta facultativa ou quantitativa. Isto significa que a evocação floral está condicionada não só à ocorrência de estímulos internos, mas também a estímulos ambientais, como baixas temperaturas e/ou déficit hídrico (Taiz e Zeiger, 2009).

De acordo com Boman et al. (1999), em regiões tropicais, onde a redução da temperatura no inverno não é suficiente para induzir o florescimento, um curto período de déficit hídrico é essencial para a indução ao repouso e, conseqüentemente, à diferenciação das gemas, que vão resultar em florescimento. Mas, de acordo com Pereira et al. (2009) e Pérez-Pérez et al. (2008), um período de estresse severo pode afetar negativamente a produtividade em muitos aspectos, incluindo redução no crescimento e metabolismo, podendo levar a uma diminuição no rendimento e qualidade dos frutos, com impacto na concentração de sólidos solúveis totais e na acidez total.

Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi avaliar os diferentes períodos de supressão da irrigação no preflorescimento da laranjeira 'Folha Murcha' e a sua influência na produção e qualidade dos frutos.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e características da área experimental

O experimento foi conduzido no Setor de Fruticultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense – *Campus* Bom Jesus do Itabapoana, RJ, latitude 21 °08,3' S, longitude 41 °39,3' O, com uma altitude de 88 m, no período de junho de 2013 a dezembro de 2017.

O clima, de acordo com a classificação de Köppen, é Aw, caracterizado por verões quentes e chuvosos e invernos secos com baixos índices pluviométricos (Ramos et al., 2009).

O solo é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, com textura argilosa no horizonte A e muito argilosa no horizonte B (Moraes et al., 2015), em

topografia ondulada, apresentando inclinação de vinte por cento, com características físico-hídricas apresentadas no Quadro 1.

Os dados climáticos foram obtidos através de uma Estação Meteorológica Digital, modelo MAWS, fabricada pela Vaisala®, instalada no *Campus*.

Quadro 1. Composição granulométrica, densidade das partículas (Dp), densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), macroporosidade (macro) e microporosidade (micro) para os horizontes do Argissolo Vermelho-Amarelo, Bom Jesus do Itabapoana –RJ

Horizonte	Areia ----- (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Argila -----	Dp ---- (mg m ⁻³)	Ds ----	PT ----- (m ³ m ⁻³)	Macro (m ³ m ⁻³)	Micro -----
Ap	421	127	452	2,695	1,470	0,455	0,126	0,328
BA	272	111	617	2,717	1,406	0,482	0,120	0,362
Bt1	247	84	669	2,848	1,337	0,531	0,129	0,402
Bt2	289	84	627	2,841	1,415	0,502	0,104	0,398
Bt3	340	115	545	2,863	1,478	0,484	0,117	0,367
C	499	178	323	2,817	1,589	0,436	0,100	0,336

Material vegetal e práticas culturais

As plantas avaliadas foram laranjeiras ‘Folha Murcha’ (*Citrus sinensis* L. Osbeck), enxertadas sobre o limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus limonia* Osbeck), com cerca de dez anos de idade, espaçadas de 5 m entre linhas de plantio por 5 m entre plantas.

As calagens e as adubações foram determinadas conforme o Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro (Freire et al., 2013), a partir dos dados da análise de solo, levando em consideração a fenologia da planta e previsão de produção. O manejo das ervas daninhas foi realizado através de roçadas, de forma manual, nas entrelinhas, e capina química com o uso do herbicida não seletivo de ação sistêmica de pós-emergência, nas linhas de cultivo.

Baseado nos trabalhos de Auler et al. (2009) e Arruda et al. (2011), foi estabelecido o período de colheita entre os meses de setembro e dezembro.

Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 6 tratamentos e 5 repetições, sendo cada parcela experimental composta por 3 plantas. Os tratamentos consistiram na submissão das plantas a quatro diferentes períodos de supressão da irrigação (T2, T3, T4 e T5), um tratamento com irrigação contínua (T6) e um tratamento sem irrigação (T1), conforme descrito abaixo.

Inicialmente, todos os tratamentos foram mantidos dentro do intervalo de água facilmente disponível para os citros, com exceção ao T1, cuja disponibilidade de água esteve condicionada à ocorrência de precipitações. Posteriormente, para a submissão das plantas aos diferentes períodos de supressão da irrigação, com o objetivo de induzir a floração, a irrigação foi suspensa a partir dos meses de junho, julho, agosto e setembro, nos tratamentos T2, T3, T4 e T5, respectivamente. Nesses tratamentos, a irrigação foi reiniciada no mês de outubro, época de floração da laranjeira 'Folha Murcha' na região Noroeste Fluminense. No T6, foi mantida a irrigação contínua, não sendo submetida ao déficit hídrico.

Manejo da irrigação

A irrigação foi realizada por intermédio de um sistema de irrigação localizada, composto de microaspersores autocompensantes da marca NAANDAN, modelo DAN 2002, equipado com asa giratória tipo "pop-up" (anti-inseto) com limitador de diâmetro para impedir a interferência entre tratamentos e vazão de 28 L h⁻¹.

A evapotranspiração de referência foi calculada indiretamente através do Método de Hargreaves-Samani, baseado no Boletim 56 da FAO (Allen et al., 1998), apresentado na Equação 1.

$$ET_o = 0,0023 \cdot (T_{méd} + 17,8) \cdot (T_{máx} - T_{min})^{0,5} \cdot R_a \cdot 0,408 \quad (1)$$

onde: ET_o = evapotranspiração de referência, mm dia⁻¹; $T_{méd}$ = (temperatura máxima – temperatura mínima) / 2, °C; $T_{máx}$ = temperatura máxima diária, °C; T_{min} = temperatura mínima diária, °C; e R_a = radiação no topo da atmosfera, MJ m⁻² dia⁻¹.

Pela Equação 2, a partir dos dados da evapotranspiração de referência (ET_0), calcula-se a evapotranspiração da cultura.

$$ET_c = ET_0 \cdot K_c \cdot K_r \cdot K_s \quad (2)$$

onde: ET_c = evapotranspiração da cultura, mm dia^{-1} ; ET_0 = evapotranspiração de referência, mm dia^{-1} ; K_c = coeficiente da cultura, adimensional; K_r = fator de redução de molhamento, adimensional; e K_s = coeficiente de umidade do solo, adimensional.

O coeficiente cultural (K_c) igual a 0,7 foi baseado no Boletim 56 da FAO (Allen et al., 1998), que considera a porcentagem de cobertura vegetal (copa) das plantas e controle das ervas daninhas, com roçada nas entrelinhas de plantio e herbicida na linha de plantio. Foi adotado o fator de redução de molhamento (K_r) igual a 0,71, conforme Keller e Bliesner (1990).

O coeficiente de umidade do solo (K_s), estabelecido por Bernardo et al. (2006) com base nos resultados de Pierce, foi calculado pela Equação 3.

$$K_s = \frac{\ln(LAA + 1,0)}{\ln(CTA + 1,0)} \quad (3)$$

onde: K_s = coeficiente de umidade do solo, adimensional; \ln = logaritmo neperiano; CTA = capacidade total de água no solo, mm; e LAA = lâmina atual de água no solo, mm.

Com base nos dados acima, o déficit de água no solo foi calculado pelo balanço de água no solo, através da Equação 4.

$$Def_i = Def_{i-1} + ET_{c_i} - P_i \quad (4)$$

onde: Def_i = déficit de água no solo no dia i , mm; Def_{i-1} = déficit de água no solo no dia $i-1$, mm; ET_{c_i} = evapotranspiração da cultura para o dia i , mm; e P_i = precipitação ocorrida no dia i , mm.

As irrigações foram realizadas com turno de rega fixo de 3 dias, aplicando-se a lâmina de irrigação determinada pelo déficit de água no solo obtido através da Equação 4, sendo que se $Def_i \leq 0$, então $Def_i = 0$ e não se realizava

irrigação. A irrigação total necessária (*ITN*), ou seja, a lâmina de irrigação aplicada, foi obtida através da Equação 5, em virtude da eficiência do sistema de irrigação, definida em 90% para a microaspersão (ANA, 2017).

$$ITN = \frac{Def_i}{\left(\frac{Ea}{100}\right)} \quad (5)$$

onde: *ITN* = irrigação total necessária, mm; *Def_i* = déficit de água no solo no dia *i*, mm; e *Ea* = eficiência do sistema de irrigação, %.

Baseado na lâmina definida na Equação 5, define-se o tempo de irrigação através da Equação 6.

$$T = \frac{ITN \cdot A}{n \cdot q} \quad (6)$$

onde: *T* = tempo de irrigação, h; *ITN* = irrigação total necessária, mm; *A* = área de aplicação de água do microaspersor, m²; *n* = número de emissores por planta; e *q* = vazão do emissor, L h⁻¹.

Avaliação do potencial hídrico foliar (Ψ_{wf})

Para avaliar o potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}), foram selecionadas duas folhas maduras, da parte mediana da planta. Estas folhas estavam isentas de ataque de pragas, sintomas de doenças ou deficiências nutricionais. Em cada avaliação, o potencial hídrico era mensurado em dois intervalos, entre 4 h e 5 h 30 min (antemanhã) e entre 12 h e 13 h 30 min (meio-dia), utilizando-se bomba de Scholander, com as medições expressas em MPa. As avaliações foram realizadas com intervalo semanal, durante o período de déficit hídrico e logo após o reinício das irrigações, nos anos de 2015 e 2016.

Avaliação do conteúdo de água no solo

Para avaliar o conteúdo de água no solo, foi utilizada a técnica da reflectometria no domínio do tempo (TDR), em que foram monitoradas as faixas de profundidade 0-20, 20-40, 40-60 cm. O monitoramento foi realizado através da introdução no solo de um tubo de acesso, na projeção da copa, para a realização

das leituras. Os dias de avaliação foram os mesmos usados para a avaliação do potencial hídrico foliar.

Avaliação do número de frutos, produção e qualidade dos frutos

Foram avaliados a produção, o número e a qualidade dos frutos em função dos diferentes períodos de déficit hídrico nas safras 2013/14, 2014/15, 2015/16 e 2016/17, sendo o período de colheita entre os meses de agosto a dezembro. A determinação da produção, nas colheitas realizadas em cada safra, foi feita através da contagem e a pesagem de todos os frutos colhidos por planta. Para avaliar a qualidade dos frutos foram realizadas amostragens quinzenais durante o período de colheita dos frutos, sendo realizadas análises físico-químicas dos mesmos. As amostras foram coletadas na planta do centro de cada parcela, sendo amostradas de 30 plantas. Em cada parcela foram colhidos, no total, 64 frutos (8 frutos por colheita), da parte externa das plantas, ao acaso, à altura de 1,0 m a 2,0 m do solo. O teor de sólidos solúveis totais (SST), em °Brix foi determinado pela leitura em refratômetro digital e a acidez total (AT) foi determinada por titulação com NaOH a 0,1N (AOAC, 2010), sendo os resultados expressos em porcentagem de ácido cítrico. O índice de maturação ou "ratio" (IM) foi calculado da relação entre o teor de sólidos solúveis totais e da acidez total.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Regime pluviométrico

Considerando os dados pluviométricos do local onde o estudo foi desenvolvido, durante o período compreendido entre janeiro de 2013 a dezembro de 2017, e tomando como base as informações dos Dados da Rede do INMET para a série histórica (Figura 1). Pode-se concluir que o ano de 2013, foi o mais atípico. Foram registradas, nos meses de março, agosto, novembro e dezembro, precipitações bem acima da média histórica. Essas precipitações não tiveram influência na produção e qualidade dos frutos, uma vez que as características do solo e topografia permitiram condições de drenagem, minimizando os efeitos

deletérios do excesso de chuvas. Com relação ao mês de agosto, as precipitações acima da média aumentaram a disponibilidade da água no solo, o que pode ter minimizado as condições de estresse hídrico nos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, neutralizando as esperadas consequências da supressão da irrigação na indução ao florescimento. Durante o ano de 2014, os baixos índices pluviométricos registrados durante os meses de junho, julho e agosto, contribuíram para a diminuição da disponibilidade de água, possibilitando a ocorrência de efetivo déficit hídrico, no tratamento T2, em virtude deste tratamento estar submetido ao maior período de supressão da irrigação. No ano de 2015, o regime pluviométrico foi considerado normal, em comparação com a série histórica. No ano de 2016, foram registradas precipitações abaixo da média nos meses de março, setembro e outubro e acima da média no mês de junho. Similarmente ao verificado em agosto de 2013, as precipitações registradas no mês de junho aumentaram a disponibilidade de água no solo, minimizando os efeitos do estresse hídrico. Os índices pluviométricos abaixo da média, registrados nos meses de março e setembro, influenciaram de forma diferenciada na cultura. No mês de março, quando a demanda hídrica é menor, uma vez que os frutos encontram-se na fase final de desenvolvimento, o déficit hídrico é menos prejudicial à cultura, em comparação com os períodos de elevada demanda hídrica, como nos períodos de brotação, emissão de botões florais e início de desenvolvimento dos frutos, ou seja, até o fruto atingir 2,5 cm de diâmetro (Doorenbos e Kassam, 1979; Pires et al., 2005). Em setembro, com exceção do tratamento 6, os demais tratamentos encontravam-se submetidos ao déficit hídrico e, dessa forma, os baixos índices pluviométricos contribuíram para a diminuição da disponibilidade de água, possibilitando a manutenção do período de repouso, embora o estresse hídrico tenha sido minimizado pelas precipitações no mês de junho.

Durante o ano de 2017, os baixos índices pluviométricos registrados no mês de janeiro não tiveram influência negativa no tratamento sem irrigação complementar (T1), uma vez que, embora abaixo da média histórica, os índices pluviométricos registrados foram suficientes para atender a demanda hídrica da cultura nesta fase de desenvolvimento dos frutos. Nos demais tratamentos, o déficit hídrico não teve influência em virtude da irrigação. Nos meses de setembro e outubro, os baixos índices pluviométricos retardaram o florescimento no

tratamento 1; nos demais tratamentos, o reinício das irrigações no mês de outubro promoveu um florescimento no período normal.

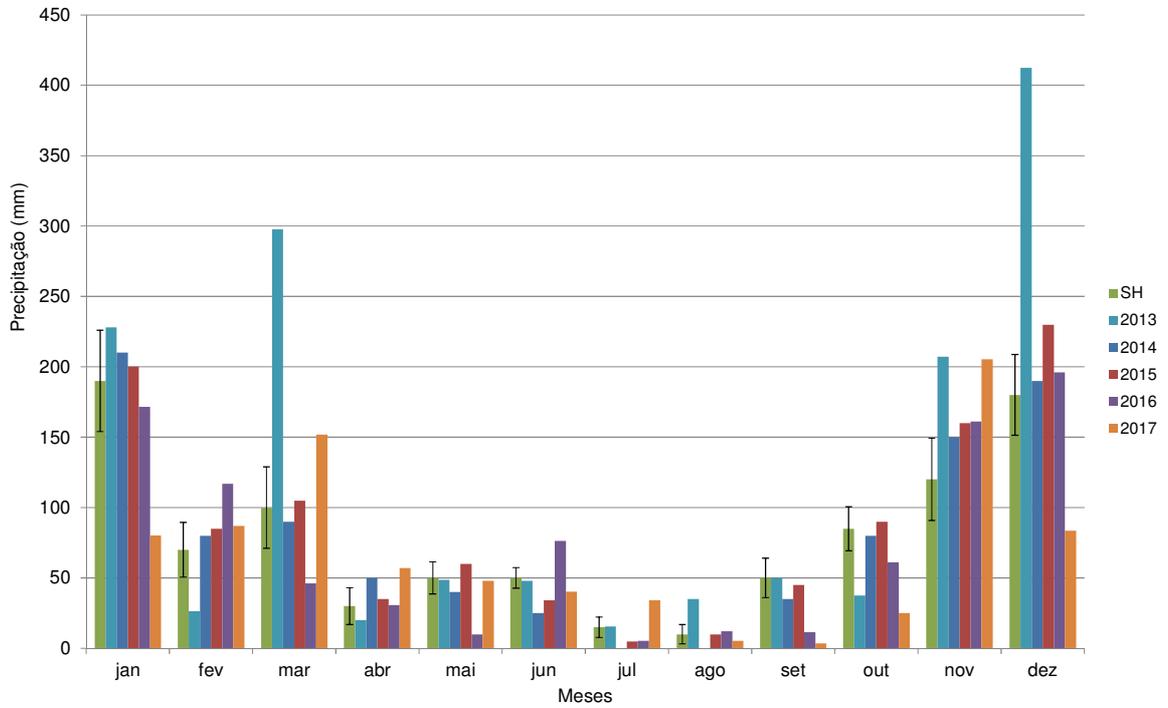


Figura 1. Cotas pluviométricas médias mensais (SH), período de 1969 a 2015 (Dados da Rede do INMET, 2016) e cotas pluviométricas mensais no município de Bom Jesus do Itabapoana, RJ, 2013 a 2017.

Potencial hídrico foliar

Com relação ao potencial hídrico foliar, no ano de 2015, pode-se verificar que este variou entre -0,4 e -1,0 MPa, nas medições feitas antes do nascer do sol (Figura 2A) e entre -1,2 e -2,0 MPa, nas medições realizadas ao meio dia (Figura 2B). Nas medições realizadas antes do nascer do sol, levando em consideração os intervalos de confiança ($p < 0,05$), existe uma tendência à manutenção do potencial hídrico no decorrer do período de avaliação, em todos os tratamentos, o que indica que, embora tenha sido suspensa a irrigação, a ocorrência de precipitações no referido período contribuiu para a manutenção da umidade do solo, justificando este comportamento (Figuras 1 e 4).

Como pode ser observado, no T2 foram alcançados valores de potencial hídrico foliar bem menores que nos demais tratamentos, na avaliação do dia 01/09. Tal comportamento se justifica em virtude da suspensão da irrigação ter

ocorrido primeiro neste tratamento, ou seja, no mês de junho, enquanto que, nos demais tratamentos com supressão da irrigação, a irrigação foi suspensa nos meses de julho, agosto e setembro. A irrigação foi restabelecida, em todos os tratamentos no mês de outubro, exceção ao T1. Todavia, na avaliação subsequente, ocorre um aumento do potencial hídrico em todos os tratamentos, que pode ser atribuído à ocorrência de precipitações no referido período.

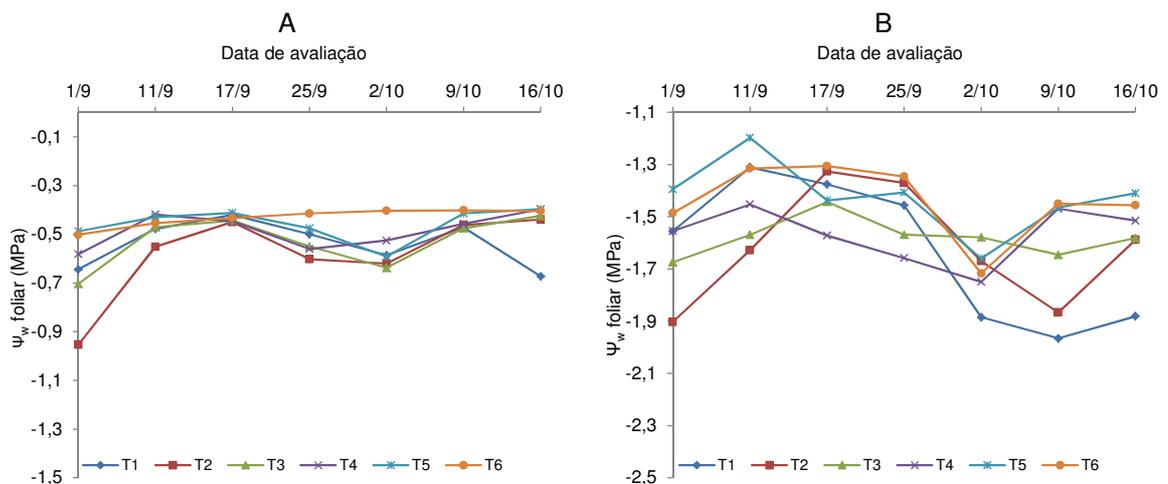


Figura 2. Potencial hídrico foliar (Ψ_w foliar) da laranjeira 'Folha Murcha', nos tratamentos: sem irrigação (T1); supressão da irrigação entre junho e setembro (T2); supressão da irrigação entre julho e setembro (T3); supressão da irrigação entre agosto e setembro (T4); supressão da irrigação no mês de setembro (T5); irrigação contínua (T6); no período antemã (A) e ao meio-dia (B). Durante o período de setembro a outubro de 2015, em Bom Jesus do Itabapoana – RJ.

Na Figura 2B, os maiores valores observados para o potencial hídrico, em relação ao período antemã, indicam a interferência das condições ambientais diurnas (temperatura e umidade relativa do ar). De acordo com Medina et al. (1999), a redução no potencial hídrico foliar ao meio-dia está relacionada com o aumento da taxa de transpiração, devido à alta demanda atmosférica, mesmo quando a umidade do solo está próxima à capacidade de campo, fato este confirmado no T6 (Figura 4).

A

B

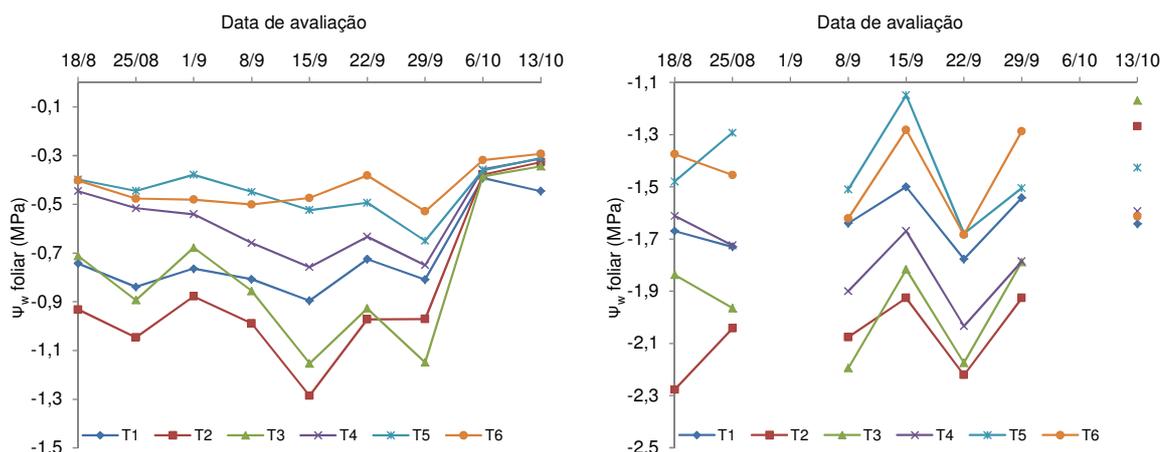


Figura 3. Potencial hídrico foliar (Ψ_w foliar) da laranjeira 'Folha Murcha', nos tratamentos: sem irrigação (T1); supressão da irrigação entre junho e setembro (T2); supressão da irrigação entre julho e setembro (T3); supressão da irrigação entre agosto e setembro (T4); supressão da irrigação no mês de setembro (T5); irrigação contínua (T6); no período antemanhã (A) e ao meio-dia (B). Durante o período de setembro a outubro de 2016, em Bom Jesus do Itabapoana – RJ.

Nas Figuras 3A e 3B, observa-se a variação do potencial hídrico foliar no ano de 2016. Nas medições feitas antes do nascer do sol variou entre -0,3 e -1,2 MPa e entre -1,2 e -2,3 Mpa nas medições realizadas ao meio-dia. Foi verificada uma diminuição do potencial hídrico foliar até o final da primeira quinzena de setembro, principalmente nos tratamentos 1, 2, 3 e 4. A redução, de forma diferenciada, do potencial hídrico em cada tratamento, ocorreu devido à redução das precipitações a partir do mês de junho e à suspensão da irrigação em cada tratamento, exceção ao tratamento 6, cuja irrigação foi mantida. De forma análoga ao verificado no ano de 2015, os menores valores do potencial hídrico foliar também foram alcançados no T2. Também pode ser observada uma elevação no potencial hídrico foliar nos meses de setembro e outubro, que pode ser atribuída à ocorrência de precipitações e ao reinício das irrigações no mês de outubro.

Diversos autores confirmaram a relação entre o estresse e um florescimento satisfatório, com conseqüente impacto na produção. Entre eles, Barbera e Carimi (1988), Campos et al. (2011), Cruz et al. (2006), Gomes et al. (2004) e Southwick e Davenport (1986). Os autores ainda destacaram a importância da submissão das plantas a um adequado nível de estresse hídrico. Segundo os autores, as condições para induzir a floração podem ser

representadas pelas seguintes condições: estresse moderado, de -2,1 a -2,7 MPa; estresse severo, de -2,8 a -4,0 MPa.

Diante do exposto, no período e nas condições de realização do experimento, pode-se concluir que os valores de potencial hídrico foliar, verificados em uma situação de equilíbrio de potencial entre a planta e o solo (antemanhã), no período de realização deste experimento, indicam, de acordo com Phadung et al. (2011), que não foram atingidos níveis de estresse moderado ou severo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Cruz et al. (2007), quando a ocorrência de chuvas durante o período de estresse não permitiu que as condições de estresse moderado ou severo fossem alcançadas. Nas cultivares avaliadas, o menor valor de potencial foi de -1,61 MPa na tangerineira 'Poncã', -0,6 MPa na lima ácida 'Tahiti' e de -1,49 MPa na laranja 'Serra d'Água.

Os resultados obtidos concordam com Vélez et al. (2007), que não observaram diferenças significativas entre os diferentes níveis de estresse hídrico, em cultivo de 'Clementine de Nules', sobre a produção final. Os resultados justificam-se, uma vez que os tratamentos não atingiram valores de potencial de água na folha de -1,3 MPa, valores que não caracterizam condições de estresse moderado ou severo.

Conteúdo de água no solo

Como pode ser observado na Figura 4, de maneira geral, a umidade do solo durante o período avaliado manteve a mesma tendência do potencial hídrico das folhas (Figuras 2 e 3). Os resultados obtidos concordam com os de Phadung et al. (2011), que relataram uma redução no potencial de água na folha relacionado com a variação do teor de água no solo em laranjeira 'Valência'.

A relação entre o potencial hídrico das folhas e a umidade do solo torna-se mais evidente quando analisada em relação à camada mais superficial do solo (0 - 20 cm). Este comportamento pode ser atribuído à distribuição do sistema radicular nos citros. De acordo com Zaccheo et al. (2012), em torno de 75,2% das raízes localizam-se na profundidade de 0 a 20 cm e 24,8% na profundidade de 20 a 60 cm, o que pode justificar as oscilações do potencial de água na folha, verificadas nas avaliações, em virtude das variações mais significativas da umidade do solo na camada mais superficial (0 - 20 cm), variações estas não

observadas, principalmente na profundidade de 40 a 60 cm. Entretanto, em todo o período avaliado, a redução na umidade do solo não foi suficiente para caracterizar uma condição de déficit hídrico, o que pode ser verificado nas Figuras 2 e 3, pelos valores do potencial de água na folha, nas avaliações antes do nascer do sol.

A relação entre o potencial de água na folha e o conteúdo de água no solo pode ser claramente observada nas avaliações realizadas no mês de outubro, ao se analisar as Figuras 2A, 3A e 4. Nestas, pode ser observado que o estado hídrico das plantas é muito rapidamente alterado, após a reidratação, devido ao retorno das irrigações, o que não foi verificado no T1, cuja disponibilidade de água está condicionada à ocorrência de precipitações. Respostas similares foram obtidas por Melgar et al. (2010) e Pérez-Pérez (2008), em que a recuperação do estado hídrico da planta ocorreu em poucos dias após a reidratação.

Por outro lado, na avaliação realizada no dia 22/09/2016, quando foi verificada uma diminuição da disponibilidade de água no solo, em relação à avaliação anterior (Figura 4), foi constatado um aumento no potencial de água na folha (Figura 3A). Uma análise das condições climáticas sugere uma influência da temperatura, uma vez que, no dia que antecedeu a leitura, foi registrada temperatura máxima de 22,4 °C e mínima de 17,1 °C. Esta relação inversa entre a temperatura da folha e o seu potencial hídrico foi constatada por Vieira Júnior et al. (2007).

Nesse sentido, apesar dos estudos indicarem a relação entre o potencial de água na folha e o teor de água no solo, as irrigações não devem ser baseadas somente na umidade do solo, pois nem sempre refletem o estado da água na planta (Shalhevet e Levy, 1990).

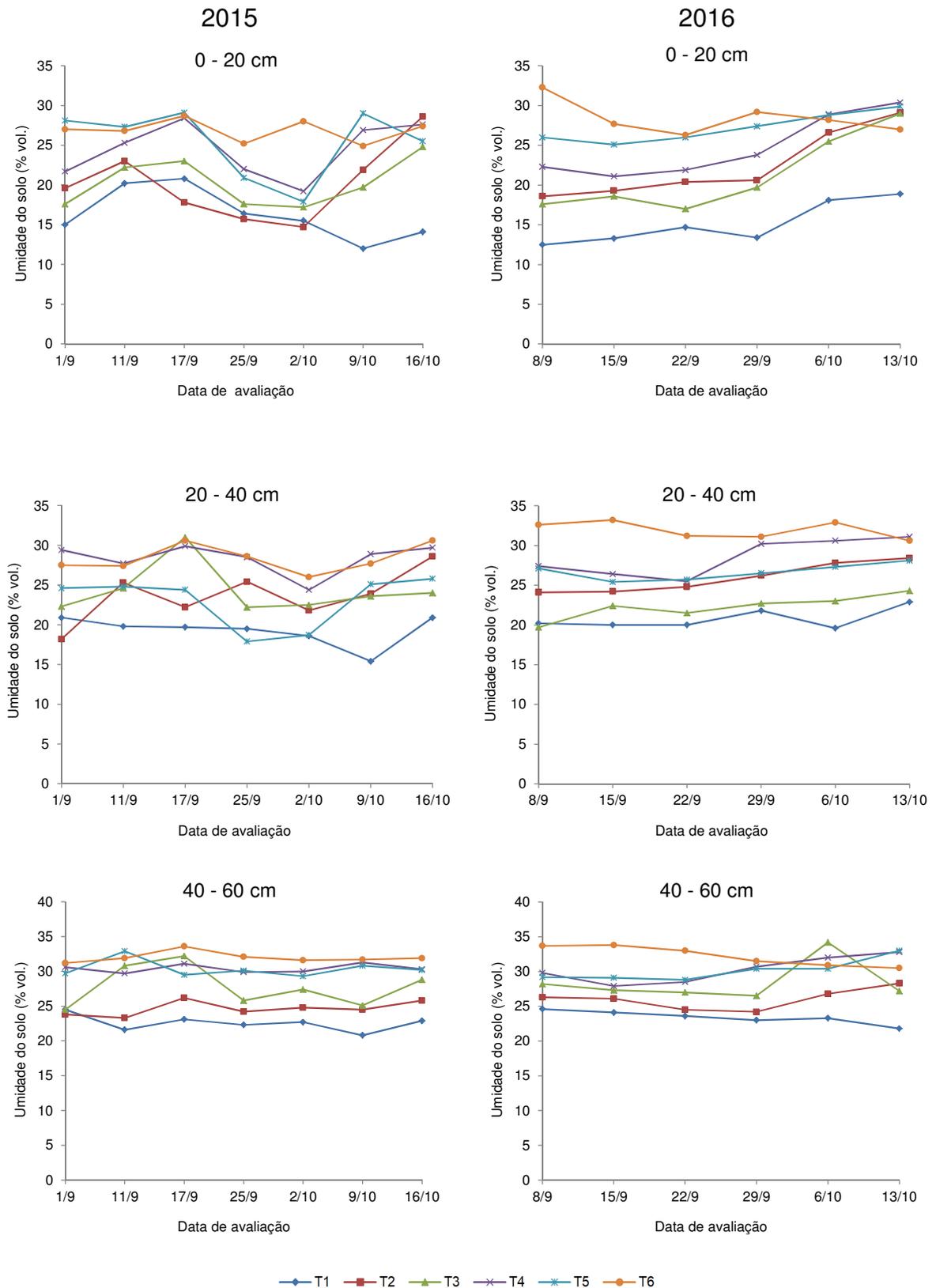


Figura 4. Umidade do solo, nos tratamentos: sem irrigação (T1); supressão da irrigação entre junho e setembro (T2); supressão da irrigação entre julho e setembro (T3); supressão da irrigação entre agosto e setembro (T4); supressão da irrigação no mês de setembro (T5); irrigação contínua (T6); nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, na subcota de plantas de laranja 'Folha Murcha', nos anos de 2015 e 2016, em Bom Jesus do Itabapoana – RJ.

Qualidade do fruto

No Quadro 2 são apresentados os resultados relacionados à qualidade dos frutos durante o período de avaliação. Estes resultados, em termos médios para os quatro anos, mostraram diferenças significativas entre os tratamentos para peso dos frutos (Pf), sólidos solúveis totais (SST), acidez total (AT) e índice de maturação (IM); não foram observadas diferenças significativas com relação ao índice tecnológico (IT).

Quadro 2. Peso dos frutos (Pf), rendimento em suco (S), sólidos solúveis totais (SST), acidez total (AT), índice de maturação (IM) e índice tecnológico (IT), de laranja 'Folha Murcha', nos tratamentos: sem irrigação (T1); supressão da irrigação entre junho e setembro (T2); supressão da irrigação entre julho e setembro (T3); supressão da irrigação entre agosto e setembro (T4); supressão da irrigação no mês de setembro (T5); irrigação contínua (T6); durante o período de 2014 a 2017, em Bom Jesus do Itabapoana – RJ

Tratamento	Pf (g)	S (%)	SST (°Brix)	AT (%)	IM (SST/ATT)	IT kg SST/caixa
T1	0,168 B	56,3 B	13,5 A	0,81 A	19,4 B	3,10 A
T2	0,166 B	56,6 B	13,2 AB	0,81 A	19,0 B	3,04 A
T3	0,176 AB	56,9 B	13,0 BC	0,76 AB	19,6 AB	3,01 A
T4	0,172 AB	58,4 A	12,9 BC	0,75 B	19,7 AB	3,10 A
T5	0,179 AB	59,0 A	12,9 BC	0,71 B	20,9 A	3,11 A
T6	0,183 A	58,9 A	12,7 C	0,71 B	20,2 AB	3,04 A

Médias seguidas com a mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Com relação ao peso dos frutos, os menores valores foram obtidos nos tratamentos T1 e T2. Estes resultados podem estar relacionados ao déficit hídrico, imposto pela supressão da irrigação e pela ausência de chuvas nos primeiros meses de avaliação. O maior valor foi obtido no T6, em virtude da não submissão deste ao déficit hídrico. Nos demais tratamentos, podem ser verificados valores intermediários para o peso dos frutos, que pode ser atribuído a uma maior disponibilidade de água em relação aos tratamentos T1 e T2, todavia inferior ao

T6, uma vez que a irrigação nestes tratamentos também foi suspensa posteriormente. Os resultados obtidos concordam com García-Tejero et al. (2010a); García-Tejero et al. (2010b); Pérez-Pérez et al. (2008) e Bary et al. (2004). Segundo os autores, a disponibilidade de água pode aumentar a turgescência e, conseqüentemente, o tamanho e peso dos frutos; por outro lado, períodos de déficit hídrico afetam negativamente a produtividade das plantas em muitos aspectos, incluindo redução no peso dos frutos.

O teor de sólidos solúveis totais (SST) e acidez total (AT) tiveram comportamentos semelhantes em relação aos tratamentos. Como pode ser verificado, nas plantas submetidas a um período de déficit hídrico mais prolongado, principalmente nos tratamentos 1 e 2, podem-se verificar valores mais elevados; em contrapartida, nas plantas submetidas a períodos mais curtos (T3, T4 e T5), ou nenhum (T6), de período de déficit hídrico pode-se verificar uma redução gradual nos valores. Este comportamento pode ser explicado em virtude da perda da água contida nos frutos, aumentando a concentração de ácidos e SST. Por outro lado, nos tratamentos submetidos a menores períodos de déficit hídrico, o maior tamanho dos frutos, bem como o maior tamanho das células, conduz ao efeito de diluição, ou seja, menores teores de SST e acidez (Bary et al., 2004; Arruda et al., 2011; Benbrook, 2016).

Resultados semelhantes foram obtidos por García-Tejero (2010a), García-Tejero (2010b), García-Tejero (2010a), Pereira et al. (2009) e Pérez-Pérez et al. (2008), tendo sido verificado que os efeitos do estresse hídrico nas propriedades organolépticas ocorreram principalmente nos tratamentos com maiores níveis de estresse, com aumentos significativos nos valores de SST e AT, juntamente com pequenas diminuições nos valores do índice de maturação (IM).

O rendimento em suco (S) também foi influenciado pelos diferentes tratamentos. Com a submissão das plantas ao estresse hídrico, ocorreu uma diminuição da disponibilidade de água no solo e, por conseguinte, uma redução do rendimento em suco. Os resultados diferiram dos de García-Tejero et al. (2010a), com a laranjeira 'Salustiana', quando não foram observadas diferenças significativas no rendimento em suco e no índice de maturação, e dos de Melgar et al. (2010), em experimento realizado na Flórida, quando o rendimento em suco e o índice de maturação não apresentaram diferenças significativas entre os

tratamentos, uma vez que no período de avaliação já havia sido restabelecida a condição hídrica ideal.

Produção

O Quadro 3 mostra o efeito dos diferentes períodos de déficit hídrico no número de frutos e na produção anual e a média dos valores obtidos. Como pode ser verificado, em relação aos valores médios obtidos nas quatro safras avaliadas, o T2 apresentou os melhores resultados, principalmente com relação ao número de frutos. Estes resultados foram influenciados, principalmente, pelos valores da safra 2014/15, que pode ser associado ao nível de estresse hídrico alcançado no período que antecedeu a floração, em virtude dos baixos índices pluviométricos registrados nos meses de junho, julho e agosto de 2014 (Figura 1).

Com relação ao T1, embora submetido a condições de menor disponibilidade de água no solo na profundidade de 0 a 20 cm (Figura 5), os valores registrados para o potencial hídrico foliar foram maiores, quando comparados com os demais tratamentos para valores semelhantes de umidade do solo, indicando uma resposta da planta ao déficit hídrico. De acordo com Taiz e Zeiger (2009), o déficit hídrico acentua o crescimento de raízes, levando a um crescimento preferencial das raízes em direção a zonas do solo que permanecem úmidas. Esta estratégia de resistência à seca pode ser validada, em virtude de o referido tratamento não receber irrigação complementar desde 2012, possibilitando o desenvolvimento de um sistema radicular mais eficiente.

Por outro lado, os menores valores com relação ao número de frutos e, por conseguinte, na produção, observados no T1, indicam, de acordo com Doorenbos e Kassan (1979), que após um período de estresse, é necessário um adequado suprimento de água, para garantir o pegamento das flores e o desenvolvimento dos frutos, o que não ocorre neste tratamento, cuja disponibilidade de água está condicionada à ocorrência de precipitações. Este adequado suprimento de água se justifica em virtude do período crítico dos citros ao déficit hídrico, entre a antese até o final da queda fisiológica dos frutos, quando a demanda hídrica é elevada. Os resultados coincidem com os de Bertonha et al.(1999) e Calzavara (2000), segundo os quais, o número de frutos que permanecem nas árvores é mais importante para a produtividade da laranja que a massa média dos frutos.

Com relação à safra de 2015/16, houve baixa produção em todos os tratamentos avaliados, provavelmente devido à produção elevada nas safras anteriores. Produções excessivas reduzem a disponibilidade de reservas para o ano seguinte, concorrendo para a redução do número de brotações reprodutivas e da produção do ano seguinte (Maia et al., 2010).

Quadro 3. Produção anual de quatro safras (2013/14, 2014/15, 2015/16 e 2016/17) de plantas de laranjeira 'Folha Murcha', nos tratamentos: sem irrigação (T1); supressão da irrigação entre junho e setembro (T2); supressão da irrigação entre julho e setembro (T3); supressão da irrigação entre agosto e setembro (T4); supressão da irrigação no mês de setembro (T5); irrigação contínua (T6). Bom Jesus do Itabapoana – IFF, RJ, 2013 a 2017

Tratamentos	Produção									
	frutos planta ⁻¹					kg planta ⁻¹				
	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	Média	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	Média
T1	352 A	356 B	106 A	258 B	268 B	62,5 A	63,1 B	15,9 A	36,5 A	44,5 B
T2	403 A	617 A	107 A	400 AB	386 A	67,7 A	99,0 A	18,8 A	52,1 A	60,2 A
T3	405 A	409 B	115 A	312 AB	310 AB	70,5 A	74,8 B	20,3 A	42,5 A	52,0 AB
T4	418 A	412 B	118 A	452 A	350 AB	72,7 A	75,9 AB	23,1 A	56,5 A	57,1 A
T5	463 A	439 B	128 A	367 AB	350 AB	83,2 A	83,2 AB	24,0 A	54,7 A	61,3 A
T6	432 A	453 AB	112 A	293 AB	323 AB	76,8 A	80,8 AB	23,1 A	43,6 A	56,1 AB

Valores seguidos pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, em nível de 5% pelo teste de Tukey.

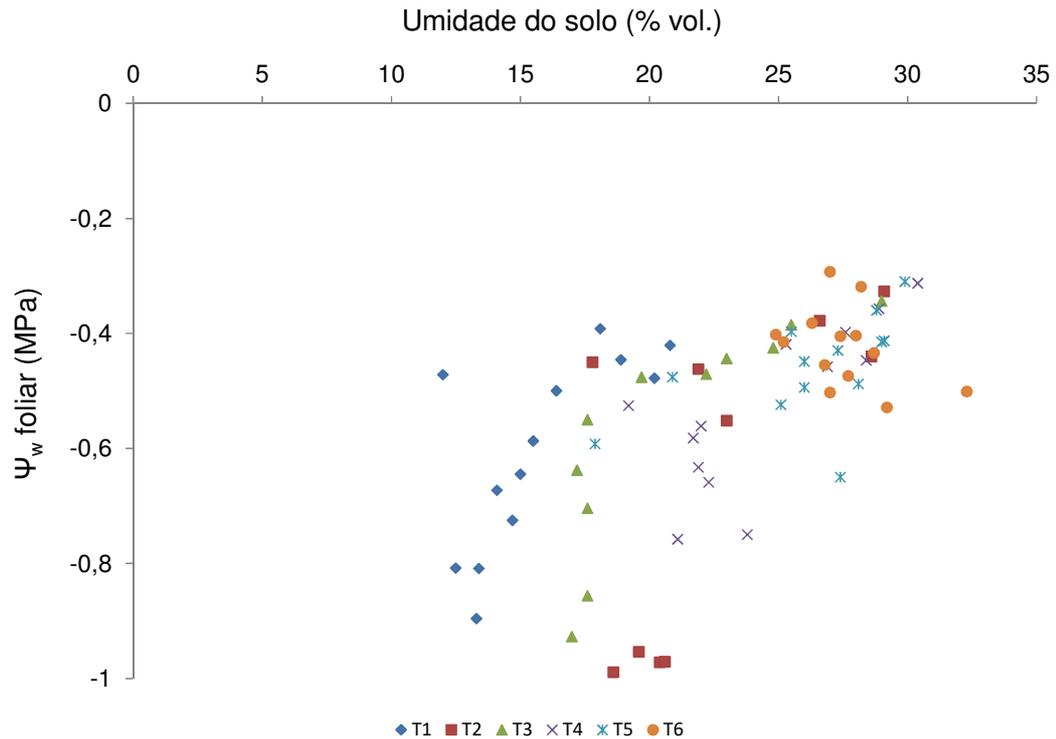


Figura 5. Potencial hídrico foliar (Ψ_w foliar) em relação à umidade do solo (camada 0 – 20 cm) da laranjeira ‘Folha Murcha’, nos tratamentos: sem irrigação (T1); supressão da irrigação entre junho e setembro (T2); supressão da irrigação entre julho e setembro (T3); supressão da irrigação entre agosto e setembro (T4); supressão da irrigação no mês de setembro (T5); irrigação contínua (T6); no município de Bom Jesus do Itabapoana, RJ, nos anos de 2015 e 2016.

CONCLUSÃO

Pode-se concluir que, embora os valores de potencial hídrico foliar, verificados em uma situação de equilíbrio de potencial entre a planta e o solo, indiquem que, nos anos de 2015 e 2016, não foram atingidos níveis de estresse moderado ou severo, os baixos índices pluviométricos, registrados no período de preflorescimento, no ano de 2014, contribuíram para que fossem observados efeitos dos diferentes períodos de déficit hídrico no número de frutos e na

produção da laranjeira 'Folha Murcha'. Com relação à qualidade dos frutos, foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos, sendo que os tratamentos submetidos aos maiores períodos de estresse apresentaram aumentos significativos nos valores de SST e AT, juntamente com a redução no rendimento em suco. A indução ao florescimento e a produção são eventos complexos, que além do estresse hídrico, podem ser moduladas por fatores endógenos que alteram o metabolismo da planta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO – Food and Agricultural Organization, 300 p.
- ANA. Agência Nacional de Águas - Resolução nº 707: Dispõe sobre procedimentos de natureza técnica e administrativa a serem observados no exame de pedidos de outorga, e dá outras providências: <http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2004/707-2004.pdf> em 24/10/2017 página mantida pela ANA.
- Arruda, M. C., Fischer, I. H., Zanette, M. M., Silva, B. L., Santos, C. A. J. P. (2011) Qualidade físico química de frutos de laranja Valência provenientes de cultivos orgânicos e convencional. *Citrus Research & Technology*, Cordeirópolis, 32(2):103-108.
- Auler, P. A. M., Fiori-Tutida, A. C. G., Scholz, M. B. S. (2009) Qualidade industrial e maturação de frutos de laranjeira 'Valência' sobre seis porta-enxertos. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, 31(4):1.158-1.167.
- Barbera, G., Carimi, F. (1988). Effects of Different Levels of Water Stress on Yield and Quality of Lemon Trees:

<http://www.crec.ifas.ufl.edu/academics/classes/HOS6546/materials/Barbara%20and%20Carimi.pdf> em 26/01/2018 página mantida pela Universidade da Flórida.

Barros, J. R. M., Barros, A. L. M, Cypriano, M. P. O Mercado da Citricultura no Brasil e as suas Novas Perspectivas: http://www.citrusbr.com/download/biblioteca/CitrusBR_Livro_Concecitrus_2016.pdf em 31/10/2017 página mantida pelo CitrusBR.

Bary, G. H., Castle, W. S., Davies, F. S. (2004) Soluble Solids Accumulation in 'Valencia' Sweet Orange as Related to Rootstock Selection and Fruit Size. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, Alexandria, 129(4):594-598.

Benbrook, C., Zhao, X., Yáñez, J., Davies, N., Andrews, P. New Evidence Confirms the Nutricional Superiority of Plant-Based Organic Foods: https://organic-center.org/reportfiles/Nutrient_Content_SSR_Executive_Summary_FINAL.pdf em 01/11/2016.

Bernardo, S., Soares, A. A., Mantovani, E. C. (2006) *Manual de Irrigação*. 8. ed. Viçosa: UFV, 625p.

Bertonha, A., Frizzone, J. A., Martins, E. N. (1999) Irrigação e adubação nitrogenada na produção da laranja pêra. *Acta Scientiarum*, Maringá, 21 (3): 537-542.

Boman, B., Levy, Y., Parsons, L. (1999) Water management. *In*: Timmer, L. W., Duncan, L. W. (org.) *Citrus Health Management*. 1. ed. Saint Paul: APS Press - The American Phytopathological Society, p. 72-81.

Calzavara, S. A., Pereira, O. C. N., Bertonha, A., Gonçalves, A. C. A. (2000) Número de frutos de laranja em função da frequência de irrigação complementar. *Acta Scientiarum*, Maringá, 22 (4): 1125-1128.

- Campos, M. K. F., Carvalho, K., Souza, F. S., Marur, C. J., Pereira, L. F. P., Bessalho Filho, J. C., Vieira, L. G. E. (2011) Drought tolerance and antioxidant enzymatic activity in transgenic "Swingle" citrus plants over-accumulating proline. *Environmental and Experimental Botany*, 72:242-250.
- Cruz, M. C. M., Rocha, R. H. C., Siqueira, D. L., Salomão, L. C. C. (2007) Avaliação do potencial hídrico foliar, umidade do solo e temperatura do ar no período pré-florescimento dos citros. *Revista Ciência Agrotécnica*, Lavras, 31(5):1291-1296.
- Cruz, M. C. M., Siqueira, D. L., Salomão, L. C. C., Cecon, P. R. (2006) Florescimento da tangerineira 'Ponkan' e da limeira ácida 'Tahiti' submetidas ao estresse hídrico. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, 28(3):360-364.
- Doorenbos, J., Kassam, A. H. (1979) *Yield response to water*. Rome: FAO - Food and Agricultural Organization, 179p.
- Freire, L. R., Balieiro, F. C., Zonta, E., Anjos, L. H. C., Pereira, M. G., Lima, E., Guerra, J. G. M., Ferreira, M. B. C., Leal, M. A. A., Campos, D. V. B., Polidoro, J. C. (org.) (2013) Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro. Brasília: EMBRAPA; Seropédica: Editora Universidade Rural, 430p.
- García-Tejero, I., Durán-Zuazo, V. H., Jiménez-Bocanegra, J. A., Muriel-Fernández J. L. (2011) Improved water-use efficiency by deficit-irrigation programmes: Implications for saving water in citrus orchards. *Scientia Horticulturae*, 128:274-282.
- García-Tejero, I., Romero-Vicente, R., Jiménez-Bocanegra, J. A., Martínez-García, G., Durán-Zuazo, V. H., Muriel-Fernández J. L. (2010a) Response of citrus trees to deficit irrigation during different phenological periods in relation to yield, fruit quality, and water productivity. *Agricultural Water Management*, 97:689-699.

- García-Tejero, I., Jiménez-Bocanegra, J. A., Martínez, G., Romero, R., Durán-Zuazo, V. H., Muriel-Fernández J. L. (2010b) Positive impact of regulated deficit irrigation on yield and fruit quality in a commercial citrus orchard [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck, cv. salustiano]. *Agricultural Water Management*, 97:614-622.
- Gomes, M. M. A., Lagôa, A. M. M. A., Medina, C. L., Machado, E. C., Machado, M. A. (2004) Interactions between leaf water potential, stomatal conductance and abscisic acid content of orange trees submitted to drought stress. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 16(3):155-161.
- Grizotto, R. K., Silva, J. A. A., Miguel, F. B. (2011) Impacto de novas tecnologias de cultivo na produção e qualidade da laranja (*Citrus sinensis* O.) 'Valência'. *Pesquisa e Tecnologia*, Campinas, 8(2).
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Dados da Rede do INMET: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep> em 25/11/2012 em 10/11/2016 página mantida pelo INMET.
- Keller, J., Bliesner, R. D. (1990) Sprinkle and trickle irrigation. Van Nostrand Reinold, New York, 652p.
- Maia, E., Siqueira, D. L., Cecon, P. R. (2010) Produção, florescimento e frutificação de tangerineira 'Poncã' submetida à aplicação de ácido giberélico. *Ciência Rural*, Santa Maria, 40(3):507-512.
- MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2016) Vegetal. Cultura. Citrus: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/citrus> em 05/08/2016 página mantida pelo MAPA.
- Medina, C. L., Machado, E. C., Gomes, M. M. A. (1999) Condutância estomática, transpiração e fotossíntese em laranjeira 'Valência' sob deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Brasília, 11(1):29-34.

- Melgar, J. C., Dunlop, J. M., Albrigo, L. G., Syvertsen, J. P. (2010) Winter Drought Stress Can Delay Flowering and Avoid Immature Fruit Loss during Late-season Mechanical Harvesting of 'Valencia' Oranges. *HortScience*, Alexandria, 45(2):271-2769.
- Moraes, J. G., Marciano, C. R., Amaral, C. O., Sousa, E. F., Marinho, C. S. (2015) Balanço hídrico e coeficiente de cultura da laranjeira 'Folha Murcha' no Noroeste Fluminense. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, 46(2):241-249.
- Pereira, A. B., Villa Nova, N. A., Alfaro, A. T. (2009) Necessidades hídricas de citros e macieiras a partir da área foliar e da energia solar. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, 31(3):671-679.
- Pires, R. C. M., Luchiari, D. J. F., Arruda, F. B., Mossak, I. (2005) Irrigação. In: Mattos Junior, D., De Negri, J. D., Pio, R. M., Pompeu Junior, J. (org.) *Citros*. 1. ed. Cordeirópolis: Centro APTA Citros Sylvio Moreira, p. 369-408.
- Pérez-Pérez, J. G., Romero, P., Navarro, J. M., Botía, P. (2008) Response of sweet orange cv 'Lane late' to deficit irrigation in two rootstocks. II: Flowering, fruit growth, yield and fruit quality. *Irrigation Science*, Heidelberg, 26:415-425.
- Phadung, T., Krisanapook, K., Phavaphutanon, L. (2011) Paclobutrazol, Water Stress and Nitrogen Induced Flowering in 'Khao Nam Phueng' Pummelo. *Kasetsart J. (Natural Science)*, Bangkok, 45:189-200.
- Ramos, A. M., Santos, L. A. R., Fontes, L. T. G. (org.) (2009) *Normais climatológicas do Brasil 1961-1990*. 1. ed. Brasília, DF: INMET, 465p.
- Shalhevet, J., Levy, Y. (1990) Citrus trees. In: Stewart, B. A., Nielsen, D. R. (org.) *Irrigation of agricultural crops*. 1. ed. Madison: American Society of Agronomy, p. 951-986.

- Southwick, J. M., Davenport, T. L. (1986) Characterization of water stress and low temperature effects on flower induction in citrus. *Plant Physiology*, Rockville, 81:26-29.
- Velez, J. E., Intrigliolo, D. S., Castel, J. R. (2007) Scheduling deficit irrigation of citrus trees with maximum daily trunk shrinkage. *Agricultural Water Management*, 90:197-204.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2009) *Fisiologia Vegetal*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 261p.
- Vieira Junior, P. A., Dourado Neto, D., Oliveira, R. F., Peres, L. E. P., Martin, T. N., Manfron, P. A., Bonnacarrère, R. A. G. (2007) Relações entre o potencial e a temperatura da folha de plantas de milho e sorgo submetidas a estresse hídrico. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, 29(4):555-561.
- Zaccheo, P. V., Neves, C. S. V. J., Stenzel, N. M. C., Okumura, R. S. (2012) Distribuição do sistema radicular de porta-enxertos sob laranjeira 'Folha Murcha' em clima subtropical. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, 33(3):921-930.

RESUMOS E CONCLUSÕES

Nesta tese foram apresentados três trabalhos com o objetivo de avaliar os diferentes períodos de déficit hídrico no preflorescimento da laranjeira 'Folha Murcha' e a influência na produção e na qualidade dos frutos, bem como determinar a curva de maturação da laranja 'Folha Murcha' no Noroeste Fluminense e efetuar a calibração de uma sonda TDR, para determinação do conteúdo de água em um Argissolo Vermelho-Amarelo, para dois tipos de tubos de acesso.

Com relação à curva de maturação da laranja 'Folha Murcha', baseado na análise de variância da regressão, no coeficiente de determinação e na significância dos coeficientes da regressão linear, foram determinadas curvas de regressão para cada variável analisada. Para o teor de sólidos solúveis totais (SST), como houve diferenças significativas, foram determinadas curvas de regressão para cada tratamento, sendo o modelo quadrático o que apresentou o melhor ajuste. O tratamento sem irrigação foi o que apresentou os teores mais elevados de SST, com ponto de máximo estimado de 13,7°Brix, enquanto, no tratamento irrigado o ponto de máximo estimado foi de 13,2°Brix. A acidez total e o índice de maturação (SST/AT), não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, sendo determinada uma única curva de regressão para cada variável, sendo o modelo linear o que apresentou melhor ajuste. De maneira geral, pode ser verificada uma redução da acidez dos frutos durante o período de

avaliação, devido ao aumento da absorção de água pela planta, em virtude da maior disponibilidade no solo, promovendo uma diluição do ácido. O índice de maturação apresentou uma evolução linear com valores crescentes, atribuídos principalmente à redução da acidez total.

O rendimento em suco apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, tornando possível determinar curvas de regressão, sendo o modelo linear o que apresentou melhor ajuste. Foi observada uma tendência de decrescimento nos valores do rendimento em suco em ambos os tratamentos, com valores máximos estimados de 61,08% e 57,37% para os tratamentos irrigado e sem irrigação complementar, respectivamente. Baseado no decrescimento do teor de SST e do rendimento em suco, foi estabelecida como época ideal de colheita o início da segunda quinzena de novembro, quando os frutos apresentam os melhores indicadores de qualidade.

O segundo trabalho, sobre a calibração do TDR, teve como objetivos comparar as umidades volumétricas estimadas pelo equipamento com a utilização de tubos de acesso em TECANAT e em PVC, com as obtidas a partir do método gravimétrico, bem como obter equações de calibração do TDR TRIME-PICO IPH/T3 para um Argissolo Vermelho-Amarelo para os dois tipos de tubos de acesso. Com relação aos valores de umidade volumétrica estimados com a utilização de tubos de acesso em TECANAT, os resultados indicam que, para conteúdos volumétricos de água no solo menores que 35,5%, as medidas resultaram em subestimativa do valor, em comparação com o método padrão. Nesse sentido, foi obtido um modelo linear de ajuste (Equação 1), baseado na ANOVA da regressão e no índice de confiança ou desempenho.

$$\theta = 0,7607\theta_{TDR} + 8,4921 \quad (1)$$

onde: θ = umidade volumétrica do solo, V / V ; θ_{TDR} = umidade volumétrica do solo estimada pelo TDR, em tubos de acesso em TECANAT, V / V .

Para medidas feitas nos tubos em PVC, houve uma subestimativa dos valores de umidade do solo em relação aos valores de umidade obtidos pelo método gravimétrico, em todos os valores de umidade do solo avaliados. Similarmente ao verificado nos tubos de acesso em TECANAT, o modelo linear foi

o que apresentou melhor ajuste (Equação 2). O desempenho do ajuste foi classificado como “bom”, de acordo com o critério de interpretação do desempenho das equações de ajuste.

$$\theta = 2,1295\theta_{TDR} + 3,7408 \quad (2)$$

onde: θ = umidade volumétrica do solo, V / V; θ_{TDR} = umidade volumétrica do solo estimada pelo TDR, em tubos de acesso em PVC, V / V.

Os resultados indicam que, para o TDR modelo TRIME-PICO IPH/T3 com a equação padrão do equipamento (Topp et al., 1980), mesmo com o uso do tubo original do equipamento (TECANAT), a utilização de curva de calibração é necessária, para a obtenção de valores estimados de umidade do solo mais confiáveis. Os resultados também indicam que a viabilidade da utilização de tubos de acesso em PVC está condicionada a utilização de curva de calibração, a adoção de uma metodologia para introdução do tubo de acesso de forma a proporcionar um bom contato entre este e o solo, bem como a utilização de tubos em PVC com diâmetro interno mais próximo das medidas do tubo padrão do equipamento, para melhorar o contato da sonda com o tubo, possibilitando medições mais confiáveis. O terceiro trabalho teve como objetivo avaliar os diferentes períodos de déficit hídrico no preflorescimento da laranjeira ‘Folha Murcha’ e a influência na produção e na qualidade dos frutos. A avaliação dos índices pluviométricos no período de realização do experimento, de janeiro de 2013 a dezembro de 2017, permite inferir algumas conclusões, tomando como base a série histórica. As precipitações acima da média, ocorridas durante o período de preflorescimento dos citros, minimizaram as condições de estresse hídrico, nos anos de 2013 e 2016. Com relação ao ano de 2014, os baixos índices pluviométricos registrados durante os meses de junho, julho e agosto, contribuíram para a diminuição da disponibilidade de água, possibilitando a ocorrência de déficit hídrico, principalmente nos tratamentos submetidos aos maiores períodos de déficit hídrico. No ano de 2015, o regime pluviométrico foi considerado normal, em comparação com a série histórica. No ano de 2017, apesar dos baixos índices pluviométricos registrados no mês de janeiro, estes não

tiveram influência negativa nos tratamentos, em virtude da disponibilidade de água no solo.

O potencial hídrico foliar, nas medições feitas antes do nascer do sol, variou entre -0,4 e -1,0 MPa, no ano de 2015, e entre -0,3 e -1,2 Mpa, no ano de 2016. Estes valores, verificados em uma situação de equilíbrio de potencial entre a planta e o solo, indicam que, no período e nas condições de realização deste experimento, não foram atingidos os níveis de estresse para induzir uma floração satisfatória.

Verificou-se, com relação ao conteúdo de água no solo, que, de maneira geral, a umidade do solo, durante o período avaliado, manteve a mesma tendência do potencial hídrico das folhas. Esta relação fica mais evidente quando analisada a camada mais superficial do solo. Pode-se atribuir esta relação principalmente à distribuição do sistema radicular nos citros. Estima-se que cerca de 75% das raízes localizam-se na profundidade de 0 a 20 cm, o que pode justificar as oscilações do potencial de água na folha, em virtude das oscilações mais significativas da umidade do solo na camada mais superficial. Todavia, este decréscimo no conteúdo de água no solo não foi suficientemente severo para induzir reduções mais significativas no potencial hídrico foliar.

Nas plantas conduzidas sem irrigação, foi verificado um comportamento atípico na relação entre o potencial hídrico foliar e a umidade do solo na camada mais superficial. Nos tratamentos, nos quais as plantas foram submetidas a períodos mais prolongados de déficit hídrico, o potencial hídrico foliar reduz significativamente quando são atingidos valores de umidade do solo próximos a 18%, enquanto, nas plantas conduzidas sem irrigação, o potencial hídrico foliar apresentou valores mais elevados para os mesmos valores de umidade do solo, indicando uma resposta da planta ao déficit hídrico, levando a um crescimento preferencial das raízes em direção a zonas do solo que permanecem úmidas.

Com relação à qualidade dos frutos, os resultados mostraram diferenças significativas entre os tratamentos para peso dos frutos, sólidos solúveis totais, acidez total e índice de maturação; não foram observadas diferenças significativas com relação ao índice tecnológico. Os tratamentos submetidos aos maiores períodos de déficit hídrico apresentaram os menores valores para peso médio dos frutos e rendimento em suco e valores maiores para o teor de sólidos solúveis totais e acidez total.

Dessa forma, pode-se concluir que, em relação aos valores médios obtidos nas quatro safras avaliadas, o tratamento com maior período de déficit hídrico no preflorescimento, apresentou os melhores resultados, principalmente com relação ao número de frutos. Estes resultados foram influenciados, principalmente, pelos valores da safra 2014/15, quando a ocorrência de baixos índices pluviométricos no período de preflorescimento da laranjeira, contribuiu para que fossem alcançadas as condições de estresse ideais para um florescimento satisfatório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agustí, M., Almela, V., Aznar, M., Ruan, M., Eres, V. (1995) *Desarrollo y tamaño final del fruto em los agrios*. Valencia: Generalitat Valenciana, Serie Divulgación Técnica n. 32. 228p.
- Barbera, G., Carimi, F. (1988). Effects of Different Levels of Water Stress on Yield and Quality of Lemon Trees. *Anais do Congresso Internacional de Citros*, 6, Tel Aviv: Balaban Publishers.
- Bary, G. H., Castle, W. S., Davies, F. S. (2004) Soluble Solids Accumulation in 'Valencia' Sweet Orange as Related to Rootstock Selection and Fruit Size. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, Alexandria, 129(4):594-598.
- Bernardo, S., Soares, A. A., Mantovani, E. C. (2006) *Manual de Irrigação*. 8. ed. Viçosa: UFV, 625p.
- Boman, B. J. (1996) Effects of microsprinkler pattern area on Florida grapefruit. *Proc. Intl. Soc. Citriculture*, Riverside, 2:673-677.
- Boteon, M., Neves, E. M. (2005) Citricultura Brasileira: aspectos econômicos. In: Mattos Junior, D., De Negri, J. D., Pio, R. M., Pompeu Junior, J. (org.) *Citros*. 1. ed. Cordeirópolis: Centro APTA Citros Sylvio Moreira, p. 19-36.

- Cantuárias-Avilés, T., Mourão Filho, F. A. A., Stuchi, E. S., Silva, S. R., Espinoza-Núñez, E. (2011) Horticultural performance of 'Folha-Murcha' sweet Orange onto twelve rootstocks. *Scientia Horticulturae*, Bangalore, 129:259-265.
- Castro, P. R. C. (1994) Comportamento dos cítricos sob déficit hídrico. *Laranja*, Cordeirópolis, 15:139-154.
- CEPEA. Centro de Pesquisas Econômicas da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. *PIB do agronegócio brasileiro*: < <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx> > em 13/03/2018 página mantida pela USP.
- Coelho, E. F., Coelho Filho, M. A., Simões, W. L., Coelho, Y. S. (2006) Irrigação em citros nas condições do Nordeste do Brasil. *Laranja*, Cordeirópolis, 27(2):297-320.
- Cruz, M. C. M., Rocha, R. H. C., Siqueira, D. L., Salomão, L. C. C. (2007) Avaliação do potencial hídrico foliar, umidade do solo e temperatura do ar no período pré-florescimento dos citros. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, 31(5):1291-1296.
- Cruz, M. C. M., Siqueira, D. L., Salomão, L. C. C., Cecon, P. R. (2006) Florescimento da tangerineira 'Ponkan' e da limeira ácida 'Tahiti' submetidas ao estresse hídrico. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, 28(3):360-364.
- Donadio, L. C., Figueiredo, J. O., Pio, R. M. (1995) *Variedades cítricas brasileiras*. Jaboticabal: FUNEP, 228p.
- Doorenbos, J., Kassam, A. H. (1979) *Yield response to water*. Rome: FAO - Food and Agricultural Organization, 179p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *'Folha Murcha': laranja tipo Valência de maturação extremamente tardia e totalmente tolerante*

ao cancro cítrico: < <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/746757/1/FOLHAMURCHA.pdf> > em 05/11/2016 página mantida pela EMBRAPA.

Espinoza-Núñez, E. Mourão Filho, F. A. A., Stuchi, E. S., Cantuárias-Avilés, T., Dias, C. T. S. (2011) Performance of 'Tahiti' lime on twelve rootstocks under irrigated and non irrigated conditions. *Scientia Horticulturae*, 129:227-231.

Fellner-Feldegg, J. (1969) Measurement of dielectrics in the time domain. *The Journal of Physical Chemistry*, Washington, 73(3):616-623.

García-Tejero, I., Jiménez-Bocanegra, J. A., Martínez, G., Romero, R., Durán-Zuazo, V. H., Muriel-Fernández, J. L. (2010) Positive impact of regulated deficit irrigation on yield and fruit quality in a commercial citrus orchard [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck, cv. salustiano]. *Agricultural Water Management*, 97:614-622.

Gomes, M. M. A., Lagôa, A. M. M. A., Medina, C. L., Machado, E. C., Machado, M. A. (2004) Interactions between leaf water potential, stomatal conductance and abscisic acid content of orange trees submitted to drought stress. *Braz. J. Plant Physiology*, Rockville, 16(3):155-161.

Hoekstra, P., Delaney, A. (1974) Dielectric properties of soils at UHF and microwave frequencies. *Journal of Geophysical Research*, Hanover, 79(11):1699-1708.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2015) *Produção Agrícola Municipal: culturas temporárias e permanentes*. Rio de Janeiro: IBGE, v.42, 57p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Levantamento Sistemático da Produção agrícola*: < <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil> > em 28/01/2018a página mantida pelo IBGE.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Levantamento Sistemático da Produção agrícola*: < <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/rio-de-janeiro> > em 28/01/2018b página mantida pelo IBGE.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Levantamento Sistemático da Produção agrícola*: < <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/sao-paulo> > em 28/01/2018c página mantida pelo IBGE.

Katerji, N., Hallaire, M. (1984) Les grandeurs de référence utilisables dans l'étude de l'alimentation en eau des cultures. *Agronomie*, Paris, 4(10):999-1008.

Larcher, W. (2004) *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: Rima, 531p.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Vegetal. Cultura. Citrus*: < <https://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/citrus> > em 05/08/2016 página mantida pelo MAPA.

Marin, F. R., Angelocci, L. R., Pereira, A. R., Villa Nova, N. A., Sentelhas, P. C. (2002) Balanço de energia e consumo hídrico em pomar de lima-ácida 'Tahiti'. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, 17(2):219-228.

Mataa, M., Tominaga, S., Kozaki, I. (1998) The effect of time of girdling on carbohydrate contents and fruiting on Ponkan mandarim (*Citrus reticulata* Blanco). *Scientia Horticulturae*, Bangalore, 73:203-211.

Mattos Junior, D., De Negri, J. D., Figueiredo, J. O., Pompeu Junior, J. *Citros: principais informações e recomendações de cultivo*: < http://www.iac.sp.gov.br/imagem_informacoestecnologicas/43.pdf > em 31/07/2017 página mantida pelo IAC.

Medina, C. L., Rena, A. B., Siqueira, D. L., Machado, E. C. (2005) Fisiologia dos citros. In: Mattos Junior, D., De Negri, J. D., Pio, R. M., Pompeu Junior, J. (org.) *Citros*. 1. ed. Cordeirópolis: Centro APTA Citros Sylvio Moreira, p. 147-195.

- Melgar, J. C., Dunlop, J. M., Albrigo, L. G., Syvertsen, J. P. (2010) Winter Drought Stress Can Delay Flowering and Avoid Immature Fruit Loss during Late-season Mechanical Harvesting of 'Valencia' Oranges. *HortScience*, Alexandria, 45(2):271-2769.
- Milani, D. I. C., Tavares, M. H. F., Scherpinski, C. (2008) Calibração de sondas TDR em condições de laboratório. *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, 1(3):68-75.
- Morgan, K. T., Zotarelli, L., Dukes, M. D. (2010) Use of Irrigation Technologies for Citrus Trees in Florida. *HortTechnology*, Alexandria, 20(1):74-81.
- Neves, M. F., Trombin, V. G., Milan, P., Lopes, F. F., Cressoni, F., Kalaki, R. *O retrato da citricultura brasileira:* < https://www.citrusbr.com.br/download/Retrato_Citricultura_Brasileir_Marcos_Fava.pdf > em 06/09/2017 página mantida pelo CITRUSBR.
- Neves, M. F., Jank, M. S. (org.) (2006) *Perspectivas da Cadeia Produtiva da Laranja no Brasil: A Agenda 2015*. São Paulo, 89p.
- Noborio, K. (2001) Measurement of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry: a review. *Computers and Electronics in Agriculture*, Ames, 31:213-237.
- Paiva, L. V., Carvalho, S. A., Souza, M. (1993) Limpeza clonal da laranja 'Seleta Folha Murcha' através da microenxertia *in vitro*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 28(11):1.341-1.344.
- Pérez-Pérez, J. G., Romero, P., Navarro, J. M., Botía, P. (2008) Response of sweet orange cv 'Lane late' to deficit irrigation in two rootstocks. II: Flowering, fruit growth, yield and fruit quality. *Irrigation Science*, Heidelberg, 26:415-425.

- Phadung, T., Krisanapook, K., Phavaphutanon, L. (2011) Paclobutazol, water stress and nitrogen induced flowering in 'Khao Nam Pheng' Pummelo. *Kasetsart J. (Nat, Sci.)*, Bangkok, 45:189-200.
- Pio, R. M., Figueiredo, J. O., Stuchi, E. S., Cardoso, S. A. B. (2005) Variedades copas. *In: Mattos Junior, D., De Negri, J. D., Pio, R. M., Pompeu Junior, J. (org) Citros*. 1. ed. Cordeirópolis: Centro APTA Citros Sylvio Moreira, p.63-94.
- Pires, R. C. M., Luchiari, D. J. F., Arruda, F. B., Mossak, I. (2005) Irrigação. *In: Mattos Junior, D., De Negri, J. D., Pio, R. M., Pompeu Junior, J. (org.) Citros*. 1. ed. Cordeirópolis: Centro APTA Citros Sylvio Moreira, p. 369-408.
- Reuther, W. (1973) Climate and citrus behavior. *In: Reuther, W. (org.) The citrus industry*. 1. ed. Riverside Berkeley: University of California Press, p. 280-337.
- Reuther, W. (1977) Citrus. *In: Alvim, P. T., Kozlowski, T. T. (org.) Ecophysiology of tropical crops*. 1. ed. New York: Academic Press, p. 409-439.
- Santos, M. R., Zonta, J. H., Martinez, M. A. (2010) Influência do tipo de amostragem na constante dielétrica do solo e na calibração de sondas de TDR. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 34(2):299-308.
- Scholander, P. F., Hammel, H. T., Bradstreet, E. D., Hemmingsen, E. A. (1965) Sap pressure in vascular plant. *Science*, 148(3668):339-346.
- Shalhevet, J., Levy, Y. (1990) Citrus trees. *In: Stewart, B. A., Nielsen, D. R. (org.) Irrigation of agricultural crops*. 1. ed. Madison: American Society of Agronomy, p. 951-986.
- Silva, G. O., Fernandes, E. J., Laurindo, V. T. (2009) Resposta da laranja Valência a diferentes níveis de água e sistemas de irrigação localizada. *Laranja*, Cordeirópolis, 30(1-2):105-116.

- Silva, C. R., Alves Junior, J., Silva, T. J. A., Folegatti, M. V., Santos, R. A., Souza, L. B. (2006) Déficit hídrico em citros: informações para o manejo da irrigação. *Laranja*, Cordeirópolis, 27(1):119-130.
- Silva, C. R., Souza, C. F., Atarassi, R. T., Ferreira Neto, M., Matsura, E. E., Folegatti, M. V. (2005) Calibração de equipamentos para medida da umidade do solo com sistema eletrônico de aquisição de dados "Data Logger". *Engenharia Rural*, Piracicaba, 16(2):9-13.
- Simão, A. H., Mantovani, E. C., Simão, F. R. *Irrigação e fertirrigação na cultura da mangueira:* <
http://www.nutricaoodeplantas.agr.br/site/ensino/pos/Palestras_William/Livromanga_pdf/08_irrigacao.pdf > em 06/09/2017 página mantida pelo Grupo de Estudos em Nutrição de Plantas da UNESP.
- Southwich, S. M., Davenport, T. L. (1986) Characterization of water stress and low temperature effects on flower induction in citrus. *Plant Physiology*, Rockville, 81: 26-29.
- Souza, C. F., Pires, R. C. M., Miranda, D. B., Varallo, A. C. T. (2013) Calibração de sondas FDR e TDR para a estimativa da umidade em dois tipos de solo. *Irriga*, Botucatu, 18(04):597-606.
- Souza, P. M., Ponciano, N. J., Mata, H. T. C., Brito, M. N., Golinski, J. (2009) Padrão de desenvolvimento tecnológico dos municípios das Regiões Norte e Noroeste do Rio de Janeiro. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Piracicaba, 47(04):945-969.
- Souza, C. F., Matsura, E. E., Folegatti, M. V., Coelho, E. F., Or, D. (2006) Sondas de TDR para a estimativa da umidade e da condutividade elétrica do solo. *Irriga*, Botucatu, 11(01):12-25.
- Stuchi, E. S., Donadio, L. C. (1999) Experiência bem sucedida com Lue Gim Gong em Bebedouro. *Citricultura Atual*, Cordeirópolis, 16:18-19.

- Taiz, L., Zeiger, E. (2009) *Fisiologia Vegetal*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 261p.
- Tommaselli, J. T. G., Bacchi, O. O. S. (2001) Calibração de um equipamento de TDR para medida de umidade de solos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 36(9):1145-1154.
- Topp, G. C., Davis, J. L., Annan, A. P. (1980) Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. *Water Resources Research*, Washington, 16(03):574-582.
- Vélez, J. E., Intrigliolo, D. S., Castel, J. R. (2007) Scheduling deficit irrigation of citrus trees with maximum daily trunk shrinkage. *Agricultural Water Management*, 90:197-204.
- Villwock, R., Tavares, M. H. F., Vilas Boas, M. A. (2004) Calibração de um equipamento TDR em condições de campo. *Irriga*, Botucatu, 9(1):82-88.
- Zanini, J. R., Pavani, L. C. (1998) Irrigação em citros. *Anais do Seminário Internacional Citros*, 5, Campinas: Fundação Cargill, p.409-422.