

BALANÇO HÍDRICO E COEFICIENTE DE CULTURA EM  
ARGISSOLO VERMELHO AMARELO CULTIVADO COM A  
LARANJEIRA 'FOLHA MURCHA' NO NOROESTE FLUMINENSE

**JEAN GOMES DE MORAES**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY  
RIBEIRO - UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ  
MAIO – 2013

BALANÇO HÍDRICO E COEFICIENTE DE CULTURA EM  
ARGISSOLO VERMELHO AMARELO CULTIVADO COM A  
LARANJEIRA 'FOLHA MURCHA' NO NOROESTE FLUMINENSE

**JEAN GOMES DE MORAES**

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

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Roberto Marciano

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ  
MAIO – 2013

BALANÇO HÍDRICO E COEFICIENTE DE CULTURA EM  
ARGISSOLO VERMELHO AMARELO CULTIVADO COM A  
LARANJEIRA 'FOLHA MURCHA' NO NOROESTE FLUMINENSE

**JEAN GOMES DE MORAES**

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

Aprovada em 14 de Maio de 2013

Comissão Examinadora:

---

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

---

Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cláudia Sales Marinho (D.Sc., Fruticultura Subtropical) - UENF

---

Prof. Dr. Renato Ribeiro Passos (D.Sc., Solos e Nutrição de Plantas) - UFES

---

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

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tantas graças, pela oportunidade de estudo, pelas conquistas e pela finalização de mais uma etapa em minha vida.

À minha família, pelo trabalho sem medida e esforço sem tamanho, pelo amor, educação e por sempre acreditarem em mim.

À minha namorada, Leila Alves Vargas, pelo incentivo de cada dia, por estar ao meu lado nos momentos bons e difíceis, me apoiando sempre em tudo que faço.

Aos amigos que fiz e que sempre me motivaram a nunca desistir.

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

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Fluminense, pela oportunidade de realização do trabalho.

Por fim, agradeço ao meu orientador, Professor Dr. Cláudio Roberto Marciano, pela amizade, oportunidade, paciência e por todo conhecimento concedido.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1 Taxonomia e morfologia da laranjeira ‘Folha Murcha’ .....	3
2.2 Importância econômica .....	5
2.3 Relações hídricas .....	6
2.4 Irrigação localizada .....	8
2.5 Balanço hídrico do solo .....	10
2.6 Coeficiente de cultura (Kc) e fator de disponibilidade de água no solo (Ks) .....	12
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	14
3.1 Descrição da área, das plantas e do manejo .....	14
3.2 Caracterização morfológica e física do solo .....	15
3.3 Delineamento experimental e tratamentos .....	16
3.4 Obtenção dos componentes do balanço hídrico .....	17
3.5 Coletas de solo para obtenção da umidade volumétrica .....	20
3.6 Instalação e leitura dos tensiômetros .....	21
3.7 Determinação da evapotranspiração da cultura (ETc), do coeficiente de cultura (Kc) e do fator de disponibilidade de água no solo (Ks) .....	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	24
4.1 Caracterização do solo .....	24
4.2 Demanda evapotranspirométrica climatológica .....	27

4.3 Componentes do balanço hídrico .....	28
4.3.1 Tratamento sem irrigação .....	28
4.3.2 Tratamento com irrigação .....	39
5 RESUMO E CONCLUSÕES .....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	57

## RESUMO

MORAES, Jean Gomes; Engº Agrônomo, M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Maio de 2013; BALANÇO HÍDRICO E COEFICIENTE DE CULTURA EM ARGISSOLO VERMELHO AMARELO CULTIVADO COM A LARANJEIRA 'FOLHA MURCHA' NO NOROESTE FLUMINENSE. Orientador: Prof. Dr. Cláudio Roberto Marciano.

A citricultura brasileira vem sendo explorada em uma diversidade de solos e climas em várias regiões do país, estando seu principal eixo de desenvolvimento localizado no Sudeste. A maior parte dos pomares, entretanto, tem baixa produtividade em razão de diversos fatores, sendo um deles a deficiência hídrica. O presente trabalho teve como objetivo avaliar os componentes do balanço hídrico do solo em um Argissolo Vermelho Amarelo do Noroeste Fluminense sob diferentes condições de suplementação de água. Objetivou-se ainda, determinar o coeficiente de cultura ( $K_c$ ) a partir da relação entre a evapotranspiração estimada via solo e a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Hargreaves-Samani. O trabalho foi conduzido em área cultivada com a laranja 'FOLHA MURCHA' no município de Bom Jesus do Itabapoana – RJ. Os tratamentos consistiram de 4 níveis de fornecimento de água, sendo T1 sem irrigação e T2, T3 e T4 baseados na evapotranspiração potencial da cultura, com T2 = 64%, T3 = 100% e T4 = 173% da  $ET_p$ . De acordo com os resultados obtidos, o consumo médio de água pela planta para todo o período foi de 2,35, 2,83, 2,96 e 3,07  $\text{mm dia}^{-1}$  para os tratamentos T1, T2, T3 e T4 respectivamente. Em períodos onde não ocorreram restrição hídrica, o consumo médio foi de

2,99 mm dia<sup>-1</sup> para T1, resultando em um Kc de 0,85. Os valores médios de Ks foram de 0,87, 0,91 e 0,94, para os tratamentos T2, T3 e T4, respectivamente, indicando que a irrigação por microaspersão não promoveu a plena disponibilidade hídrica em todo o volume de solo cultivado.

## ABSTRACT

MORAES, Jean Gomes; Agronomist, M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2013. May. WATER BALANCE AND CROP COEFFICIENT IN A UDULT SOIL CULTIVATED WITH ORANGE 'FOLHA MURCHA' IN NORTHWEST FLUMINENSE. Advisor: Prof. Dr. Cláudio Roberto Marciano.

The Brazilian citrus industry has been explored in a variety of soils and climates in various regions of the country, with its main axis of development located in the Southeast. Most orchards, however, has low productivity due to several factors, one being the water deficiency. This study aimed to evaluate the components of soil water balance in a udult soil Northwest Fluminense under different conditions of supplemental water. It also aimed to determine the crop coefficient ( $K_c$ ) from the relationship between the reference evapotranspiration estimated by soil and evapotranspiration estimated by the Hargreaves-Samani. The work was conducted in the area cultivated with orange 'FOLHA MURCHA' in Bom Jesus do Itabapoana - RJ. The treatments consisted of four levels of water supply, being T1 without irrigation and T2, T3 and T4 based on potential evapotranspiration ( $ET_p$ ) of the crop, with T2 = 64%, T3 and T4 = 100% = 173% of  $ET_p$ . According to the results, the average consumption of water by the plant for the entire period was 2.35, 2.83, 2.96 and 3.07 mm day<sup>-1</sup> for T1, T2, T3 and T4 respectively. In periods where there were no water restriction, the average consumption was 2.99 mm day<sup>-1</sup> for T1, resulting in a  $K_c$  of 0.85. The average values of  $K_s$  were 0.87, 0.91 and 0.94 for treatments T2, T3 and T4, respectively, indicating that the micro sprinkler

irrigation did not provide the full water availability throughout the volume of cultivated soil.

## 1 INTRODUÇÃO

A citricultura brasileira vem sendo explorada em uma diversidade de solos e climas em várias regiões do país, sendo o Sudeste seu principal eixo de desenvolvimento. O suporte científico permitiu que a cultura se expandisse para regiões com condições edafoclimáticas diferentes daquelas do centro de origem, desde regiões quentes, como o Nordeste, até regiões de inverno rigoroso, como o Sul do Brasil. Outro fator que contribuiu para essa dispersão geográfica é a potencialidade que os citros têm de promover o crescimento do agronegócio, seja para atender o grande mercado interno, seja como produto de exportação.

A maior parte dos pomares brasileiros, entretanto, apresenta baixas produtividades em razão da combinação de diversos fatores, entre eles está a deficiência hídrica, pois em grande parte do país o volume anual de chuvas é insuficiente para atender às necessidades das plantas cítricas. Além disso, a distribuição irregular das chuvas proporciona a ocorrência de extensos períodos de déficit de água no solo, podendo ocasionar quebra de produção. Embora a utilização de cultivares mais tolerantes possa amenizar esse problema, sua superação passa, obrigatoriamente, pela suplementação de água por meio da irrigação.

No Estado do Rio de Janeiro, as condições de clima e solo na Região Noroeste são favoráveis à citricultura. A exceção é o volume e a distribuição das chuvas durante o ano, que tendem a se concentrar nos meses de novembro a março, ocorrendo períodos de seca nos meses de abril a setembro. Assim, no

que se refere ao atendimento da demanda hídrica da cultura, há que se realizarem estudos que permitam melhorar o aproveitamento das reservas de água no solo e planejar adequadamente a suplementação hídrica por meio da irrigação.

Para o bom desenvolvimento vegetal, tanto de plantas cítricas como em geral, é essencial que o solo propicie um ambiente adequado ao pleno crescimento do sistema radicular, permitindo o atendimento da demanda de água e nutrientes. A resistência mecânica à penetração das raízes aumenta com a compactação do solo, mas também com a diminuição da umidade, o que dificulta o crescimento radicular e o desempenho da cultura. Portanto, o emprego da irrigação pode contribuir não só para atender as necessidades hídricas da cultura, mas também para reduzir a resistência do solo e melhorar a distribuição das raízes no perfil do solo.

No Noroeste Fluminense, a laranjeira 'Folha Murcha' tem sido utilizada como opção, principalmente por sua boa produtividade, maturação tardia e durabilidade do fruto na planta (após a maturação, pode permanecer por dois ou mais meses). A presença de folhas enroladas ou retorcidas ocorre independentemente da condição hídrica do solo, parecendo não ser uma estratégia para redução da evapotranspiração em momentos de estresse. De qualquer modo, como tal característica implica na redução da área transpiratória da planta, reforça-se a necessidade de estudos com o objetivo de conhecer sua demanda hídrica e eficiência do uso da água.

Pelo exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os componentes do balanço hídrico em um Argissolo Vermelho Amarelo do Noroeste Fluminense sob diferentes condições de suplementação de água. Objetivou-se ainda, determinar o coeficiente de cultura ( $K_c$ ) a partir da relação entre a evapotranspiração estimada via solo e a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Hargreaves-Samani.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Taxonomia e morfologia da laranjeira 'Folha Murcha'

O gênero *Citrus* é o mais importante da Família Rutaceae, existindo numerosas espécies cultivadas, como *Citrus sinensis* (laranja doce), *Citrus reticulata* (tangerinas), *Citrus limon* (limões), *Citrus latifolia* e *Citrus aurantifolia* (limas), *Citrus medica* (cidras), *Citrus paradisi* (pomelos), entre outras. As plantas cítricas são originárias de regiões úmidas tropicais e subtropicais do continente asiático e foram introduzidas no Brasil pelos colonizadores, provavelmente no estado da Bahia (Figueiredo, 1999).

A laranjeira 'Folha Murcha' é uma cultivar que originou-se por mutação espontânea, muito provavelmente da 'Valência', 'Pêra', 'Natal' ou 'Seleta', tendo sido selecionada em Araruama - RJ. A 'Folha Murcha' é amplamente cultivada nos estados do Rio de Janeiro, Paraná e Santa Catarina, sendo uma importante opção também, para os produtores do Rio Grande do Sul. Trata-se de uma cultivar tipicamente brasileira (Araújo e Vasconcellos, 1974).

A planta tem vigor moderado, com copa de tamanho médio a grande, menor do que a da 'Valência'. As folhas são de tamanho médio, com coloração verde escura; apresentando-se permanentemente enroladas ou retorcidas, particularidade relacionada ao nome da cultivar, dando a impressão de indícios de falta de água (Leite Júnior, 1992; Salibe, 1987).

Os frutos são de tamanho grande, em geral maior do que os da 'Valência',

com peso médio de 220 g e formato arredondado, levemente achatado; o ápice dos frutos é côncavo e a base convexa; a casca é de textura fina, levemente rugosa, com coloração laranja; a polpa é tenra, alaranjada, com eixo central compacto, possuindo grande quantidade de suco; o sabor é agradável; o número de sementes por fruto é pequeno (2 a 6), sendo comercialmente considerada uma cultivar praticamente sem sementes. Os frutos têm excelente qualidade para consumo *in natura* e para a produção de suco, podendo ser produzidos no verão, quando há pouca oferta de outras laranjas. Por ser de maturação bastante tardia, a 'Folha Murcha' é uma alternativa para manter as indústrias de suco trabalhando por um grande período do ano e podendo ser mantida nas árvores por cerca de dois meses após a completa maturação. Além disso, quando colhidos, estes podem ser conservados por mais de um mês, sob condições controladas de refrigeração (Embrapa, 2008).

Medições realizadas em folhas adultas mostraram comprimento de 9,08 cm e largura de 5,59 cm; como também pecíolo pouco alado, com comprimento de 1,75 cm e largura de 0,51 cm. A folha, pela sua aparência enrolada, parece ter apenas 2 cm de largura (Donadio et al., 1995), sendo esta a característica botânica de maior destaque e que deu origem ao seu nome, pois a planta parece estar submetida a déficit hídrico.

Pace (1984) verificou que as células epidérmicas da 'Folha Murcha' são semelhantes às da 'Pera' quanto à forma, em todas as regiões da folha, contudo, na 'Folha Murcha' ocorre um crescimento diferente entre a largura das células epidérmicas das duas faces, muito mais acentuado do que na 'Pera'. Deste modo, o crescimento tardio das células da superfície abaxial, que continua a se expandir depois do desenvolvimento da epiderme adaxial, explicaria o enrolamento das folhas.

Vasconcellos et al. (1975) observaram ausência de fixação de alguns caracteres fenotípicos na variedade 'FOLHA MURCHA', sendo comum o aparecimento de ramos com folhas normais, ou mais vigorosas do que as típicas, o que também foi mencionado por Donadio et al. (1995).

Em função do porte médio das plantas, aconselha-se um espaçamento de 6 m x 4 m, com uma densidade média de 415 plantas por hectare, desconsiderando-se as áreas ocupadas por quebra-ventos. As árvores são muito resistentes à seca e tolerantes ao cancro cítrico, tristeza e rubelose, podendo ser

cultivadas sem irrigação e em regiões onde o cancro cítrico é endêmico. Contudo, são suscetíveis à clorose variegada dos citros (CVC) e à leprose, requerendo atenção no manejo dessas doenças (Embrapa, 2008).

## 2.2 Importância econômica

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas, superado apenas pela China e Índia e o maior produtor mundial de citros, sendo o Estado de São Paulo o principal polo produtor com quase 83% da produção brasileira (IBRAF, 2010). A citricultura tem grande importância para a agricultura nacional, ocupando uma área aproximada de 812 mil hectares e produção anual de cerca de 20 milhões de toneladas de frutos (IEA, 2010), porém o seu perfil mudou na última década, pois além da migração do cultivo para o sudoeste de São Paulo, as regiões Sul e Nordeste têm cada vez mais participação na produção brasileira de citros (Silva et al., 2011).

O sistema agroindustrial da citricultura move R\$ 9 bilhões por ano, originando mais de 400 mil empregos diretos e indiretos. Inovações em pesquisa, tecnologia e logística estão na base da eficiência e liderança do Brasil, pois o país exporta US\$ 1,2 bilhão em suco de laranja, o que representa uma fatia de 80% do mercado mundial, cujo consumo se desenvolve a uma taxa de 2% a 4% ao ano. Destes, dois terços das exportações vão para a União Europeia e 15% para os Estados Unidos, que voltaram a importar volumes expressivos depois dos últimos furacões, podendo ainda ressaltar que a Ásia tem grande potencial na ampliação de consumo (Neves et al., 2010).

Segundo Pompeu Júnior (1988), a 'Folha Murcha' é de grande interesse para o mercado de fruta fresca em São Paulo, considerando que o incremento da produção e comercialização de suco fresco para o mercado interno já demanda em torno de três milhões de caixas. Ainda, por seu bom desempenho quando em competição com outras variedades tardias, poderia ser utilizada na diversificação das atuais variedades industriais tardias (Donadio et al., 1999).

Teófilo Sobrinho et al. (1994), estudando a produtividade média anual da laranjeira 'Folha Murcha' enxertada sobre limoeiro cravo em diferentes espaçamentos, concluíram que a maior produtividade média foi de 33,28 t ha<sup>-1</sup> no espaçamento de 6,5 m x 2,0 m (769 plantas por hectare) e a menor foi de

15,39 t ha<sup>-1</sup> no espaçamento de 6,5 m x 6,0 m (256 plantas por hectare). Os autores consideraram baixas as produções de frutos por hectare nas primeiras 8 safras, para todos os espaçamentos testados.

Stuchi e Donadio (1999), estudando a produção de frutos de 'Folha Murcha' enxertada sobre citrumeleiro 'Swingle' na região de Bebedouro – SP, encontraram uma produção na média do período de 1994 a 1998 (4º ao 8º ano após o plantio) de 59,22 kg por planta, enquanto um outro clone chamado de 'Natal-Murcha' produziu em média 53,68 kg por planta. Eles ainda afirmam que, comparativamente à 'Valência', essas produtividades são 28 e 35% menores, respectivamente.

### 2.3 Relações hídricas

Uma das principais características da laranjeira 'Folha Murcha' é a presença de folhas enroladas ou retorcidas. Essa característica pode ser confundida com um sintoma de murchamento típico de deficiência hídrica no solo (Donadio et al., 1995; Leite Júnior, 1992; Salibe, 1987). No entanto, essa característica ocorre independentemente da condição hídrica do solo. De qualquer modo, como tal característica implica na redução da área transpiratória da planta, é possível que a 'Folha Murcha' tenha uma eficiência no uso da água diferente de outras cultivares de laranjeiras.

Quando se trata de árvores adultas, a maioria das plantas cítricas e gêneros relacionados retêm a água e são capazes de resistir a períodos longos de seca. Esta capacidade está relacionada a uma combinação de fatores anatômicos e fisiológicos que limitam o movimento de água na planta (Davies e Albrigo, 1994).

Coelho et al. (2004) afirmam que essa capacidade de conservação de água é devida à elevada resistência estomática e à cerosidade das folhas; além disso, quando a demanda evapotranspiratória aumenta, os estômatos tendem a se fechar, reduzindo a transpiração. Dessa forma, quando acontecem alterações nas condições do ambiente em termos de aumento de radiação líquida e da diferença entre a pressão de vapor nas folhas e no ar, a planta responde elevando a resistência estomática.

O consumo anual de água pelas plantas críticas varia de 600 a 1200 mm.

Os dados de diferentes regiões do mundo mostram que o consumo dos citros no período de inverno é de  $1,5 \text{ mm dia}^{-1}$  e no período de verão é de  $3,2$  a  $4,7 \text{ mm dia}^{-1}$ . Para o Estado de São Paulo, o consumo de água aproxima-se de  $3 \text{ mm dia}^{-1}$  em pomares irrigados e de  $1,5 \text{ mm dia}^{-1}$  nos não irrigados (Coelho et al., 2004).

Mudanças no consumo de água de um pomar acontecem dependendo da demanda de água pela atmosfera, que aumenta com a radiação solar, temperatura e com a velocidade do vento e diminui com o aumento da umidade relativa, e das alterações no sistema de plantio (espaçamento) e porta-enxerto usado, que afetam o tamanho e o vigor das plantas e, conseqüentemente, a dimensão da superfície transpirante (área foliar) (Coelho et al., 2004).

Segundo Embrapa (2003), a quantidade de água requerida por uma cultivar agrícola depende de vários fatores, tais como: edáficos (tipo de solo, textura, teor de água, fertilidade); climáticos (radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento); biológicos (cultivar, idade, altura, área foliar e estado nutricional da planta); e manejo cultural (uso de quebra-ventos e cobertura morta, controle fitossanitário e de plantas invasoras, fertilização, método e/ou sistema de irrigação, frequência e tempo de aplicação de água).

A capacidade de armazenamento de água no solo disponível para o desenvolvimento das culturas é função de parâmetros físico-hídricos do solo e da profundidade do sistema radicular (Villa Nova, 1982). O consumo hídrico não depende somente do conteúdo ou potencial total da água no solo, mas igualmente da capacidade desse solo em conduzi-la para as plantas (Hillel, 1970).

Segundo Cruz (2003), a exploração de citros é, em sua grande maioria, sob condições de sequeiro, sendo a deficiência hídrica um dos fatores mais limitantes à produção desta cultura. O déficit hídrico é produzido quando a absorção de água pelas raízes é insuficiente para atender, de forma completa, a demanda transpiratória da planta. Essa situação caracteriza uma condição de deficiência de água no solo, a qual não é definida por um valor fixo de umidade ou de potencial da água (Jong van Lier, 2010), mas depende de fatores ambientais e de características da própria planta (Flore e Lakso, 1988).

O conhecimento, a partir do balanço hídrico, de como as plantas utilizam a água no solo e respondem aos níveis de armazenagem (Cintra et al., 2000), pode subsidiar o estabelecimento de estratégias eficazes de manejo das culturas visando ao melhor uso possível das reservas de água no solo.

## 2.4 Irrigação localizada

É comum a busca por estratégias para racionalização do uso de água para agricultura devido à sua escassez em todo Brasil, especialmente em regiões onde o volume anual das chuvas não é suficiente para atender a necessidade hídrica das plantas. Dentre as diversas alternativas, o emprego da irrigação localizada está entre as mais utilizadas (Folegatti et al., 2004).

Segundo Rodrigo López et al. (1992), a irrigação localizada é a aplicação da água no solo em uma zona restrita, atingindo parte do sistema radicular. Assim, somente uma porção da superfície do solo será molhada, o que diminui a evaporação direta da água do solo para a atmosfera, quando comparada com a irrigação por aspersão e por superfície, permitindo maior controle da água aplicada e maior eficiência de aplicação.

Para Mantovani et al. (2007), esse método de irrigação tem um consumo menor de energia e necessita de menos mão-de-obra para o manejo do sistema. Além disso, precisa de sistemas de filtragem para seu correto funcionamento podendo apresentar valores de eficiência de uniformidade de aplicação de água da ordem de 85 a 95%. Eles ainda afirmam que a uniformidade de distribuição e o controle da aplicação da água são os dois maiores pré-requisitos técnicos para uma boa irrigação.

Diversos trabalhos (Rodrigo López et al., 1992; Folegatti et al., 2004; Chamon, 2002) comparando sistemas de irrigação localizados com outros sistemas indicam que os primeiros possibilitam maior eficiência e economia do uso da água, maior desenvolvimento e produtividade das culturas e, assim, maior renda líquida.

Com o objetivo de aumentar a eficiência no uso da água, trabalhos recentes têm associado produtividade com técnicas de uso racional dos recursos hídricos, como é o caso da irrigação por déficit controlado (IDC) ou em inglês “Regulated Deficit Irrigation” (RDI). Este método, segundo Mitchell et al. (1984), baseia-se na redução da irrigação em períodos fenológicos da cultura quando o déficit hídrico controlado não afeta consideravelmente a produção e qualidade da colheita, e supre plenamente as necessidades hídricas durante as fases do ciclo da cultura mais sensíveis. Os autores ainda afirmam que, um dos objetivos do

déficit controlado é evitar um crescimento vegetativo excessivo da planta que pode, em alguns casos, induzir efeitos negativos na frutificação.

English e Navaid (1996) atribuem os benefícios potenciais da irrigação com déficit controlado a três fatores: aumento da eficiência da irrigação, redução dos custos de irrigação e redução de riscos associados aos impactos ambientais.

Para Hargreaves e Samani (1984), as estratégias de irrigação com déficit controlado podem proporcionar retornos econômicos por unidade de área maiores que os obtidos nas produções com máximas irrigações. Vários trabalhos em relação à resposta ao déficit hídrico foram realizados em citros, merecendo destaque os trabalhos de Sampaio (2010) com lima ácida, Castel e Buj (1990) com laranjeira 'Valência' e Peng e Rabe (1998) com tangerina.

Outra técnica que surgiu a partir da década de 90 é a seca parcial das raízes (SPR) ou, em inglês, "Partial Root Zone" (PRD). As primeiras investigações, segundo Kriedemann e Goodwin (2003), começaram na Austrália com os pesquisadores John Possingham e Brian Loveys, que estudaram os efeitos desse método na cultura da videira.

Este método constitui, em termos práticos, na alternância da irrigação onde parte das raízes é irrigada e a outra parte expostas ao secamento do solo, cujo intervalo de aplicação da água varia de acordo com as condições climáticas, tipo de solo e da necessidade hídrica da cultura.

Segundo Sampaio (2010), um dos fatores determinantes para êxito da técnica de PRD é o tempo de alternância da irrigação. North e Nobel (1991), afirmam que intervalos longos de alternância podem provocar estresse acentuado, suberização da epiderme da raiz e, conseqüentemente, perda de raízes secundárias, impedindo assim sua regeneração quando hidratada novamente.

Hutton e Loveys (2011) estudando os efeitos da técnica de PRD em laranjeira 'Bahia' chegaram à conclusão de que a técnica reduziu o tamanho dos frutos e o percentual de suco, entretanto, houve aumento do percentual total de sólidos solúveis totais.

Um aspecto que merece destaque é que os sistemas de irrigação localizados impõem variações espaciais no ambiente físico do solo, uma vez que, promovem a aplicação de água apenas em parte da área, nas proximidades do tronco da planta. Esses sistemas, quando não manejados corretamente,

aumentam a resistência mecânica à penetração das raízes à medida que a umidade do solo diminui, e interferem na distribuição radicular das plantas causando implicações no acesso à água e nutrientes. Muitos são os fatores que comprometem as funções mecânicas e fisiológicas da raiz, estando entre eles o impedimento físico provocado pela compactação do solo por implementos agrícolas, o déficit hídrico e o tipo de solo, que resultam em diminuição da área radicular.

Outro fator que condiciona o desenvolvimento radicular é o adensamento. Cintra e Libardi (1998), estudando a caracterização física de uma classe de solo do ecossistema de Tabuleiros Costeiros, evidenciaram que camadas coesas situadas muito próximas à superfície do solo promoveram grandes alterações na redistribuição da água e contribuíram para a superficialização do sistema radicular de laranjeiras.

## 2.5 Balanço hídrico do solo

O balanço hídrico do solo é importante ser avaliado quando se deseja estudar a dinâmica de absorção da água pelas culturas agrícolas. Considerado um método direto, ele é obtido a partir da estimativa dos componentes de entrada e saída de água até a profundidade explorada pelas raízes. Para isso, calculam-se, sistematicamente, todos os fluxos positivos (entrada de água no solo: precipitação, irrigação, ascensão capilar, escoamento superficial) e negativos (saída de água do solo: evapotranspiração, drenagem profunda, escoamento superficial), cuja soma algébrica resulta na variação de armazenagem de água no solo (Libardi, 1995).

Um dos componentes do balanço hídrico é o escoamento superficial ou enxurrada. Segundo Rose (1966), a medida do escoamento superficial pode ser feita por meio de técnicas e estruturas apropriadas, mas em algumas ocasiões as medidas diretas se tornam difíceis devido ao volume de água envolvido e à variação com a declividade. Dentre os modelos utilizados, destaca-se o Método Racional e o Hidrograma Unitário, que trazem na sua definição estudos matemáticos-empíricos que promovem maior credibilidade aos seus resultados.

A precipitação pluvial e a irrigação são componentes que podem ser medidos com considerável precisão por pluviômetros ou pluviógrafos. Quanto à

precipitação pluvial, o principal problema consiste na representatividade de dados coletados em uma estação meteorológica. Sua distância em relação à cultura onde se realiza o balanço é de fundamental importância, sendo recomendável que a medida da chuva seja feita o mais próximo possível da área experimental (Cruz, 2003).

Os componentes relacionados ao fluxo de água no limite inferior da zona radicular, assim como a variação de armazenamento de água nessa zona, são fatores tipicamente dependentes do solo, em particular da heterogeneidade do perfil. No entanto, sofre influência de todos os outros componentes do balanço (Cruz, 2003).

Quando a água é perdida devido a movimentos descendentes dentro do perfil do solo, saindo da zona explorada pelo sistema radicular, ocorre a percolação ou drenagem profunda. Dependendo do tipo de solo, de suas condições de umidade e da precipitação pluvial, as perdas por drenagem interna podem ser consideráveis. Em certos períodos podem chegar até a 60 – 70% da precipitação, embora também, muitas vezes, seja desprezível (Oliveira, 1991).

A ascensão capilar é um dos componentes mais difíceis de determinar. Para Rose (1966), é um motivo pelo qual tem sido frequentemente desprezada e incluída como parte do armazenamento ou da evapotranspiração. Entretanto, Stone et al. (1973) afirmam que esse componente não é sempre desprezível, podendo constituir 30% ou mais do balanço hídrico total, principalmente para regiões de clima tropical.

Para a quantificação do armazenamento de água num solo cultivado deve-se levar em consideração uma camada que envolve todo o volume explorado pelo sistema radicular da cultura. Em função da profundidade considerada (L), e para uma dada profundidade, o armazenamento varia em função do tempo devido a processos de ganho de água (chuva e/ou irrigação) e de perdas (evapotranspiração e/ou drenagem interna), sendo determinado a partir da integração dos perfis de umidade do solo (Libardi, 1995).

A evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) constitui a transferência de água na forma de vapor do sistema solo-planta para a atmosfera e representa a demanda real de água pela cultura, estando o solo sob condições hídricas ótimas ou não. Para o balanço de água no solo, a ET<sub>c</sub> é considerada como incógnita, podendo ser obtida pela diferença em relação aos demais componentes (Libardi, 1995).

Cintra et al. (2000), estudando os componentes do balanço hídrico para solos de tabuleiro costeiro cultivado com citros, concluíram que a maior demanda hídrica da laranjeira aconteceu nos meses de outubro e novembro, e que a taxa de evapotranspiração apresentada pelo porta-enxerto limoeiro cravo foi, comparativamente a outros porta-enxertos (Limão Volcameriano Palermo e Catânia, Limão Rugoso da Flórida e Tangerina Cleópatra), a que apresentou melhores características de adaptação para região de Umbaubá-SE.

Cruz et al. (2005), estudando o balanço de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citros, em um Latossolo Vermelho-Amarelo no Município de Piracicaba - SP, concluíram que o método do balanço de água no solo, considerando diversas profundidades de solo, diversas distâncias horizontais e duas direções a partir do tronco de uma planta de citros, mostrou-se adequado para avaliar a contribuição de cada uma das camadas de solo estudadas ao consumo de água da planta. Eles ainda afirmam que a camada de solo de 0,0 a 0,60 m de profundidade foi a que teve maior contribuição ao consumo de água nos dois períodos avaliados e, conseqüentemente, deve concentrar o maior volume de raízes ativas.

## 2.6 Coeficiente de cultura ( $K_c$ ) e fator de disponibilidade de água no solo ( $K_s$ )

O coeficiente de cultura ( $K_c$ ) é um fator utilizado para a obtenção da evapotranspiração potencial de uma cultura ( $ET_p$ ) a partir da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), sendo empregado para o manejo da irrigação. A  $ET_p$  refere-se ao máximo valor de evapotranspiração que pode ser atingido em cada fase da cultura de interesse, estando o solo em condições hídricas ótimas. Esta condição é, em geral, o que se deseja em uma área agrícola irrigada, pois permite que a cultura expresse seu máximo potencial produtivo (Allen et al., 2006).

A  $ET_o$  representa a demanda hídrica atmosférica, correspondendo à  $ET_p$  de uma cultura padrão ou de referência. Como cultura padrão para se obter  $ET_o$  tradicionalmente se considerava a alfafa (clima temperado) ou a grama batatais (clima tropical), mas atualmente a referência é uma cultura hipotética, com características fixas e pré-definidas de resistência superficial, albedo e altura (Allen et al., 2006).

O valor de  $K_c$  representativo de cada fase da cultura agrícola de interesse é obtido pelo quociente entre  $ET_p$  e  $ET_o$ , variáveis estas cuja forma tradicional de obtenção é a medição direta em lisímetros. Admitindo que a  $ET_o$  refere-se à evapotranspiração potencial de uma cultura hipotética, isso já não é mais possível, devendo ser estimada obrigatoriamente por métodos climatológicos. Dentre estes pode-se citar Thornthwaite, Hargreaves, Hargreaves-Samani, Radiação Solar, Tanque classe A e Penman-Monteith. Quanto à estimativa da  $ET_p$ , para culturas que dispõem de  $K_c$  regionalmente estabelecidos, esta pode ser também estimada a partir da  $ET_o$  (Allen et al., 2006).

Por outro lado, o solo comumente impõe restrições hídricas às plantas, de modo que a evapotranspiração real da cultura ( $ET_c$ ) pode ficar abaixo de seu potencial máximo ( $ET_p$ ). Se o consumo de água pela cultura de interesse estiver sendo monitorado em diferentes condições de restrição hídrica, o fator de disponibilidade de água no solo ( $K_s$ ) poderá ser obtido a partir do quociente entre  $ET_c$  e  $ET_p$ , sendo  $K_s$  dependente tanto das propriedades hidráulicas do solo quanto da própria demanda atmosférica por água (Bernardo, 1995).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição da área, das plantas e do manejo

O trabalho foi realizado em área cultivada com citros (1,5 ha) no setor de Fruticultura do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Fluminense, em Bom Jesus do Itabapoana – RJ, com coordenadas geográficas 21°08' S e 41°40' O. O solo é um Argissolo Vermelho Amarelo, estando os resultados de sua caracterização química apresentados no Quadro 1. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da Região Noroeste Fluminense é Aw, isto é, com uma estação quente e chuvosa no verão e outra seca no inverno (Barbosa et al., 2008).

Quadro 1 – Caracterização química do perfil de solo da área experimental

Camada (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	P* - (mg dm <sup>-3</sup> ) -	K* - (mg dm <sup>-3</sup> ) -	Ca -----	Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Na -----	Al -----	H + Al -----
0-20	5,1	6,4	112,1	1,5	0,8	0,03	0,3	3,8
20-40	4,8	2,0	83,3	1,0	0,6	0,03	0,5	3,1

Local de Análise: Laboratório de Análise de Solo da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Campus Dr. Leonel Miranda, Campos dos Goytacazes-RJ.

\* Extrator Carolina do Norte.

O pomar foi implantado no ano de 2006 em uma área cuja declividade está em torno de 20%. A laranjeira 'Folha Murcha', cultivar foco deste estudo, encontra-se enxertada sobre o limoeiro cravo, em espaçamento de 5 m x 5 m, com seis anos de plantio e em fase de produção.

Para a adubação, as doses de nutrientes foram aplicadas de acordo com a recomendação de adubação e calagem para o Estado de Minas Gerais – 5ª aproximação (Ribeiro et al., 1999), segundo os resultados da análise de solo e previsão de adubação. Utilizou-se ureia agrícola (45% de N), superfosfato simples (18% de  $P_2O_5$ ) e cloreto de potássio vermelho granulado (60%  $K_2O$ ) como fontes de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente. A adubação foi aplicada sobre a projeção da copa de forma parcelada em quatro vezes: 180 gramas de ureia em Agosto de 2011, 900 gramas de superfosfato simples e 360 gramas de ureia em outubro de 2011, 310 gramas de ureia e 170 gramas de cloreto de potássio em janeiro de 2012 e 180 gramas de ureia e 270 de cloreto de potássio em março de 2012.

O controle de plantas daninhas foi feito por roçada manual nas entrelinhas e capina química nas linhas de plantio, com uso de herbicida não seletivo de ação sistêmica de pós-emergência (Glifosato, 480 g  $L^{-1}$ ). O controle de pragas e doenças foi realizado de forma preventiva, através de podas de limpeza, com retirada de ramos quebrados e doentes (pincelamento do caule com oxicleto de cobre - 840 g  $kg^{-1}$ , diluído em água) e de forma curativa, com aplicação de defensivos agrícolas registrados para cultura quando necessário.

A irrigação foi realizada com turno de rega de dois a três dias. A água era distribuída de forma localizada por 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. O cálculo da lâmina de irrigação a ser aplicada foi realizado pelo software IRRISIMPLES® e o conjunto (moto-bomba, tubulações, válvulas solenoides e programador eletrônico) estão descrito com detalhes em Amaral (2013).

### 3.2 Caracterização morfológica e física do solo

Para a descrição morfológica do perfil e classificação do solo, foi aberta uma trincheira no local do experimento. A descrição foi feita conforme o "Manual

de descrição e coleta de solos no campo” (Santos et al., 2005) e a classificação de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (Embrapa, 2006). Esta trincheira também serviu para a coleta de amostras deformadas e indeformadas para caracterização física do solo nos seis horizontes identificados (profundidades de 0-20 cm, 20-55 cm, 55-90 cm, 90-120 cm, 120-160 cm e 160-220 cm). As amostras com estrutura indeformada foram obtidas na porção superior de cada camada, tanto em anéis volumétricos de 100 mL (com 0,05 m de altura e de diâmetro interno) quanto de 270 mL (com 0,072 m de altura e de diâmetro interno), sendo os de 100 mL com cinco repetições e os de 270 mL com três repetições.

A composição granulométrica do solo foi obtida a partir da dispersão de 20 g de solo com 20 mL de NaOH ( $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ) + 200 mL de água e agitação por 16 horas a 120 ciclos por minuto (agitador horizontal), sendo a areia obtida em peneira de malha 53  $\mu\text{m}$ , a argila pelo método da pipeta e silte por diferença. A densidade de partículas ( $D_p$ ) foi determinada utilizando-se o método do balão volumétrico (Embrapa, 1997).

As amostras coletadas em anéis volumétricos de 100 mL foram utilizadas para a determinação da densidade do solo ( $D_s$ ) e da porosidade total (PT) (Embrapa, 1997). Antes, porém, estas amostras foram utilizadas para a determinação de valores de umidade volumétrica ( $\theta$ ) de equilíbrio em pontos de “baixa tensão” (1, 3, 6 e 10 kPa, em funil de placa porosa) e de “alta tensão” (33, 100, 500 e 1500 kPa, em câmaras de pressão de Richards), permitindo a obtenção da curva de retenção de acordo com o modelo de van Genuchten (1980). As amostras coletadas em anéis volumétricos de 270 mL foram utilizadas para a determinação da condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_0$ ) pelo método do perfil instantâneo (Embrapa, 1997). A função condutividade hidráulica foi estimada a partir dos valores de  $K_0$  e dos parâmetros de ajuste da curva de retenção de água, de acordo com o modelo de Mualen-van Genuchten (Libardi, 1995).

### 3.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com quatro tratamentos e três repetições, sendo avaliada uma planta por tratamento,

ou seja, quatro plantas por bloco, totalizando 12 plantas. Os tratamentos consistiram de 4 níveis de fornecimento de água, sendo T1 sem irrigação e T2, T3 e T4 baseados na evapotranspiração potencial da cultura (ETp), com T2 = 64%, T3 = 100% e T4 = 173% da ETp. Para a diferenciação das lâminas foram utilizados microaspersores com diferentes vazões (T1 = 0, T2 = 1,4 mm h<sup>-1</sup>, T3 = 2,2 mm h<sup>-1</sup> e T4 = 3,8 mm h<sup>-1</sup>), mantendo-se fixo o tempo de irrigação. A ETp foi obtida considerando-se a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Hargreaves-Samani e um valor de coeficiente de cultura Kc = 0,7, conforme Allen et al. (1998). Foi admitido também um fator de redução de molhamento de 0,71, recomendado por Keller e Bliesner (1990) para irrigação localizada.

O balanço hídrico de água no solo foi realizado tanto na face leste da copa (área irrigada) quanto na face noroeste da copa (área não irrigada). O monitoramento foi de agosto de 2012 a fevereiro de 2013, totalizando sete meses, período no qual as plantas passaram pelas fases de florescimento e crescimento inicial dos frutos da nova safra e maturação e colheita dos frutos da safra anterior.

### 3.4 Obtenção dos componentes do balanço hídrico

O balanço hídrico do solo foi realizado a partir da contabilização de todas as entradas e saídas de água, cuja soma algébrica resulta na variação de armazenagem (Libardi, 1995):

$$\Delta h = P + I + R + q + ETc \quad (1)$$

onde:  $\Delta h$  é a variação de armazenagem (mm),  $P$  é a precipitação pluvial (mm),  $I$  é a irrigação (mm),  $R$  é o escoamento superficial (mm),  $q$  é o fluxo de água (mm) no limite inferior da camada de solo considerada no balanço hídrico (zona radicular) e  $ETc$  é a evapotranspiração da cultura (mm). Esta equação pode ser rearranjada para deixar  $ETc$  como variável dependente ou incógnita do balanço hídrico (item 3.7).

Os dados de precipitação pluvial foram obtidos junto à Estação Evapotranspirométrica automática instalada no Instituto Federal de Educação

Ciência e Tecnologia Fluminense em Bom Jesus do Itabapoana – RJ, localizada a cerca de 150 m da área experimental.

A lâmina de água irrigada foi obtida em função da vazão do microaspersor e do tempo de fornecimento de água no período. Nos microaspersores foi utilizado um limitador de raio de aplicação, que ficou com cerca de 1 m (ou seja, área de incidência direta 3,14 m<sup>2</sup>). Para efeito de cálculo, o raio efetivo foi assumido como 2 m, uma vez que, durante e após a aplicação de água, o volume de solo molhado sofre uma expansão lateral. Assim, da área total (25 m<sup>2</sup> por planta) aproximadamente metade (12,56 m<sup>2</sup>) correspondeu à área irrigada e, portanto, a lâmina efetivamente aplicada foi praticamente o dobro da lâmina calculada para a área total.

O escoamento superficial (R) foi assumido como zero para chuvas menores que 20 mm, enquanto para chuvas maiores foram levados em conta a lâmina de chuva e o índice de precipitação pluvial antecedente, proposto por Shaw (1964) e utilizado, entre outros, por Spohr et al. (2009):

$$IPA = P_1 + P_2 / 2 + P_3 / 3 + P_4 / 4 + P_5 / 5 + P_6 / 6 \quad (2)$$

onde: *IPA* é o índice de precipitação pluvial antecedente (mm),  $P_1$  a  $P_6$  são as precipitações pluviais em mm, ocorridas nos seis dias anteriores ao dia considerado, respectivamente, e os divisores de 2 a 6 indicam a redução do peso de precipitações mais antecedentes. Para estas chuvas maiores que 20 mm, R foi obtido por:

$$R = f(P - 20) \quad (3)$$

onde: *f* é o coeficiente de enxurrada, aplicado apenas à fração da chuva que ultrapassava a lâmina de 20 mm. O valor de *f* foi assumido como 0,4 (Pires e Souza, 2003) para *P* ou *P* + *IPA* maiores que 40 mm. Para *P* + *IPA* entre 20 e 40 mm, *f* foi calculado por uma função senoidal:

$$f = 0,2 - 0,2 \text{ sen } \{ [9(P + IPA) - 90] \pi / 180 \} \quad (4)$$

Para os tratamentos com irrigação (T2, T3 e T4), o valor de R foi estimado separadamente para a área seca (12,44 m<sup>2</sup> por planta) e para a área úmida (12,56 m<sup>2</sup> por planta). Para a área seca, R foi considerado idêntico ao obtido para o tratamento T1, enquanto na área úmida (irrigada), irrigações acima de 20 mm levaram à obtenção de valores adicionais de R (tais valores, que para a área úmida são admitidos como perda foram considerados entrada de água para a área seca adjacente, na mesma planta).

A variação de armazenagem ( $\Delta h$ , mm) entre duas datas consecutivas foi obtida por:

$$\Delta h = h_f - h_i \quad (5)$$

onde:  $h_i$  e  $h_f$  (mm) correspondem, respectivamente, à armazenagem inicial e final de cada período de interesse. A armazenagem de água  $h$  em qualquer tempo foi estimada por:

$$h = \theta_1 \Delta z_1 + \theta_2 \Delta z_2 + \dots + \theta_n \Delta z_n \quad (6)$$

onde: os índices 1 a  $n$  são as subcamadas do solo,  $\Delta z$  é a espessura das subcamadas e  $\theta$  é umidade volumétrica obtida a partir de coleta de amostras nessas subcamadas, conforme descrito em tópico subsequente (item 3.5).

O valor diário do fluxo de água ( $q$ ) no limite inferior da camada de solo considerada no balanço hídrico (zona radicular) foi obtido pela equação de Darcy - Buckingham (Libardi, 1995):

$$q = -K \text{ grad } \phi_t \quad (7)$$

onde:  $K$  é a condutividade hidráulica e  $\text{grad } \phi_t$  é o gradiente de potencial total da água, ambos obtidos para o momento e profundidade do solo de interesse.

A obtenção do  $\text{grad } \phi_t$  é descrito em tópico posterior (item 3.6), enquanto  $K$  foi obtido a partir da função proposta por Mualen-van Genuchten (1980), que relaciona  $K$  com o potencial mátrico ( $\phi_m$ ) ou tensão da água no solo ( $\tau$ ):

$$K = K_0 \frac{\{1 - (\alpha \tau)^{(n-1)} [1 + (\alpha \tau)^n]^{-m}\}^2}{[1 + (\alpha \tau)^n]^{m/2}} \quad (8)$$

onde:  $\alpha$ ,  $m$  e  $n$  são constantes de ajuste da curva de retenção de água no solo. A tensão para a profundidade de 1 m foi admitida como o valor médio entre as tensões obtidas a partir dos tensiômetros instalados a 0,90 e 1,10 m de profundidade. Quando o potencial mátrico extrapolava o limite de funcionamento dos tensiômetros e, portanto, a umidade do solo era reduzida, o fluxo de água foi considerado nulo, pois nessas condições  $K$  assume valores muito baixos e, portanto, desprezíveis.

### 3.5 Coletas de solo para obtenção da umidade volumétrica

A cada 2 ou 3 semanas, durante todo o período de monitoramento do pomar (agosto de 2012 a fevereiro de 2013), amostras de solo foram coletadas para obtenção da umidade gravimétrica. A coleta era realizada sob a copa, a uma distância entre 1,0 e 1,5 m do tronco, em duas posições, sendo uma na área molhada (na face leste da copa, próxima ao microaspersor) e outra na área seca (na face noroeste da copa, com mais de 2 m de afastamento do microaspersor). A coleta era feita da superfície até um metro de profundidade, em camadas de 0,20 m de espessura, com o uso de um trado do tipo sonda. Após a coleta, as amostras eram colocadas em cápsulas de alumínio e transportadas para o Laboratório de Solos do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Fluminense em Bom Jesus do Itabapoana – RJ, onde se procedia a pesagem do solo úmido e do solo seco (após secagem por 48 horas em estufa a 105°C).

A umidade gravimétrica ( $U$ ,  $g\ g^{-1}$ ) foi obtida a partir da equação:

$$U = ma / ms \quad (9)$$

onde:  $ma$  é a massa de água evaporada da amostra (obtida pela diferença entre os pesos úmido e seco); e  $ms$  é a massa do solo após secagem em estufa. A umidade volumétrica ( $\theta$ ,  $m^3\ m^{-3}$ ) foi obtida por:

$$\theta = U D_s / D_a \quad (10)$$

onde:  $D_a$  é a densidade da água e  $D_s$  é a densidade do solo obtida a partir da relação entre a massa do solo seco em estufa (Mg) e o volume do anel ( $m^3$ ).

### 3.6 Instalação e leitura dos tensiômetros

A estimativa do fluxo de água ( $q$ ) no limite inferior da zona radicular, ascendente ou descendente, foi realizada a partir de tensiômetros com manômetro de mercúrio confeccionados no Laboratório de Solos da UENF. Sob a copa de cada planta monitorada, a uma distância de aproximadamente 1,50 m do tronco, foram instaladas duas baterias com 2 tensiômetros cada, ficando as cápsulas porosas posicionadas nas profundidades 0,90 m e 1,10 m, e estando uma bateria na área irrigada (área úmida) e outra na não irrigada (área seca).

A leitura dos tensiômetros foi realizada três vezes por semana, no período de agosto de 2012 a fevereiro de 2013 (sete meses), sempre pela manhã, utilizando régua graduada em milímetros, medindo-se a altura de ascensão do mercúrio em relação à sua superfície. Quando havia excesso de bolhas nos manômetros, procedia-se a fluxagem dos tensiômetros. Para o tratamento sem irrigação (T1), se a tensão da água no solo estivesse acima de 80 kPa, os tensiômetros eram desligados, sendo religados apenas após chuvas expressivas, o suficiente para elevar a umidade do solo nas profundidades de instalação dos tensiômetros.

A partir das leituras dos tensiômetros foi possível obter, em cada data e profundidade avaliada, tanto o potencial mátrico ( $\phi_m$ ) quanto o potencial total ( $\phi_t$ ) da água no solo, por meio das equações:

$$\phi_m = -12,6H + hc + z \quad (11)$$

e

$$\phi_t = -12,6H + hc \quad (12)$$

onde:  $H$  é a altura de ascensão do mercúrio no tubo de náilon;  $hc$  é a distância entre a superfície do solo e a superfície do mercúrio no frasco; e  $z$  é a profundidade de instalação do tensiômetro. O grad $\phi_t$  foi determinado a partir do potencial total nas profundidades imediatamente acima (0,9 m) e abaixo (1,1 m) da profundidade de interesse e da diferença de profundidade entre eles ( $\Delta z = 0,2$  m)

$$\text{grad}\phi_t = [\phi(0,9 \text{ m}) - \phi(1,1 \text{ m})] / 0,2 \quad (13)$$

3.7 Determinação da evapotranspiração da cultura (ETc), do coeficiente de cultura (Kc) e do fator de disponibilidade de água no solo (Ks)

A evapotranspiração da cultura foi calculada pela diferença entre a variação de armazenagem e a soma dos demais componentes, cuja equação é obtida rearranjando-se a equação 1:

$$ETc = \Delta h - (P + q + I + R) \quad (14)$$

Para a determinação do coeficiente de cultura (Kc) e do fator de disponibilidade de água no solo (Ks), foi considerada a evapotranspiração de referência (ETo) obtida por Amaral (2013) pelo método de Hargreaves-Samani, baseados no Boletim 56 da FAO (Allen et al., 1998):

$$ETo = 0,0023 (T_{méd} + 17,8) (T_{máx} - T_{min})^{0,5} R_a 0,408 \quad (15)$$

onde: ETo é a evapotranspiração de referência, mm dia<sup>-1</sup>;  $T_{méd}$  é a temperatura média diária, °C;  $T_{máx}$  é a temperatura máxima diária, °C;  $T_{min}$  é a temperatura mínima diária, °C; e  $R_a$  radiação no topo da atmosfera, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>.

Para isso foram utilizados os dados climatológicos (temperatura máxima, temperatura mínima, radiação e pluviosidade) disponibilizados pela Estação Meteorológica Digital (modelo Maws), instalada próxima à área experimental, cobrindo todo o período de monitoramento do solo no campo.

Para a obtenção de  $K_c$  foram utilizados os valores de evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) obtidos em alguns períodos sem estresse hídrico (ou seja, com elevada armazenagem de água no solo). Nesta situação, a  $ET_c$  equivale à evapotranspiração potencial da cultura ( $ET_p$ ) e a equação para cálculo de  $K_c$  é:

$$K_c = ET_p / ET_o \quad (16)$$

Ao longo do tempo, nas ocasiões em que o solo impôs restrições hídricas às plantas, pôde-se determinar o coeficiente de disponibilidade de água do solo, a partir da equação:

$$ET_c = ET_p K_s \quad (17)$$

ou

$$ET_c = ET_o K_c K_s \quad (18)$$

Onde:  $K_s$  é o coeficiente dependente de água do solo (Bernardo, 1995). Estas equações podem ser rearranjadas, resultando, respectivamente em:

$$K_s = ET_c / ET_p \quad (19)$$

ou

$$K_s = ET_c / (ET_o K_c) \quad (20)$$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização do solo

O Quadro 2 apresenta a descrição morfológica do Argissolo Vermelho Amarelo da área experimental em Bom Jesus do Itabapoana. O solo apresenta boa estruturação, com predominância de blocos subangulares médios com grau forte de desenvolvimento, e ocorrência de mudança textural do horizonte Ap (argiloso) para os horizontes subsequentes (BA, Bt1 e Bt2, muito argiloso). A coloração mais escura (bruno forte) nas camadas mais superficiais decorre do maior teor de carbono orgânico e do recobrimento das unidades estruturais por matéria orgânica, enquanto a coloração mais cromada (amarelo avermelhado) dos horizontes mais profundos são decorrência da redução do teor de carbono orgânico e da maior concentração de óxidos de ferro no material mais argiloso.

As características físico-hídricas do solo estão apresentadas no Quadro 3. Verifica-se que o teor de argila aumenta do horizonte A ( $452 \text{ g kg}^{-1}$ ) para o horizonte Bt1 ( $669 \text{ g kg}^{-1}$ ) e reduz em profundidades maiores, sendo  $323 \text{ g kg}^{-1}$  no horizonte C. Quanto a densidade de partículas ( $D_p$ ), os valores aumentaram de  $2,695 \text{ Mg m}^{-3}$  no horizonte A para  $2,863 \text{ Mg m}^{-3}$  no horizonte Bt3, coincidindo com os maiores teores de argila e a coloração mais avermelhada. Nota-se que o horizonte Ap apresentou-se mais compactado que os três subsequentes (BA, Bt1 e Bt2), provavelmente consequência do manejo agrícola, com valores de densidade do solo ( $D_s$ ) e porosidade total (PT) de  $1,470 \text{ Mg m}^{-3}$  e  $0,455 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ,

respectivamente. Os valores de macroporosidade variaram pouco ao longo do perfil, enquanto a microporosidade acompanhou os teores de argila, sendo menor no horizonte A ( $0,328 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e maior no Bt1 ( $0,402 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ).

Quadro 2. Descrição morfológica do perfil de solo e classificação, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (Embrapa, 2006)

---

Classificação (SiBCS): Argissolo Vermelho Amarelo

- Ap 0-20 cm; bruno-escuro (7,5YR 3/4, úmido), bruno-forte (7,5YR 5/6, seco); argiloso; blocos subangulares médio moderado; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara.
- BA 20-55 cm; bruno-forte (7,5YR 4/6 úmido), amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6, seco); muito argiloso; blocos subangulares médio a pequeno forte; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e não pegajosa; cerosidade comum e fraca; transição clara.
- Bt1 55-90 cm; bruno-forte (7,5YR 4/6, úmido), amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8, seco); muito argiloso; blocos subangulares médio forte; dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; cerosidade comum e moderada; transição gradual.
- Bt2 90-120 cm; vermelho-amarelo (5YR 5/6, úmido), amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6, seco); muito argiloso; blocos subangulares pequeno forte a moderado; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; cerosidade comum e fraca; transição gradual.
- Bt3 120-160 cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmido), bruno-forte (7,5YR 5/6, seco); argiloso; blocos subangulares médio a pequeno forte a moderado; ligeiramente dura, friável, não plástica e não pegajosa; cerosidade comum e fraca; transição gradual.
- C 160-220<sup>+</sup> cm; vermelho (2,5YR 4/6, úmido), amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6, seco); franco argilo arenosa; blocos subangulares médio moderado; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; cerosidade pouco e fraca.

Raízes comuns em Ap e BA; raras em B1 e B2; ausentes em B3 e C.

Observações: Presença de canais preenchidos com materiais de coloração escura ao longo de todo o perfil.

Descrito por: Cláudio Roberto Marciano, Jean Gomes de Moraes.

---

Quadro 3. Composição granulométrica, densidade de partículas (Dp), densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), macroporosidade (macro) e microporosidade (micro), dos horizontes do perfil de um Argissolo Vermelho Amarelo sob cultivo da laranjeira 'FOLHA MURCHA', em Bom Jesus do Itabapoana - RJ

Hori- zonte	areia	silte	Argila	Dp	Ds	PT	macro	micro
	----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----			---- (Mg m <sup>-3</sup> ) ----		----- (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) -----		
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

No Quadro 4 encontram-se os coeficientes de ajuste da curva de retenção de água no solo ao modelo de van Genuchten (1980) –  $\alpha$ , m, n e umidade residual ( $\theta_r$ ) – e os valores de umidade na saturação ( $\theta_s$ ), umidade na capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ), umidade no ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ), água disponível (AD) e condutividade hidráulica no solo saturado ( $K_o$ ), para os horizontes do solo estudado.

Quadro 4. Atributos relacionados à curva de retenção de água no solo: coeficientes de ajuste  $\alpha$ , m, n e umidade residual ( $\theta_r$ ); valores de umidade na saturação ( $\theta_s$ ), na capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ) e no ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ); água disponível (AD); e condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_o$ ) para o Argissolo Vermelho Amarelo sob cultivo da laranjeira 'FOLHA MURCHA', em Bom Jesus do Itabapoana - RJ

Hori- zonte	$\theta_s$	$\theta_r$	A	m	n	$\theta_{cc}$	$\theta_{PMP}$	AD	$K_o$
	--- (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) ---		kPa <sup>-1</sup>	-	-	----- (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) -----			mm h <sup>-1</sup>
Ap	0,455	0,223	0,747	0,334	1,502	0,306	0,230	0,076	309,63
BA	0,482	0,172	2,628	0,150	1,176	0,346	0,245	0,102	257,68
Bt1	0,531	0,229	8,939	0,123	1,140	0,390	0,309	0,081	78,04
Bt2	0,502	0,232	1,533	0,176	1,213	0,382	0,284	0,098	62,59
Bt3	0,484	0,286	9,124	0,182	1,223	0,358	0,310	0,049	51,43
C	0,436	0,200	4,785	0,141	1,164	0,325	0,255	0,070	38,41

Para a água disponível (AD), os maiores valores (0,102, 0,081 e 0,098  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) foram observados justamente onde se encontram os maiores teores de argila (617, 669 e 627  $\text{g kg}^{-1}$ , respectivamente), comprovando sua importância para retenção de água no solo. O maior valor de  $\theta_{\text{CC}}$  foi 0,390  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , no horizonte Bt1, e de  $\theta_{\text{PMP}}$  foi 0,310  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , no horizonte Bt3 (Quadro 4).

#### 4.2 Demanda evapotranspirométrica climatológica

Na Figura 1 são apresentados, para todo o período avaliado, os valores diários de temperatura máxima, mínima e média, e na Figura 2, os valores diários de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e da cultura (ET<sub>c</sub>), obtidos por Amaral (2013) a partir dos dados climatológicos disponibilizados pela Estação Meteorológica Digital, instalada próxima à área experimental.

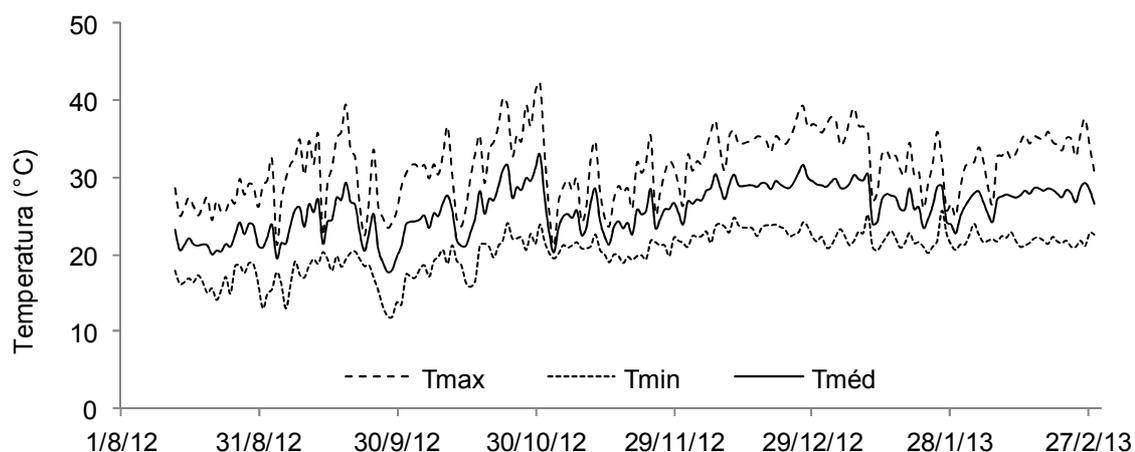


Figura 1. Valores diários de temperatura máxima, mínima e média ( $^{\circ}\text{C}$ ) em Bom Jesus do Itabapoana - RJ, durante o monitoramento do balanço hídrico da laranjeira 'Folha Murcha' no período de agosto de 2012 a fevereiro de 2013.

Verifica-se que a temperatura máxima esteve entre 21  $^{\circ}\text{C}$  a 42  $^{\circ}\text{C}$ , enquanto a mínima variou entre 12  $^{\circ}\text{C}$  e 26  $^{\circ}\text{C}$  (Figura 1). Maiores e menores picos de temperatura são encontrados para os meses de outubro (42  $^{\circ}\text{C}$ ) e setembro (12  $^{\circ}\text{C}$ ). A temperatura média diária esteve próxima da faixa ideal (21  $^{\circ}\text{C}$  a 32  $^{\circ}\text{C}$ ) para a cultura dos citros durante todo período de avaliação (Amaral, 2013).

Quanto à evapotranspiração, destaca-se que os valores diários de ETo ao longo do tempo revelam elevada demanda atmosférica por água, o que se traduz em bom potencial da região para o cultivo da laranjeira 'Folha Murcha' (Figura 2). Os maiores valores registrados encontram-se na 2ª quinzena de outubro de 2012 ( $5,67 \text{ mm dia}^{-1}$ ), enquanto os menores encontram-se na 1ª quinzena de novembro de 2012 ( $1,29 \text{ mm dia}^{-1}$ ). A média do período para ETo climatológica foi de aproximadamente  $2,6 \text{ mm dia}^{-1}$ , com valores máximo e mínimo de  $4 \text{ mm dia}^{-1}$  e  $1 \text{ mm dia}^{-1}$ , respectivamente (Figura 2). Esses dados serviram como base de comparação para os dados de ETc obtidos pelo balanço hídrico de campo.

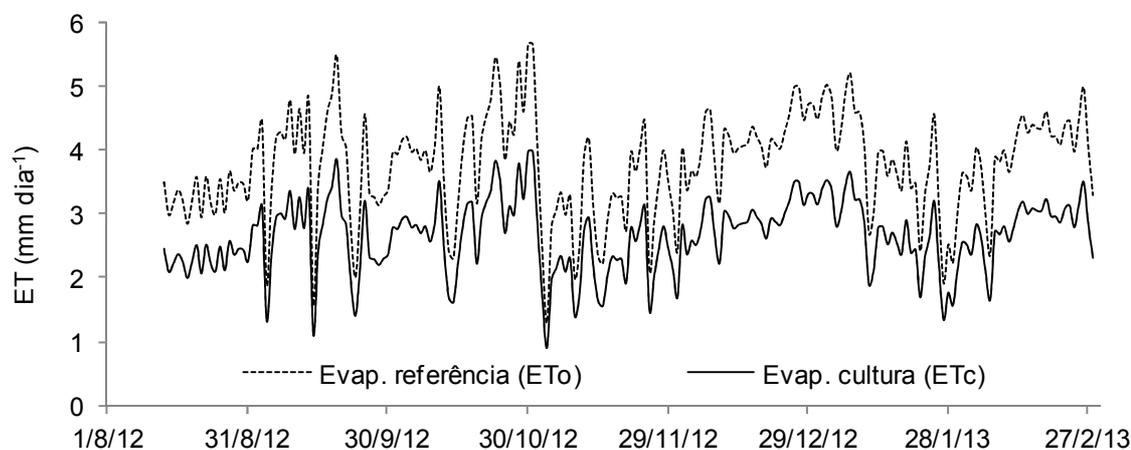


Figura 2. Valores diários de evapotranspiração de referência (ETo,  $\text{mm dia}^{-1}$ ) e evapotranspiração da cultura (ETc,  $\text{mm dia}^{-1}$ ), obtido pelo método de Hargreaves-Samani em Bom Jesus do Itabapoana - RJ, durante o monitoramento do balanço hídrico da laranjeira 'folha murcha' no período de agosto de 2012 a fevereiro de 2013.

### 4.3 Componentes do balanço hídrico

#### 4.3.1 Tratamento sem irrigação

##### A. Face leste da copa (posição nascente)

Na Figura 3 são apresentados, para todo período de monitoramento do balanço hídrico (agosto de 2012 a fevereiro de 2013), os dados de precipitação (P) e escoamento superficial (R), assim como os dados médios de armazenagem

(h) e variação de armazenagem ( $\Delta h$ ) de água no solo, para a posição nascente do tratamento que não recebeu irrigação (T1).

Quanto à precipitação, destaca-se que o total acumulado durante o período avaliado foi de 630 mm de água em 197 dias, dos quais parte deixou a área por escoamento superficial ( $R = -44,4$  mm) e parte se converteu em precipitação efetiva ( $P_e = 585,5$  mm), ou seja, infiltraram de fato no solo (Figura 3). Grandes volumes de precipitação efetiva são encontrados para os períodos de 1 a 28 de novembro de 2012 (186,5 mm em 28 dias) e de 11 a 31 de janeiro de 2013 (199,7 mm em 20 dias), que coincidem com os valores de  $R$  mais expressivos (-10,7 mm e -28,3 mm, respectivamente). Verificam-se ainda baixas precipitações nos períodos de 27 de setembro a 2 de novembro (26,2 mm em 37 dias), 13 de dezembro a 10 de janeiro (14,6 mm em 29 dias) e para o mês de fevereiro (26,4 mm em 28 dias), caracterizando os chamados “veranicos”.

Os aumentos mais expressivos de  $h$  (ou  $\Delta h$  positiva) ocorreram na 2ª quinzena de agosto e na 2ª quinzena de janeiro (Figura 3). Para o segundo período mencionado, de 15 a 29 de janeiro de 2013, o aumento de  $h$  ocorreu em decorrência direta da elevada precipitação (128 mm em 14 dias). Para o primeiro período mencionado, de 13 de agosto a 3 de setembro de 2012, isso ocorreu mesmo com precipitação efetiva não muito expressiva (55 mm em 21 dias), revelando que as plantas do tratamento T1 apresentavam baixa atividade de extração de água. Outra justificativa poderia ser a entrada de água na zona radicular por ascensão capilar, o que é pouco provável, uma vez que o solo apresentava tensões elevadas e baixo conteúdo de água nas camadas mais profundas avaliadas.

Ainda na Figura 3, verifica-se que as diminuições mais expressivas da armazenagem (ou  $\Delta h$  negativa) foram encontradas em períodos tanto de elevada precipitação (de 29 de janeiro a 14 de fevereiro de 2013, com 75 mm em 16 dias) quanto de baixa precipitação (de 18 de dezembro de 2012 a 16 de janeiro de 2013, com 39 mm em 29 dias, e de 7 a 26 de fevereiro de 2013, em que não houve chuvas por 20 dias). No primeiro caso, as justificativas incluem tanto a elevada atividade de extração de água pelas plantas ( $ET_c$ ), quanto a drenagem profunda do excedente de precipitação do próprio período e do período imediatamente anterior. No segundo caso, a justificativa é a associação entre a pequena entrada (ou ausência) de água no solo por precipitação e o consumo de água pelas plantas ( $ET_c$ ).

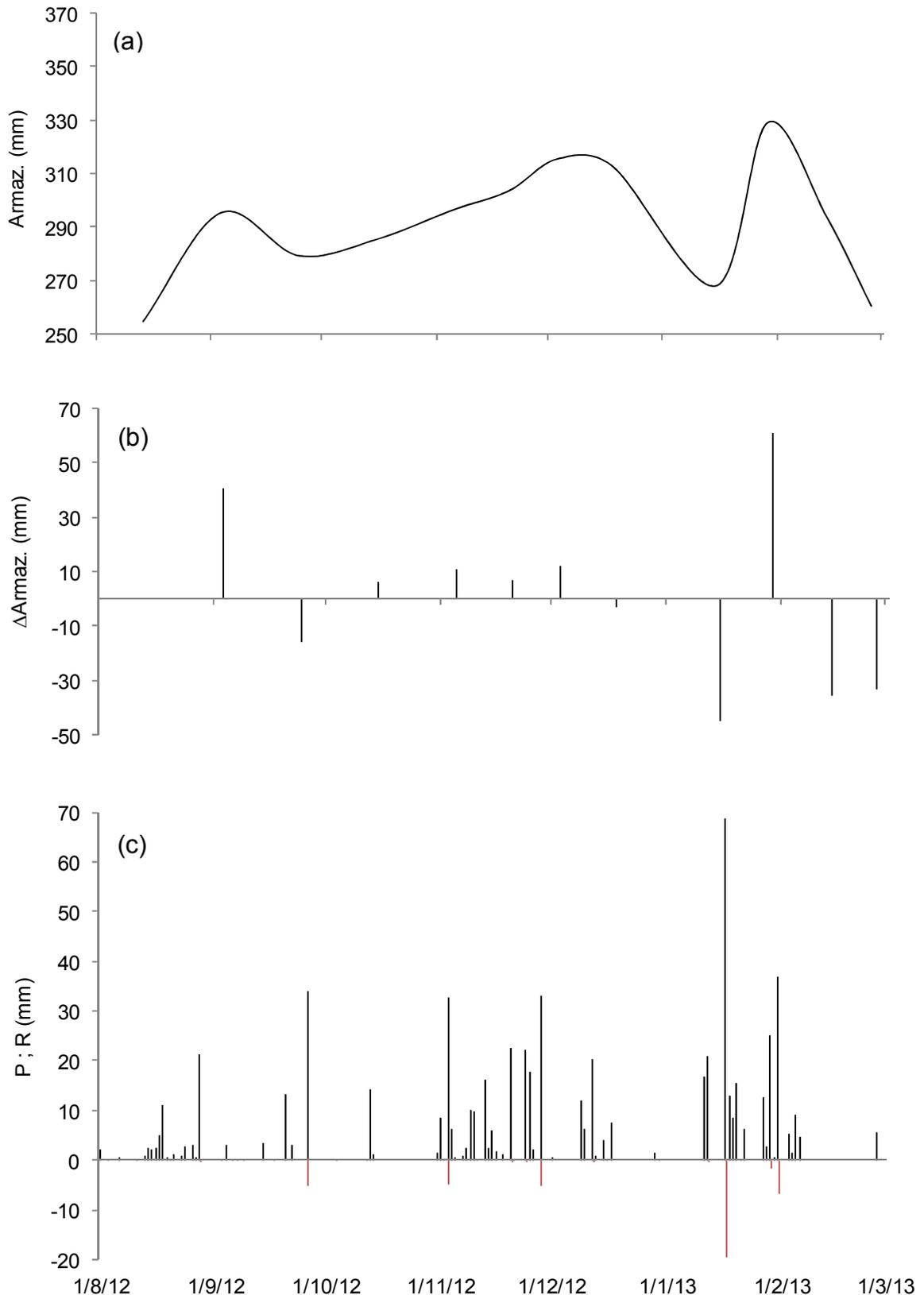


Figura 3. Valores médios de armazenagem (a) e variação de armazenagem (b) de água no solo até a profundidade de um metro, para a posição leste do tratamento sem irrigação (T1), precipitação pluvial e escoamento superficial (c) no período de realização do balanço hídrico em Argissolo Vermelho Amarelo cultivado com laranja 'Folha Murcha', no Município de Bom Jesus do Itabapoana - RJ.

No Quadro 5 são apresentados, para cada período de monitoramento do experimento, entre agosto de 2012 e fevereiro de 2013, os valores obtidos para os componentes do balanço hídrico para a posição nascente do tratamento sem irrigação (T1). Os dados de precipitação (P) e a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) advêm da estação automática, o escoamento superficial (R) foi obtido pelo modelo proposto no presente trabalho, enquanto a armazenagem (h) e a variação de armazenagem ( $\Delta h$ ) de água no solo foram obtidas pela média das três plantas avaliadas.

Para períodos de baixa precipitação, os valores de fluxo de água (q) foram considerados nulos, e a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) foi calculada pela equação do balanço hídrico. Valores nulos ou próximos a zero comumente são obtidos quando se realiza o balanço hídrico em períodos de baixa precipitação (Cruz et al., 2005; Cintra et al., 2000), e muitas vezes são assumidos *a priori* (Martarello et al., 2012;).

O fluxo foi considerado nulo também para os períodos de 5 a 20/11/2012 e de 15 a 29/01/2013, em que a precipitação foi elevada, porém insuficiente para atingir o limite inferior da camada de solo considerada no balanço hídrico e provocar percolação de água (Quadro 5). Nestes períodos, admitindo-se que a ET<sub>c</sub> correspondia à ET<sub>p</sub>, pôde-se calcular o coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>), cujo valor médio obtido foi 0,99. Usando metodologia semelhante à do presente trabalho, Petillo e Castel (2007) identificaram K<sub>c</sub> para a laranjeira ‘Valência’ da ordem de 0,88 no inverno e 0,55 no verão. Outros autores também, como Barboza Júnior et al. (2008), obtiveram K<sub>c</sub> para lima ácida ‘Tahiti’ por lisimetria de pesagem da ordem de 0,98. Bertonha (1997) obteve K<sub>c</sub> de 0,75 para plantas de laranja ‘Pera’ enxertada em limoeiro cravo com quatro anos de idade.

Para períodos de elevada precipitação e com potencial para promover drenagem profunda (de 20/11 a 03/12/2012 e de 29/01 a 14/02/2013), os valores de q não puderam ser calculados, uma vez que houve mal funcionamento de um dos tensiômetros instalados em cada planta. Por esse motivo, optou-se por estimar o fluxo de forma indireta, fixando-se valores de ET<sub>c</sub> para esses períodos, de modo que os dados convergissem para a obtenção de um valor de K<sub>c</sub> próximo ao valor médio acima mencionado. Essa estratégia levou à estimativa de valores de fluxo descendentes característicos de períodos de excedente hídrico:

Quadro 5. Valores totais por período para os componentes do balanço hídrico de um Argissolo Vermelho Amarelo em Bom Jesus do Itabapoana – RJ, para a posição leste do tratamento sem irrigação (T1), durante o período de monitoramento (agosto / 2012 a fevereiro / 2013) para laranjeira ‘Folha Murcha’: precipitação pluvial efetiva (P); escoamento superficial (R); armazenagem (h) e variação de armazenagem de água ( $\Delta h$ ); fluxo de água (q); evapotranspiração real (ETc) e evapotranspiração de referência (ETo); coeficiente de cultura (Kc) e fator de disponibilidade de água (Ks)

Data	n° dia	h (mm)	P	R	$\Delta h$	Q	ETc	ETo	Kc	Ks
			----- (mm período <sup>-1</sup> ) -----						-	-
13/ago	-	254,5	-	-	-	-	-	-	-	-
03/set	21	295,1	54,6	-0,1	40,7	0	-13,9	70,4	-	0,2
24/set	21	279,1	24,2	0,0	-16,0	0	-40,2	81,6	-	0,5
15/out	21	285,1	49,8	-5,3	6,0	0	-38,5	76,5	-	0,5
05/nov	21	296,3	49,6	-5,0	11,2	0	-33,5	87,9	-	0,4
20/nov	15	303,4	51,4	0,0	7,1	0	-44,3	45,6	0,97	1,0
03/dez	13	315,3	98,4	-5,7	11,9	-35	-45,8	44,4	1,03	1,0
18/dez	15	312,5	51,4	0,0	-2,7	0	-54,1	59,9	-	0,9
15/jan	28	267,8	39,4	-0,4	-44,8	0	-83,8	121,7	-	0,7
29/jan	14	328,9	127,8	-19,5	61,1	0	-47,1	47,1	1,00	1,0
14/fev	16	293,4	83,2	-8,4	-35,5	-50	-60,3	57,3	1,05	1,0
26/fev	12	260,2	0,0	0,0	-33,2	0	-33,2	51,9	-	0,6
Total*	197	291,0	629,8	-44,4	5,8	-85	-494,6	744,3	1,01	0,66

\* O valor apresentado para cada componente corresponde à soma obtida para o período completo de monitoramento, à exceção da armazenagem (h), do coeficiente de cultura (Kc) e do fator de disponibilidade de água (Ks), cujo valor corresponde à média.

$q = -35$  mm, para 20/11 a 03/12/2012, e  $q = -50$  mm, para 29/01 a 14/02/2013 (Quadro 5). Outros autores também identificaram fluxo descendente em períodos de excesso de água ao longo do ciclo da cultura (Cruz et al., 2005; Petillo e Castel, 2007; Cintra et al., 2000).

Para períodos de baixa precipitação, em que a  $ET_c$  não poderia ser considerada como equivalente à  $ET_p$ , pôde-se, ainda, estimar o fator de disponibilidade de água no solo ( $K_s$ ), pelo uso da equação 20. Para os quatro primeiros períodos avaliados, os valores de  $K_s$  obtidos foram de 0,19, 0,49, 0,53 e 0,39, respectivamente, indicando expressiva restrição hídrica entre 13/08 e 5/11/2012. Após esta data, embora o pleno atendimento da demanda hídrica das plantas seja predominante, ocorreram valores de  $K_s$  inferiores a 1,0 para os períodos de 3 a 18/12/2012 ( $K_s = 0,92$ ), 18/12/2012 a 15/01/2013 ( $K_s = 0,68$ ) e 14 a 26/02/2013 ( $K_s = 0,64$ ), consequência dos veranicos anteriormente mencionados (Quadro 5). Moraes et al. (2011), avaliando o balanço de água em um solo cultivado com coqueiro anão verde não irrigado, em Campos dos Goytacazes - RJ, identificaram, ao longo de um ano de monitoramento, tanto períodos sem restrição hídrica ( $K_s = 1,0$ ) quanto períodos com estresse elevado ( $K_s = 0,53$ ).

A pequena lâmina consumida pelas plantas no período de 13/08 a 3/09/2012 ( $ET_c = 13,9$  mm, ou  $0,66$  mm dia<sup>-1</sup>) revela que as mesmas mantinham certo “repouso”, reflexo da baixa disponibilidade de água no solo ( $K_s = 0,19$ ). No período subsequente (3 a 23/09/2012) as plantas retomaram sua atividade de extração de água ( $ET_c = 40$  mm, ou  $1,9$  mm dia<sup>-1</sup>), reflexo da maior disponibilidade hídrica ( $K_s = 0,49$ ) e da maior demanda atmosférica por água ( $ET_0 = 81,6$  mm, ou  $3,9$  mm dia<sup>-1</sup>). Estes resultados assemelham-se com as observações de Martarello et al. (2012) que, estudando o efeito de diferentes áreas molhadas no consumo de água da laranjeira ‘Pêra’ enxertada em tangerineira ‘Sunki’, em Nova Europa – SP, encontraram valores médios de consumo de água pela planta da ordem de  $1,9$  mm dia<sup>-1</sup>, para o tratamento sem irrigação.

Para os quatro períodos de elevada demanda atmosférica e sem restrição hídrica (ou seja, quando  $ET_c = ET_p$ ), o consumo médio de água por evapotranspiração variou de  $2,95$  mm dia<sup>-1</sup>, de 5 a 20/11/2012 (com  $ET_0 = 3,04$  mm dia<sup>-1</sup>), até  $3,77$  mm dia<sup>-1</sup>, de 14 a 26/02/2013 (com

$ET_0 = 3,58 \text{ mm dia}^{-1}$ ). Resultados semelhantes foram obtidos por Cintra et al. (2000), que, estudando o balanço hídrico no solo da laranjeira 'Pera' sobre diversos porta-enxertos no Sul do Estado de Sergipe, encontraram valor de  $ET_c = 3,8 \text{ mm dia}^{-1}$  com precipitação de 159 mm em 30 dias. Cruz et al. (2005), estudando o balanço de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular da laranjeira 'Valência' enxertada sobre limoeiro 'Cravo', em Piracicaba – SP, encontraram valores de  $ET_c = 2,4 \text{ mm dia}^{-1}$  e precipitação de 153 mm em 39 dias.

O consumo total de água por evapotranspiração no período de 197 dias foi de 494,6 mm, resultando em um valor médio de  $ET_c = 2,51 \text{ mm dia}^{-1}$ . Um aspecto importante a ser observado é que, para o pleno atendimento da demanda atmosférica, e considerando-se  $K_c = 1,0$ , a evapotranspiração total da cultura no período atingiria 744,3 mm, o que revela a ocorrência de um déficit de 249,6 mm, que é praticamente 1/3 da demanda (para o período total avaliado,  $K_s = 0,66$ ) (Quadro 5). Isso sugere que o uso da irrigação para complementar o fornecimento de água poderia levar a um melhor desempenho da cultura da laranjeira 'Folha Murcha'.

#### B. Face noroeste da copa

A Figura 4 apresenta, para todo período de monitoramento do balanço hídrico (agosto de 2012 a fevereiro de 2013), os dados de precipitação (P) e escoamento superficial (R), assim como os dados médios de armazenagem (h) e variação de armazenagem ( $\Delta h$ ) de água no solo, para a posição noroeste do tratamento que não recebeu irrigação (T1).

Na Figura 4 observa-se que o comportamento da armazenagem de água no solo na posição noroeste da copa foi similar ao verificado para a posição leste (Figura 3), porém com valores nominais inferiores na maior parte do tempo, havendo equiparação somente em períodos muito chuvosos (em 03/12/2012 e 29/01/2013, respectivamente com 99% e 100% do verificado na posição leste). Verificam-se valores abaixo de 90% em quatro datas (87% em 24/08/2012; 84% em 03 e 24/09/2012; e 89% em 05/11/2012), e valores entre 90 e 95% para as demais datas de coleta de solo. Esse ressecamento pode ser atribuído à maior incidência solar direta na posição noroeste (sol nascente e poente), enquanto na face leste da planta a incidência ocorre apenas em parte da manhã (sol nascente).

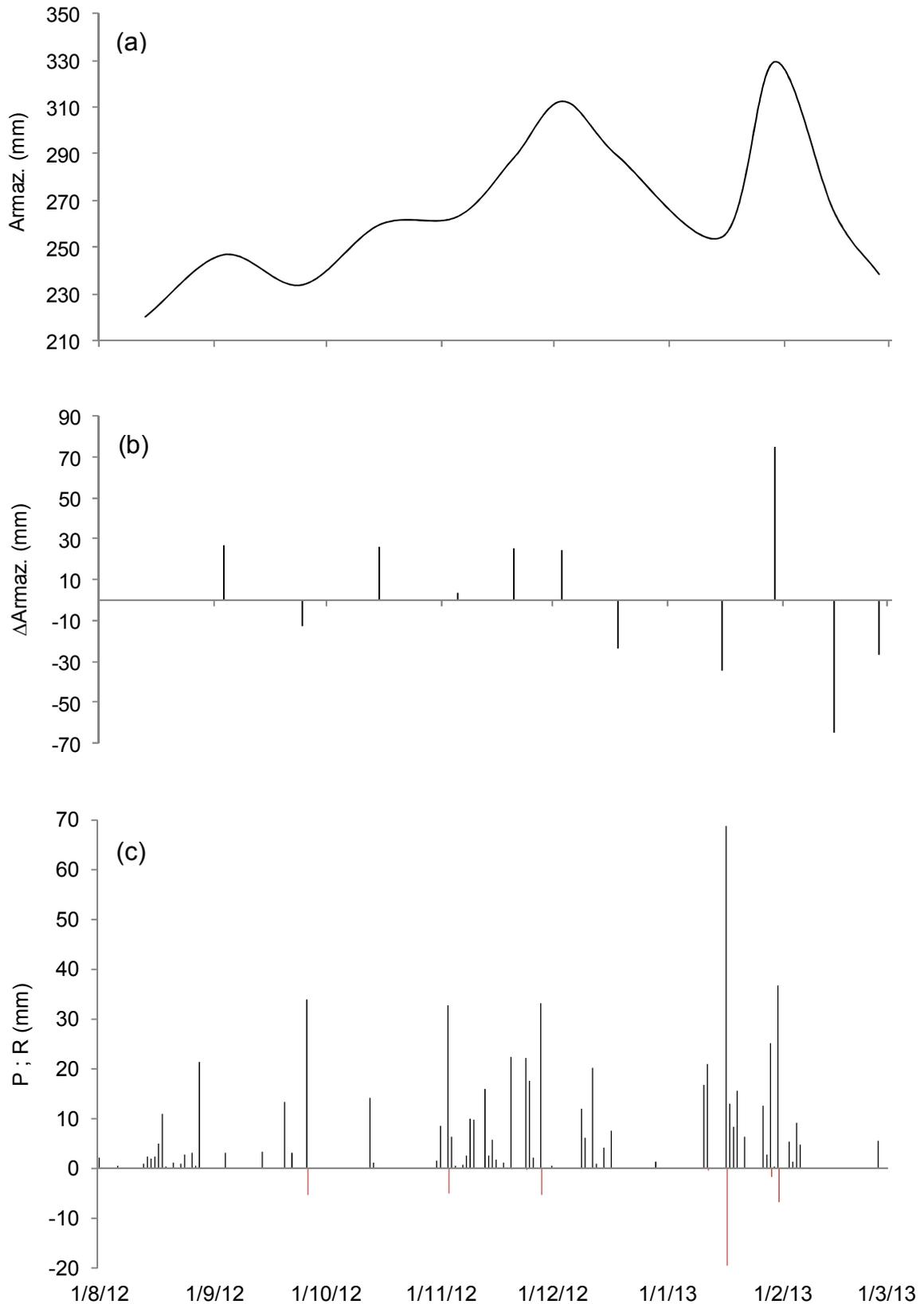


Figura 4. Valores médios de armazenagem (a) e variação de armazenagem (b) de água no solo até a profundidade de um metro, para a posição noroeste do tratamento sem irrigação (T1), precipitação pluvial e escoamento superficial (c) no período de realização do balanço hídrico em Argissolo Vermelho Amarelo cultivado com laranja 'Folha Murcha', em Bom Jesus do Itabapoana - RJ.

No Quadro 6 são apresentados, para cada período de monitoramento do experimento, entre agosto de 2012 e fevereiro de 2013, os valores obtidos para os componentes do balanço hídrico: precipitação (P); escoamento superficial (R); valores médios de armazenagem (h) e variação de armazenagem ( $\Delta h$ ) de água no solo; fluxo de água (q); evapotranspiração da cultura (ETc) e de referência (ETo); coeficiente de cultura (Kc); e fator de disponibilidade de água no solo (Ks), para a posição noroeste do tratamento sem irrigação (T1).

Da mesma forma que na posição leste, os valores de fluxo (q) foram considerados nulos em períodos de baixa precipitação (de 13 de agosto a 05 de novembro de 2012), e também em períodos de precipitação elevada, mas insuficiente para atingir o limite inferior da camada de solo considerada no balanço hídrico e provocar percolação de água (5 a 20/11/2012 e de 15 a 29/01/2013). Nesses períodos, a evapotranspiração da cultura (ETc) pode ser calculada pela equação do balanço hídrico.

Para o período de 5 a 20/11/2012, que teve boa precipitação ( $P_e = 51,4$  mm), diferentemente do que foi verificado na posição leste, a evapotranspiração calculada foi baixa ( $ETc = 1,75$  mm dia<sup>-1</sup>), compatível com outros períodos de baixa precipitação e de evidente restrição hídrica. Essa menor extração hídrica deve-se, possivelmente, à baixa armazenagem de água na posição noroeste no início desse período ( $h_i = 263,3$  mm), tanto que boa parte da precipitação efetiva destinou-se à recomposição dessa armazenagem ( $\Delta h = 25,2$  mm).

Para o período de 15 a 29/01/2013, a evapotranspiração na posição noroeste foi de  $ETc = 2,37$  mm dia<sup>-1</sup>, também abaixo da observada na posição leste, mas acima da observada em outros períodos de evidente estresse hídrico. Admitindo-se que nesse período a ETc correspondia à ETp, o coeficiente de cultura (Kc) calculado seria 0,70, compatível como o que consta em Allen et al. (1998) e próximo ao verificado por Bertonha (1997) para plantas de laranja 'Pera' enxertada em limoeiro cravo com quatro anos de idade (Kc de 0,75). Considerando que as duas áreas de coleta têm a mesma representatividade, o Kc médio ficaria em 0,85, compatível com o obtido por Petillo e Castel (2007) para a laranjeira 'Valência' no inverno.

Da mesma forma que mencionado para os dados da posição leste, não foi possível estimar com segurança os valores de fluxo a partir da equação de

Darcy - Buckingham nos períodos de elevada precipitação (20/11 a 03/12/2012 e de 29/01 a 14/02/2013). Em algumas situações houve mal funcionamento dos tensiômetros, enquanto em outros momentos houve inconsistência dos valores medidos de potencial total (indicando fluxos ascendentes em momentos em que claramente estaria ocorrendo percolação de água) e da própria equação ajustada ao modelo van Genuchten - Mualen (obtenção de fluxos desprezíveis, quando outros indicativos eram de que esses valores deveriam ser expressivos).

Por esse motivo, novamente o fluxo foi estimado de forma indireta, fixando-se valores de  $ET_c$  nesses períodos de modo que os dados convergissem para a obtenção de um valor de  $K_c = 0,70$  (ou  $K_c = 0,85$ , para a média das duas posições de monitoramento). Assim, estimaram-se fluxos descendentes de  $-37,5$  mm de 20/11 a 03/12/2012,  $-33$  mm de 03 a 18/12/2012 e  $-99,5$  mm de 29/01 a 14/02/2013 (Quadro 5), caracterizando períodos de excedente hídrico.

Como a demanda hídrica na posição noroeste da copa foi menor que na leste, o cálculo de  $K_s$  indicou que, a despeito da menor armazenagem de água ao longo do período de monitoramento do experimento, houve menores restrições hídricas na posição noroeste, com  $K_s$  médio de  $0,76$ , do que na posição leste, com  $K_s$  médio de  $0,66$  (o valor médio de  $K_s$  das duas posições seria  $0,71$ ). A média global da  $ET_c$  para os dois locais estudados (posição leste e noroeste), foi de aproximadamente  $446$  mm (ou  $2,26$  mm dia<sup>-1</sup>), sendo o  $K_c$  de  $0,85$ .

Quadro 6. Valores totais por período para os componentes do balanço hídrico de um Argissolo Vermelho Amarelo em Bom Jesus do Itabapoana – RJ, para a posição noroeste do tratamento sem irrigação (T1), durante o período de monitoramento (agosto / 2012 a fevereiro / 2013) para laranjeira ‘Folha Murcha’: precipitação pluvial efetiva (P); escoamento superficial (R); armazenagem (h) e variação de armazenagem de água ( $\Delta h$ ); fluxo de água (q); evapotranspiração real (ETc) e evapotranspiração de referência (ETo); coeficiente de cultura (Kc) e fator de disponibilidade de água (Ks)

Data	n° dia	h (mm)	P	R	$\Delta h$	q	ETc	ETo	Kc	Ks
			----- (mm período <sup>-1</sup> ) -----							
13/ago	-	220,2	-	-	-	-	-	-	-	-
03/set	21	246,8	54,6	-0,1	26,6	0	-27,9	70,4	-	0,57
24/set	21	233,8	24,2	0,0	-13,0	0	-37,2	81,6	-	0,65
15/out	21	259,7	49,8	-5,3	25,9	0	-18,6	76,5	-	0,35
05/nov	21	263,3	49,6	-5,0	3,6	0	-41,1	87,9	-	0,67
20/nov	15	288,5	51,4	0,0	25,2	0	-26,2	45,6	-	0,82
03/dez	13	312,7	98,4	-5,7	24,1	-38	-31,0	44,4	0,70	1,00
18/dez	15	288,9	51,4	0,0	-23,7	-33	-42,1	59,9	0,70	1,00
15/jan	28	254,6	39,4	-0,4	-34,4	0	-73,4	121,7	-	0,86
29/jan	14	329,6	127,8	-19,5	75,1	0	-33,2	47,1	0,70	1,00
14/fev	16	265,0	83,2	-8,4	-64,6	-100	-39,9	57,3	0,70	1,00
26/fev	12	238,4	0	0,0	-26,6	0	-26,6	51,9	-	0,73
Total*	197	266,8	629,8	-44,4	18,2	-170	-397,1	744,3	0,70	0,76

\* O valor apresentado para cada componente corresponde à soma obtida para o período completo de monitoramento, à exceção da armazenagem (h), do coeficiente de cultura (Kc) e do fator de disponibilidade de água (Ks), cujo valor corresponde à média.

#### 4.3.2 Tratamentos com irrigação

##### A. Face leste da copa (posição nascente)

Os dados de precipitação (P), irrigação (I) e de escoamento superficial (R), assim como os valores médios de armazenagem (h, mm) e variação de armazenagem ( $\Delta h$ , mm) de água no solo são apresentados nas Figuras 5, 6 e 7, respectivamente para os tratamentos T2 (64% da ETp), T3 (100% da ETp) e T4 (173% da ETp), para todo o período de avaliação do experimento. Evidentemente, os valores de P são os mesmos para todos os tratamentos, conforme já apresentado na Figura 3 ( $P = 630$  mm). Os valores de I correspondem àqueles estabelecidos nos próprios tratamentos, sendo o total para o período estudado de 332,1 mm para o T2, 521,8 mm para o T3 e 901,4 mm para o T4.

Quanto ao escoamento superficial decorrente das chuvas, o incremento da umidade do solo do tratamento T1 para o T4 permite que os valores de R obtidos pelo modelo proposto também aumentem no mesmo sentido, tendo sido obtidos -45,0 mm para o T2, -46,7 mm para o T3 e -122,1 mm para o T4. Esses valores crescentes estão de acordo com o comportamento usual da infiltração da água, cuja velocidade é menor em solos próximos da capacidade de campo (onde grande parte do espaço poroso já está preenchida por água e o  $grad\phi_t$  se aproxima de  $1 \text{ m m}^{-1}$ ) do que em solos com umidade menor (onde grande parte do espaço poroso está com ar e o  $grad\phi_t$  é grande).

O modelo de previsão do escoamento superficial foi utilizado também para as irrigações aplicadas ao longo do período experimental. Nessas situações, obtiveram-se valores de R decorrentes das irrigações também crescentes do tratamento T2 para o T4, sendo 0,0 mm para o T2, -1,4 mm para o T3 e -78,9 mm para o T4. Tais valores admitidos como perda de água da área úmida foram considerados entrada de água para a área seca da mesma planta.

Nos períodos mais secos avaliados, a armazenagem de água no solo se manteve próxima entre os três tratamentos irrigados, indicando que mesmo a menor lâmina aplicada (T2) foi suficiente para manter o solo próximo à capacidade de campo e, possivelmente, atender à demanda hídrica das plantas, não muito expressivas nessas ocasiões.

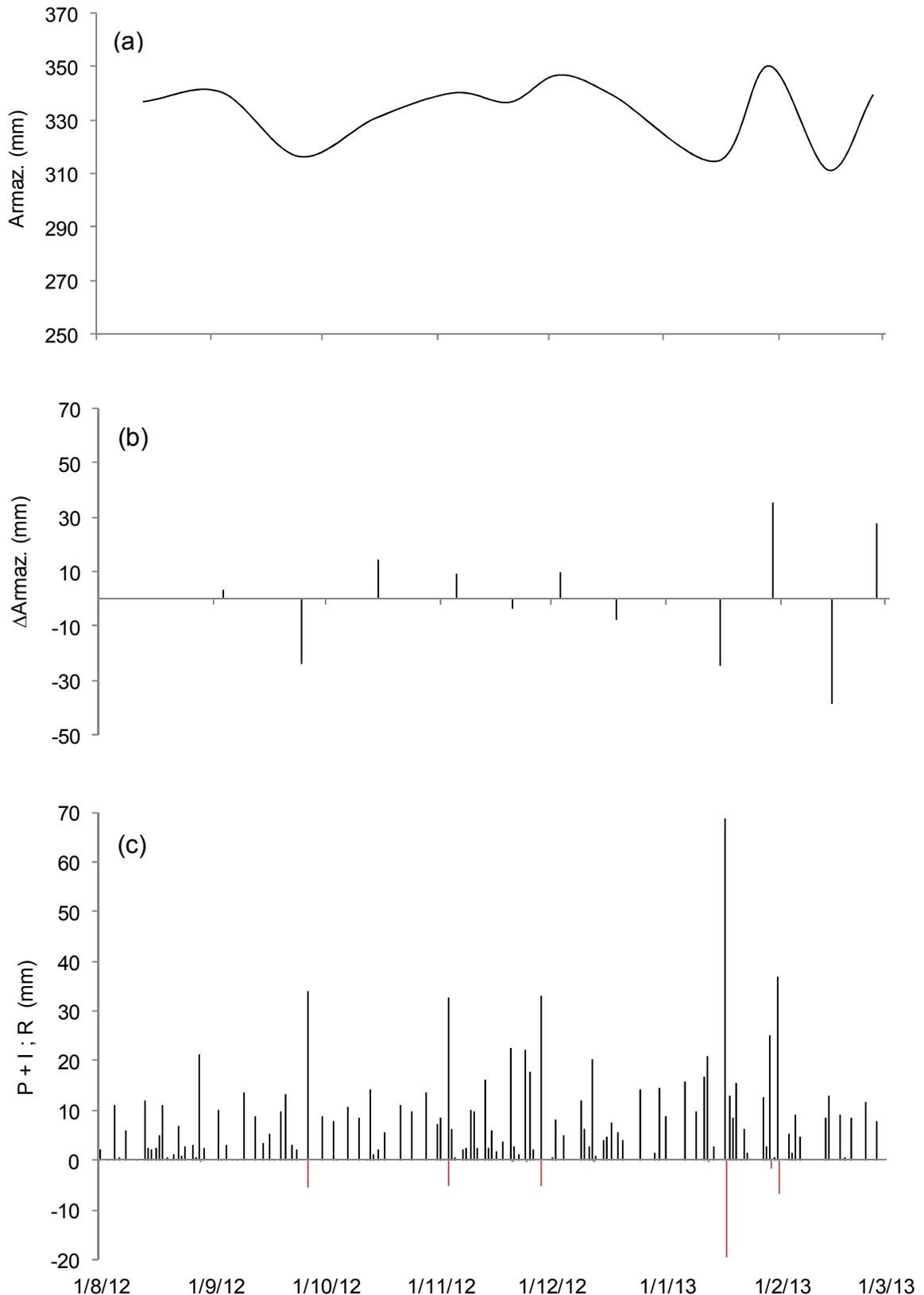


Figura 5. Valores médios de armazenagem (a) e variação de armazenagem (b) de água no solo até a profundidade de um metro, para a posição leste do tratamento com irrigação (T2), precipitação pluvial e escoamento superficial (c) no período de realização do balanço hídrico em Argissolo Vermelho Amarelo cultivado com laranja 'Folha Murcha', em Bom Jesus do Itabapoana - RJ.

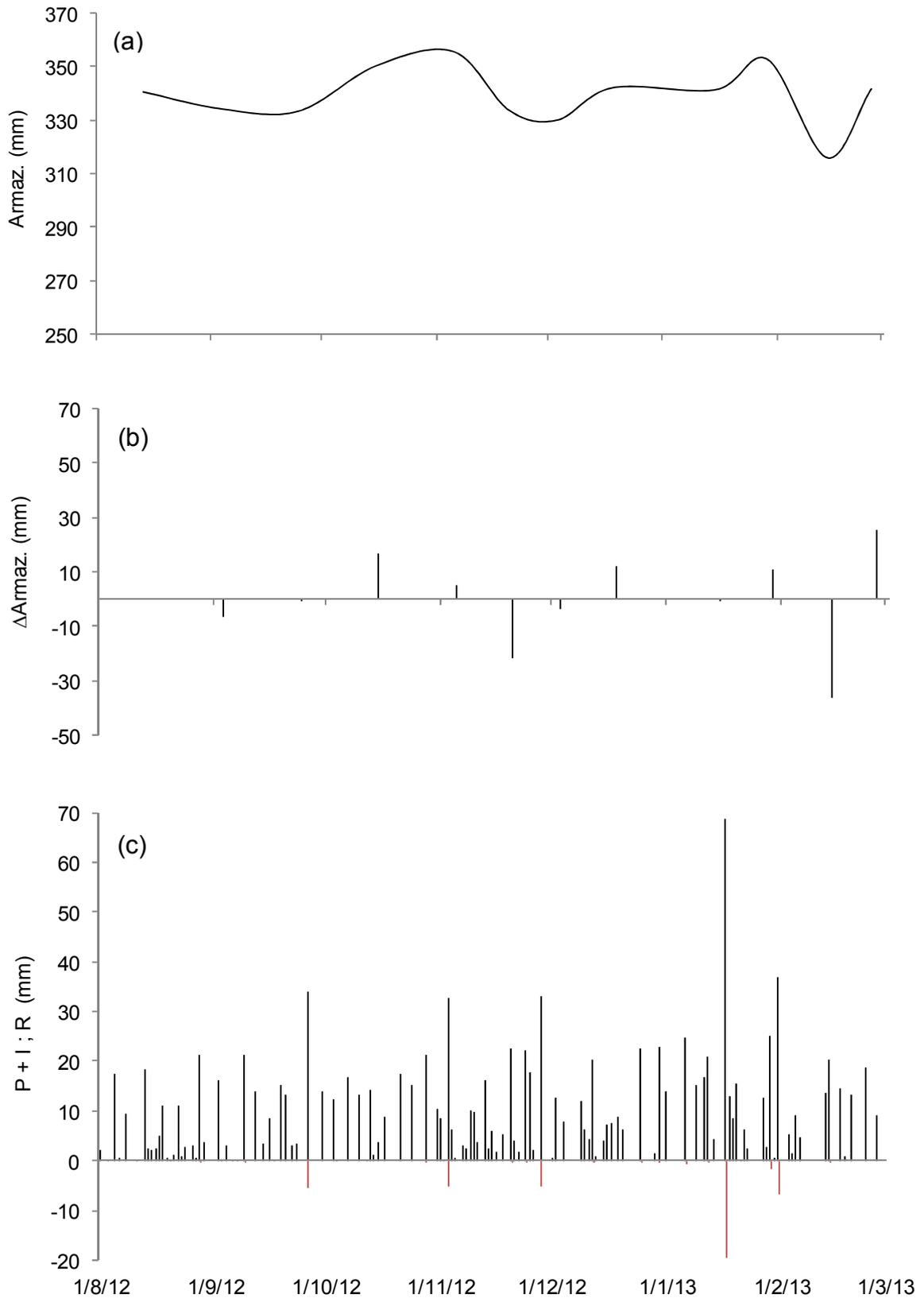


Figura 6. Valores médios de armazenagem (a) e variação de armazenagem (b) de água no solo até a profundidade de um metro, para a posição leste do tratamento com irrigação (T3), precipitação pluvial e escoamento superficial (c) no período de realização do balanço hídrico em Argissolo Vermelho Amarelo cultivado com laranja 'Folha Murcha', em Bom Jesus do Itabapoana - RJ.

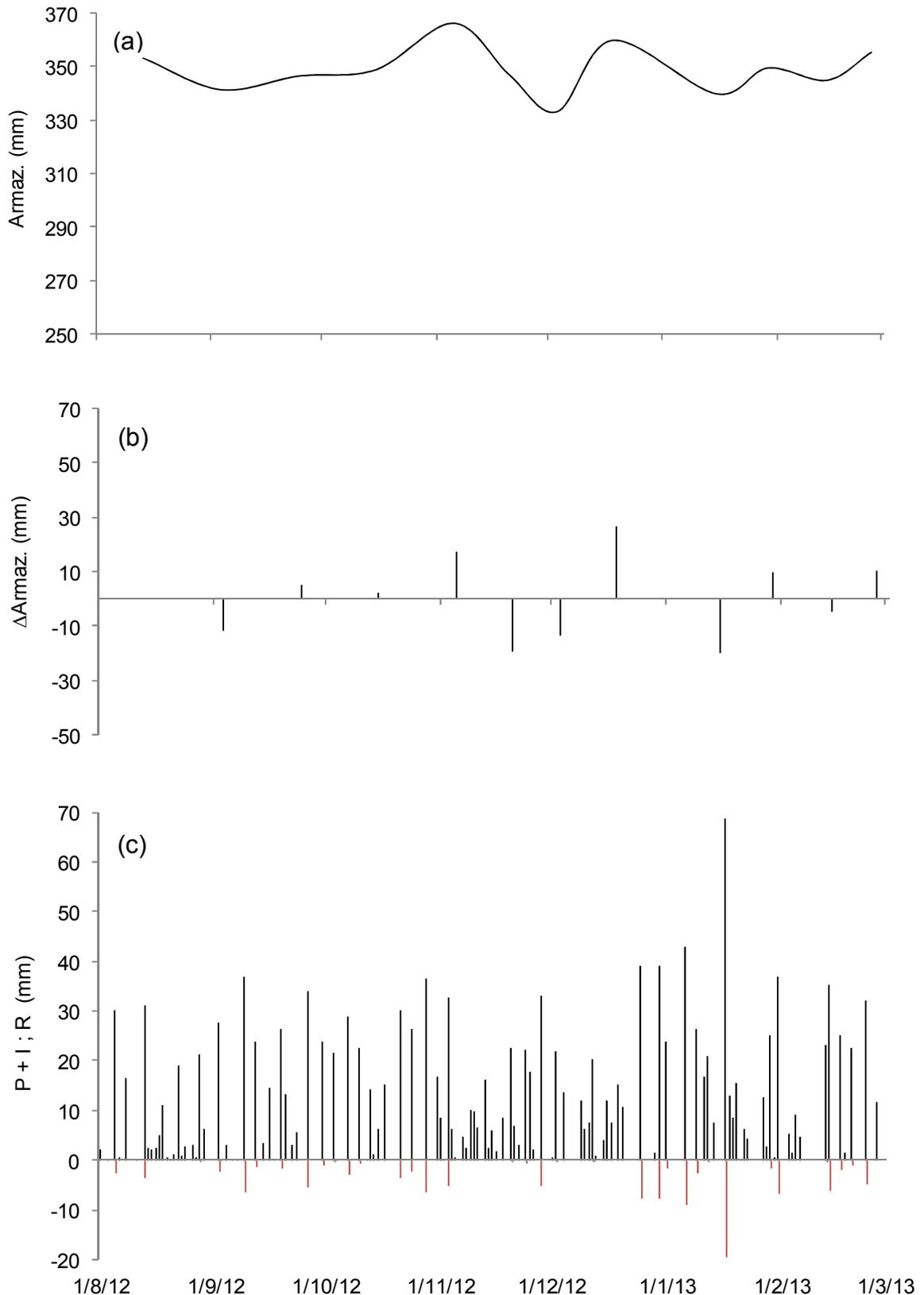


Figura 7. Valores médios de armazenagem (a) e variação de armazenagem (b) de água no solo até a profundidade de um metro, para a posição leste do tratamento com irrigação (T4), precipitação pluvial e escoamento superficial (c) no período de realização do balanço hídrico em Argissolo Vermelho Amarelo cultivado com laranja 'Folha Murcha', em Bom Jesus do Itabapoana - RJ.

Os Quadros 7, 8 e 9 apresentam, para todo período de monitoramento do balanço hídrico (agosto de 2012 a fevereiro de 2013), os dados de precipitação e irrigação ( $P + I$ ); escoamento superficial ( $R$ ); valores médios de armazenagem ( $h$ ) e variação de armazenagem ( $\Delta h$ ) de água no solo; valores médios de fluxo ( $q$ ); Evapotranspiração da cultura pelo método do balanço hídrico do solo ( $ET_c$ ) e Evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ); coeficiente de cultura ( $K_c$ ); e fator de disponibilidade de água no solo ( $K_s$ ), para os tratamentos que receberam irrigação (T2, T3 e T4).

Observa-se que a  $P + I$  manteve-se elevada durante toda a avaliação do experimento, sendo o consumo máximo de água pela planta de aproximadamente 124 mm em 28 dias (ou 4,4 mm dia<sup>-1</sup>), para o período de 18 de dezembro de 2012 a 15 de janeiro de 2013 (Quadros 7, 8 e 9). O menor consumo foi encontrado para as plantas do tratamento T2 ( $ET_c = 15,1$ ) e T3 ( $ET_c = 41,9$ ), em decorrência da restrição hídrica ocasionada pela ausência de chuvas e problemas na irrigação no período de 14 a 26 de fevereiro de 2013 (Quadro 7 e 8). O mesmo não foi observado para o T4 ( $K_s = 1$ ), que já vinha com volumes expressivos de armazenagem ao longo do período (Quadro 9).

O consumo total de água por evapotranspiração no período de 197 dias foi de 696 mm (ou 3,53 mm dia<sup>-1</sup>), 737,3 mm (ou 3,74 mm dia<sup>-1</sup>) e 749,2 mm (ou 3,8 mm dia<sup>-1</sup>) para T2, T3 e T4, respectivamente. Martarello et al. (2012) encontraram valores de pico de 4,2 mm dia<sup>-1</sup> para a laranjeira 'Pêra' enxertada em tangerineira 'Sunki' em tratamentos irrigados por microaspersão.

O fluxo foi considerado nulo para os períodos de 24 de setembro a 5 de novembro de 2012 (T2), de 3 a 18 de dezembro de 2012 (T3 e T4) e de 14 a 26 de fevereiro de 2013 (T2 e T3). Para os demais períodos, o fluxo foi estimado de forma indireta conforme mencionado anteriormente. Observam-se valores totais de  $q$  da ordem de 199, 336 e 605 mm respectivamente para T2, T3 e T4, sendo a média do  $K_c$  para os tratamentos irrigados de 1 (Quadros 7, 8 e 9).

Os valores de  $R$  durante o período de avaliação foram similares para os tratamentos T2 e T3 (Quadros 7 e 8). Para T4 o  $R$  foi de 122 mm, com ausência de escoamento superficial do dia 5 a 20 de novembro de 2012 (Quadro 9).

Quadro 7. Valores totais por período para os componentes do balanço hídrico de um Argissolo Vermelho Amarelo em Bom Jesus do Itabapoana – RJ, para a posição leste do tratamento com irrigação (T2), durante o período de monitoramento (agosto / 2012 a fevereiro / 2013) para laranjeira ‘Folha Murcha’: precipitação pluvial efetiva (P); escoamento superficial (R); armazenagem (h) e variação de armazenagem de água ( $\Delta h$ ); fluxo de água (q); evapotranspiração real (ETc) e evapotranspiração de referência (ETo); coeficiente de cultura (Kc) e fator de disponibilidade de água (Ks)

Data	n° dia	h (mm)	P + I -----	R	$\Delta h$ (mm período <sup>-1</sup> )	Q -----	ETc -----	ETo	Kc	Ks
13/ago	-	337,1	-	-	-	-	-	-	-	-
03/set	21	340,7	85,2	-0,1	3,5	-10	-71,6	70,4	1,02	1,0
24/set	21	316,7	63,7	0,0	-24,0	-6	-81,6	81,6	1,00	1,0
15/out	21	331,2	85,5	-5,4	14,5	0	-65,6	76,5	-	0,9
05/nov	21	340,4	97,4	-5,1	9,2	0	-83,0	87,9	-	0,9
20/nov	15	336,9	57,8	0,0	-3,5	-15	-46,2	45,6	1,01	1,0
03/dez	13	347,0	110,1	-5,9	10,1	-49	-45,1	44,4	1,02	1,0
18/dez	15	339,3	63,6	0,0	-7,7	-11	-60,3	59,9	1,01	1,0
15/jan	28	314,9	114,9	-0,4	-24,4	-17	-121,8	121,7	1,00	1,0
29/jan	14	350,4	129,4	-19,5	35,5	-27	-47,4	47,1	1,01	1,0
14/fev	16	311,6	91,8	-8,4	-38,8	-64	-58,2	57,3	1,02	1,0
26/fev	12	339,5	43,0	0,0	27,9	0	-15,1	51,9	-	0,3
Total*	197	333,8	942,4	-45,0	2,4	-199	-696,0	744,3	1,01	0,94

\* O valor apresentado para cada componente corresponde à soma obtida para o período completo de monitoramento, à exceção da armazenagem (h), do coeficiente de cultura (Kc) e do fator de disponibilidade de água (Ks), cujo valor corresponde à média.

Quadro 8. Valores totais por período para os componentes do balanço hídrico de um Argissolo Vermelho Amarelo em Bom Jesus do Itabapoana – RJ, para a posição leste do tratamento com irrigação (T3), durante o período de monitoramento (agosto / 2012 a fevereiro / 2013) para laranjeira ‘Folha Murcha’: precipitação pluvial efetiva (P); escoamento superficial (R); armazenagem (h) e variação de armazenagem de água ( $\Delta h$ ); fluxo de água (q); evapotranspiração real (ETc) e evapotranspiração de referência (ETo); coeficiente de cultura (Kc) e fator de disponibilidade de água (Ks)

Data	n° dia	h (mm)	P + I -----	R	$\Delta h$ (mm período <sup>-1</sup> )	Q -----	ETc -----	ETo -----	Kc -	Ks -
13/ago	-	340,7	-	-	-	-	-	-	-	-
03/set	21	334,4	102,7	-0,1	-6,3	-38	-70,9	70,4	1,01	1,0
24/set	21	333,5	86,2	0,0	-0,9	-5	-82,1	81,6	1,01	1,0
15/out	21	350,3	106,0	-5,5	16,8	-7	-76,6	76,5	1,00	1,0
05/nov	21	355,6	124,7	-5,2	5,3	-26	-88,2	87,9	1,00	1,0
20/nov	15	333,8	61,4	0,0	-21,8	-37	-46,2	45,6	1,01	1,0
03/dez	13	330,2	116,9	-6,1	-3,6	-70	-44,4	44,4	1,00	1,0
18/dez	15	342,2	70,6	-0,1	12,0	0	-58,5	59,9	0,98	1,0
15/jan	28	341,5	158,0	-1,6	-0,7	-35	-122,1	121,7	1,00	1,0
29/jan	14	352,7	130,4	-19,5	11,2	-52	-47,7	47,1	1,01	1,0
14/fev	16	316,2	96,7	-8,5	-36,4	-66	-58,7	57,3	1,02	1,0
26/fev	12	341,8	67,6	-0,1	25,6	0	-41,9	51,9	-	0,8
Total*	197	339,4	1121,1	-46,7	1,1	-336	-737,3	744,3	1,00	0,99

\* O valor apresentado para cada componente corresponde à soma obtida para o período completo de monitoramento, à exceção da armazenagem (h), do coeficiente de cultura (Kc) e do fator de disponibilidade de água (Ks), cujo valor corresponde à média.

Quadro 9. Valores totais por período para os componentes do balanço hídrico de um Argissolo Vermelho Amarelo em Bom Jesus do Itabapoana – RJ, para a posição leste do tratamento com irrigação (T4), durante o período de monitoramento (agosto / 2012 a fevereiro / 2013) para laranjeira ‘Folha Murcha’: precipitação pluvial efetiva (P); escoamento superficial (R); armazenagem (h) e variação de armazenagem de água ( $\Delta h$ ); fluxo de água (q); evapotranspiração real (ETc) e evapotranspiração de referência (ETo); coeficiente de cultura (Kc) e fator de disponibilidade de água (Ks)

Data	n° dia	h (mm)	P + I -----	R	$\Delta h$ (mm período <sup>-1</sup> )	q -----	ETc	ETo	Kc	Ks
13/ago	-	353,1	-	-	-	-	-	-	-	-
03/set	21	341,4	137,8	-6,3	-11,7	-72	-71,2	70,4	1,01	1,0
24/set	21	346,4	131,3	-9,6	5,0	-35	-81,7	81,6	1,00	1,0
15/out	21	348,8	146,8	-10,6	2,4	-57	-76,9	76,5	1,01	1,0
05/nov	21	366,1	179,3	-17,6	17,3	-56	-88,3	87,9	1,01	1,0
20/nov	15	347,0	68,7	0,0	-19,1	-42	-45,7	45,6	1,00	1,0
03/dez	13	333,2	130,3	-6,8	-13,8	-92	-45,3	44,4	1,02	1,0
18/dez	15	359,7	84,5	-0,1	26,5	0	-58,0	59,9	0,97	1,0
15/jan	28	339,8	244,3	-29,0	-19,8	-110	-125,1	121,7	1,03	1,0
29/jan	14	349,4	132,2	-19,5	9,6	-56	-47,1	47,1	1,00	1,0
14/fev	16	344,9	106,5	-8,6	-4,5	-45	-57,5	57,3	1,00	1,0
26/fev	12	355,2	116,8	-14,0	10,3	-40	-52,5	51,9	1,01	1,0
Total*	197	348,7	1478,4	-122,1	2,1	-605,0	-749,2	744,3	1,01	1,01

\* O valor apresentado para cada componente corresponde à soma obtida para o período completo de monitoramento, à exceção da armazenagem (h), do coeficiente de cultura (Kc) e do fator de disponibilidade de água (Ks), cujo valor corresponde à média.

## B. Face noroeste da copa

Os dados de precipitação ( $P$ ) e de escoamento superficial ( $R$ ), assim como os valores médios de armazenagem ( $h$ ) e variação de armazenagem ( $\Delta h$ ) de água no solo são apresentados nas Figuras 8, 9 e 10, respectivamente para os tratamentos T2, T3 e T4 (fora da área irrigada), para todo o período de avaliação do experimento.

O comportamento da  $h$  foi semelhante para os Tratamentos T2, T3 e T4, (Figuras 8, 9 e 10), apresentando valores médios em todo o período de 291,7 mm, 292,8 mm e 296,8 mm, respectivamente. O mesmo pode ser observado para o  $R$ , com exceção apenas para o T4 que, além dos valores negativos, apresentaram um incremento de água de 78,9 mm durante todo o experimento (Figura 10). Isso se deve ao modelo de previsão do escoamento superficial aplicado para as áreas irrigadas, que considerou esse valor como perda de água da área úmida. Como T4 representa a maior lâmina de irrigação, parte dessa água aplicada deslocou-se para área não irrigada. O mesmo não foi observado para T2 e T3, cujo valor ( $R$  positivo) foi nulo ou considerado insignificante.

Para o período de elevada precipitação (15 a 29 de janeiro de 2013, onde  $P = 127,8$  mm), verifica-se que a  $h$  (T2 = 344,9 mm, T3 = 339,8 mm e T4 = 334,9 mm) manteve-se próximo dos valores encontrados para a posição leste da copa (T2 = 350,4 mm, T3 = 352,7 mm, T4 = 349,4 mm) (Figuras 5, 6 e 7) e pouco maiores do que o valor médio encontrado para o tratamento não irrigado (T1 = 329,3 mm) (Figuras 3 e 4).

Os Quadros 10, 11 e 12 trazem para todo período de monitoramento do balanço hídrico (agosto de 2012 a fevereiro de 2013), os dados de precipitação ( $P$ ); escoamento superficial ( $R$ ); valores médios de armazenagem ( $h$ ) e variação de armazenagem ( $\Delta h$ ) de água no solo; valores médios de fluxo ( $q$ ); Evapotranspiração da cultura pelo método do balanço hídrico do solo ( $ET_c$ ) e Evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ); coeficiente de cultura ( $K_c$ ); e fator de disponibilidade de água no solo ( $K_s$ ), para a posição noroeste do tratamento com irrigação (T2, T3 e T4).

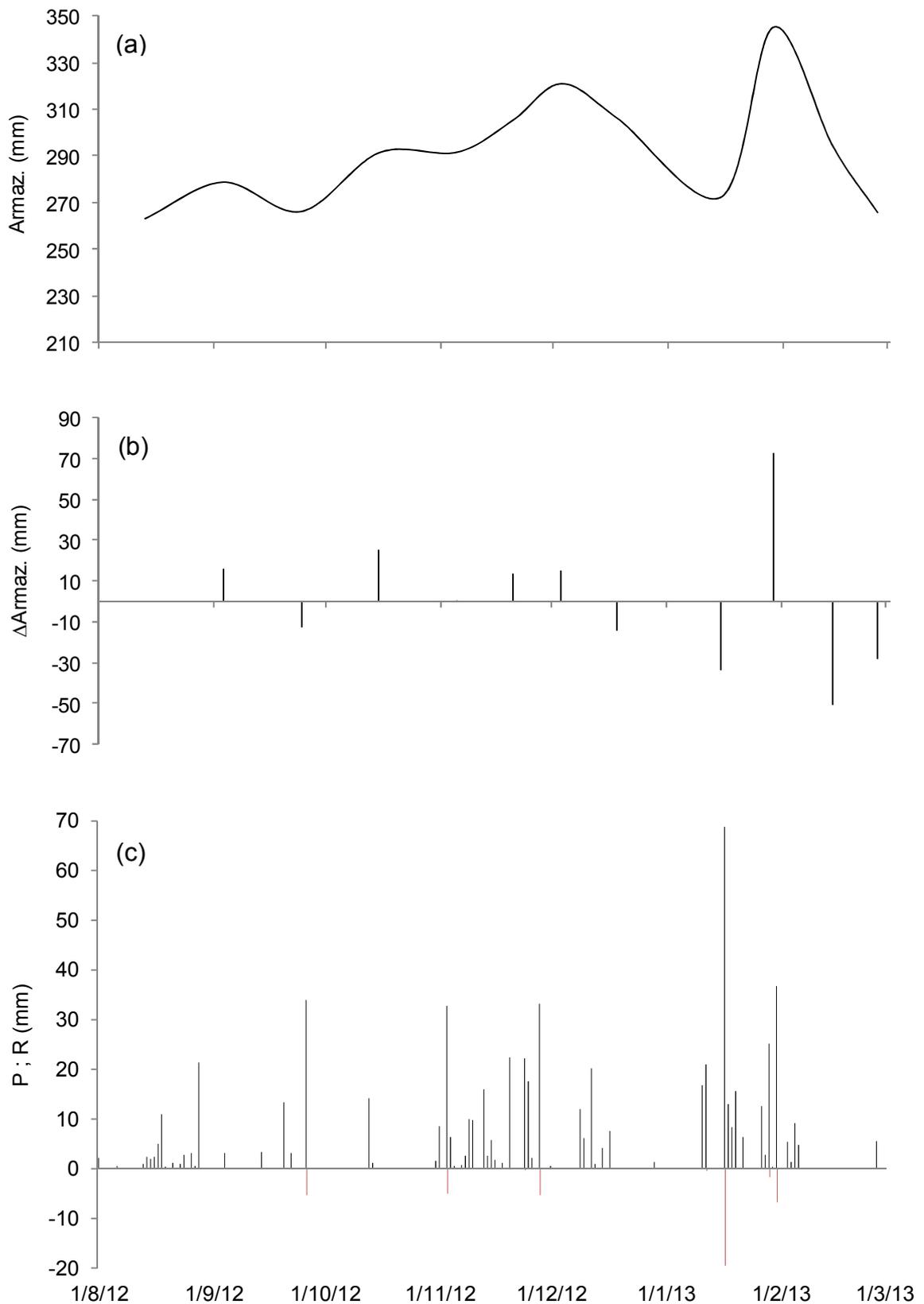


Figura 8. Valores médios de armazenagem (a) e variação de armazenagem (b) de água no solo até a profundidade de um metro, para a posição noroeste do tratamento com irrigação (T2), precipitação pluvial e escoamento superficial (c) no período de realização do balanço hídrico em Argissolo Vermelho Amarelo cultivado com laranja 'Folha Murcha', em Bom Jesus do Itabapoana - RJ.

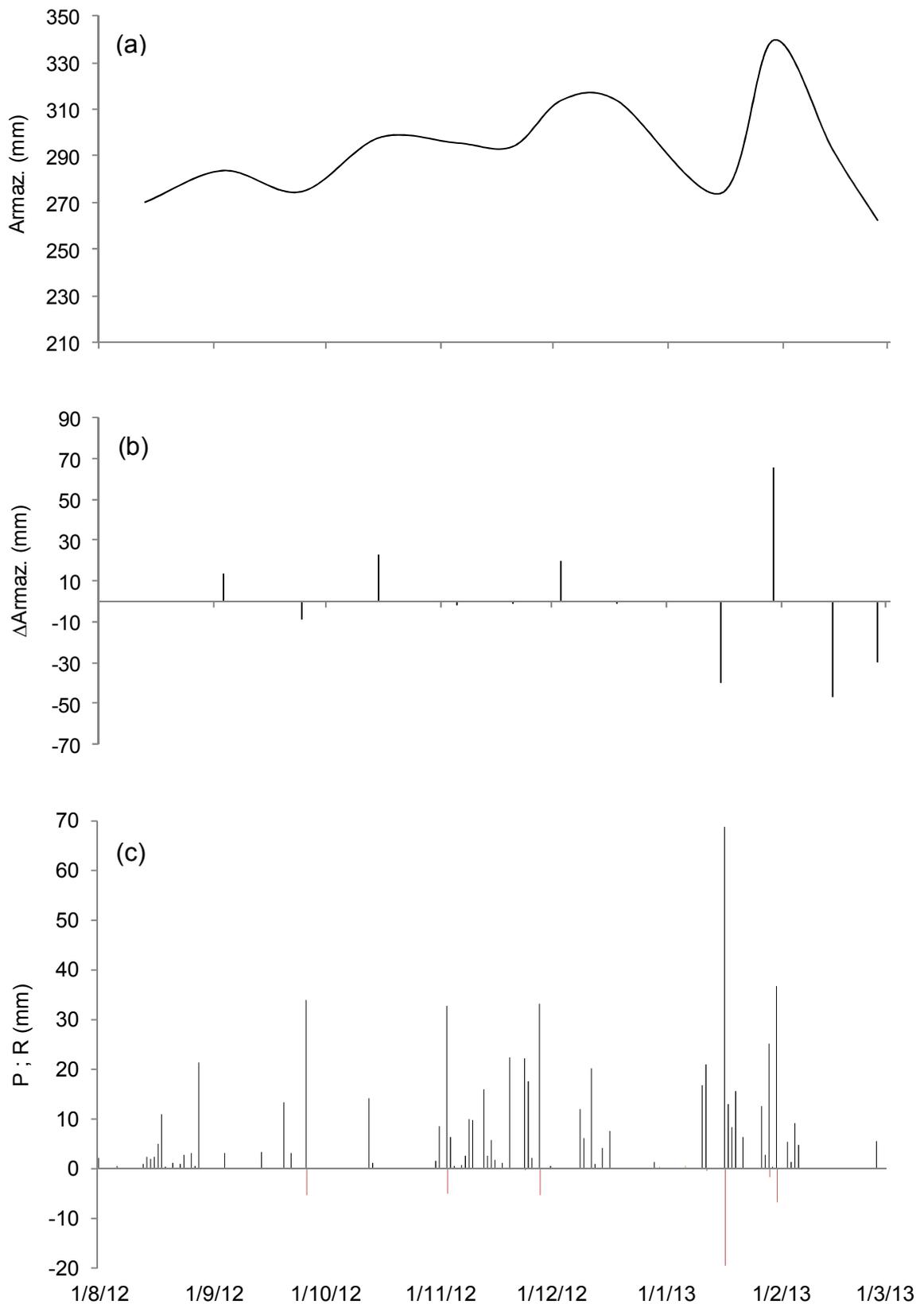


Figura 9. Valores médios de armazenagem (a) e variação de armazenagem (b) de água no solo até a profundidade de um metro, para a posição noroeste do tratamento com irrigação (T3), precipitação pluvial e escoamento superficial (c) no período de realização do balanço hídrico em Argissolo Vermelho Amarelo cultivado com laranja 'Folha Murcha', em Bom Jesus do Itabapoana - RJ.

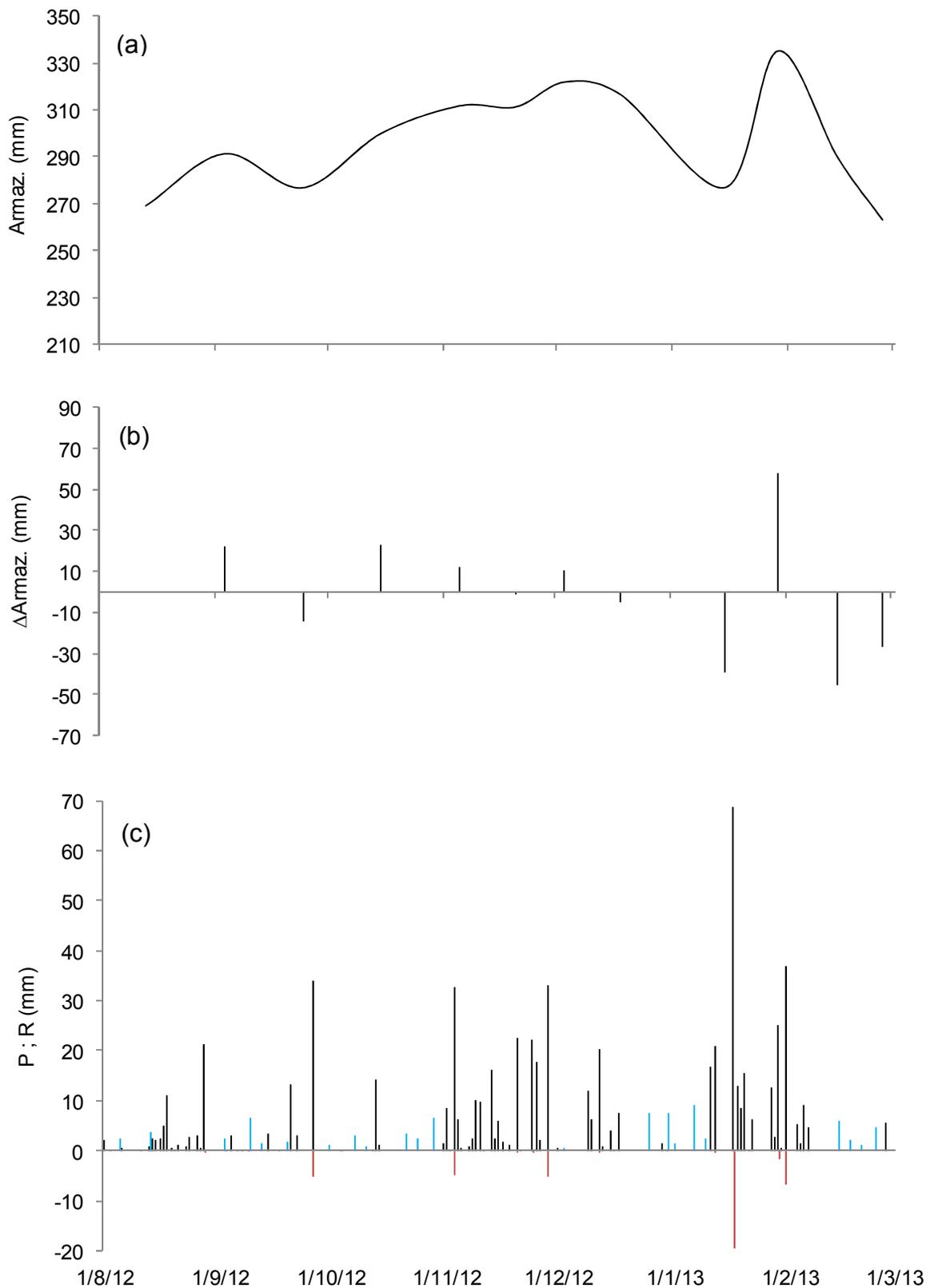


Figura 10. Valores médios de armazenagem (a) e variação de armazenagem (b) de água no solo até a profundidade de um metro, para a posição noroeste do tratamento com irrigação (T4), precipitação pluvial e escoamento superficial (c) no período de realização do balanço hídrico em Argissolo Vermelho Amarelo cultivado com laranja 'Folha Murcha', em Bom Jesus do Itabapoana - RJ.

O consumo total de água por evapotranspiração no período de 197 dias foi de 418,8 mm (ou 2,12 mm dia<sup>-1</sup>), 430,6 mm (ou 2,18 mm dia<sup>-1</sup>) e 458,6 mm (ou 2,33 mm dia<sup>-1</sup>), respectivamente para T2, T3 e T4 (Quadros 10, 11 e 12), sendo esses valores superiores ao obtido no T1 da posição noroeste (ETc = 397,1 mm ou 2,01 mm dia<sup>-1</sup>) (Quadro 6). Essa superioridade se deve à maior disponibilidade hídrica, uma vez que as plantas sofreram menos restrição hídrica ao longo do período (T2 - Ks = 0,80, T3 - Ks = 0,83 e T4 - Ks = 0,88) quando comparadas com a área noroeste (T1 - Ks = 0,76).

Para o período inicial de monitoramento (3/9/2012 a 5/11/2012), foram observadas restrições nos três tratamentos, cujo valor mínimo de Ks foi de 0,36, 0,40 e 0,49 para T2, T3 e T4, respectivamente. Ainda foram observadas restrições para os períodos de 18/12/2012 a 15/1/2013 e 14 a 26/2/2013 em T2 e T3, coincidindo com período de baixa precipitação. O mesmo não foi observado para o T4, uma vez que houve um acréscimo de água da área irrigada (R positivo) neste período já mencionado anteriormente (Quadros 10, 11 e 12).

As perdas de água por  $q$  foram similares para os tratamentos T2 e T3, tendo pouca diferença para T4. O  $q$  foi considerado nulo para os períodos de 3 de setembro a 5 de novembro de 2012 (T2, T3 e T4), de 18 de dezembro de 2012 a 15 de janeiro de 2013 (T2 e T3) e de 14 a 26 de fevereiro de 2013 (T2 e T3). Para os demais períodos, o  $q$  foi estimado de forma indireta conforme mencionado anteriormente. Observa-se valores totais de fluxo da ordem de 164 mm (T2 e T3) e 210 mm (T4), sendo a média do Kc para os tratamentos T2, T3 e T4 da posição noroeste de 0,70 (Quadros 10, 11 e 12).

Os valores de  $R$  durante o período de avaliação foram similares para os tratamentos T2 e T3, com valores de 44,4 e 43 mm, respectivamente (Quadros 10 e 11). Para T4 o  $R$  fechou o período com saldo positivo ( $R = 32,8$  mm), indicando que parte da água escoada da posição leste (122,1 – Quadro 9) foi translocada para a posição noroeste (Quadro 12).

Quadro 10. Valores totais por período para os componentes do balanço hídrico de um Argissolo Vermelho Amarelo em Bom Jesus do Itabapoana – RJ, para a posição noroeste do tratamento com irrigação (T2), durante o período de monitoramento (agosto / 2012 a fevereiro / 2013) para laranjeira ‘Folha Murcha’: precipitação pluvial efetiva (P); escoamento superficial (R); armazenagem (h) e variação de armazenagem de água ( $\Delta h$ ); fluxo de água (q); evapotranspiração real (ETc) e evapotranspiração de referência (ETo); coeficiente de cultura (Kc) e fator de disponibilidade de água (Ks)

Data	n° dia	H (mm)	P	R	$\Delta h$	Q	ETc	ETo	Kc	Ks
			----- (mm período <sup>-1</sup> ) -----							
13/ago	-	263,2	-	-	-	-	-	-	-	-
03/set	21	278,7	54,6	-0,1	15,6	0	-39,0	70,4	-	0,79
24/set	21	266,2	24,2	0,0	-12,5	0	-36,7	81,6	-	0,64
15/out	21	291,4	49,8	-5,3	25,1	0	-19,4	76,5	-	0,36
05/nov	21	291,6	49,6	-5,0	0,2	0	-44,4	87,9	-	0,72
20/nov	15	305,3	51,4	0,0	13,7	0-6	-32,2	45,6	0,70	1,00
03/dez	13	320,8	98,4	-5,7	15,5	-46	-31,1	44,4	0,70	1,00
18/dez	15	306,1	51,4	0,0	-14,7	-24	-42,1	59,9	0,70	1,00
15/jan	28	272,5	39,4	-0,4	-33,7	0	-72,7	121,7	-	0,85
29/jan	14	344,9	127,8	-19,5	72,5	-3	-32,8	47,1	0,70	1,00
14/fev	16	294,1	83,2	-8,4	-50,8	-86	-40,1	57,3	0,70	1,00
26/fev	12	265,8	0	0,0	-28,3	0	-28,3	51,9	-	0,78
Total*	197	291,7	629,8	-44,4	2,6	-164	-418,8	744,3	0,70	0,80

\* O valor apresentado para cada componente corresponde à soma obtida para o período completo de monitoramento, à exceção da armazenagem (h), do coeficiente de cultura (Kc) e do fator de disponibilidade de água (Ks), cujo valor corresponde à média.

Quadro 11. Valores totais por período para os componentes do balanço hídrico de um Argissolo Vermelho Amarelo em Bom Jesus do Itabapoana – RJ, para a posição noroeste do tratamento com irrigação (T3), durante o período de monitoramento (agosto / 2012 a fevereiro / 2013) para laranjeira ‘Folha Murcha’: precipitação pluvial efetiva (P); escoamento superficial (R); armazenagem (h) e variação de armazenagem de água ( $\Delta h$ ); fluxo de água (q); evapotranspiração real (ETc) e evapotranspiração de referência (ETo); coeficiente de cultura (Kc) e fator de disponibilidade de água (Ks)

Data	n° dia	H (mm)	P	R	$\Delta h$	Q	ETc	ETo	Kc	Ks
			----- (mm período <sup>-1</sup> ) -----							
13/ago	-	270,3	-	-	-	-	-	-	-	-
03/set	21	283,8	54,6	-0,1	13,6	0	-41,0	70,4	-	0,83
24/set	21	274,8	24,2	0,0	-9,1	0	-33,3	81,6	-	0,58
15/out	21	298,0	49,8	-5,3	23,2	0	-21,3	76,5	-	0,40
05/nov	21	295,7	49,6	-4,9	-2,3	0	-47,0	87,9	-	0,76
20/nov	15	294,2	51,4	0,0	-1,5	-21	-31,9	45,6	0,70	1,00
03/dez	13	314,1	98,4	-5,7	19,8	-42	-30,8	44,4	0,70	1,00
18/dez	15	313,8	51,4	0,0	-0,2	-10	-42,1	59,9	0,70	1,00
15/jan	28	274,2	39,4	0,9	-39,7	0	-79,9	121,7	-	0,94
29/jan	14	339,8	127,8	-19,5	65,7	-10	-33,1	47,1	0,70	1,00
14/fev	16	292,7	83,2	-8,4	-47,1	-82	-39,9	57,3	0,70	1,00
26/fev	12	262,5	0	0,1	-30,2	0	-30,3	51,9	-	0,84
Total*	197	292,8	629,8	-43,0	-7,7	-164	-430,6	744,3	0,70	0,83

\* O valor apresentado para cada componente corresponde à soma obtida para o período completo de monitoramento, à exceção da armazenagem (h), do coeficiente de cultura (Kc) e do fator de disponibilidade de água (Ks), cujo valor corresponde à média.

Quadro 12. Valores totais por período para os componentes do balanço hídrico de um Argissolo Vermelho Amarelo em Bom Jesus do Itabapoana – RJ, para a posição noroeste do tratamento com irrigação (T4), durante o período de monitoramento (agosto / 2012 a fevereiro / 2013) para laranjeira ‘Folha Murcha’: precipitação pluvial efetiva (P); escoamento superficial (R); armazenagem (h) e variação de armazenagem de água ( $\Delta h$ ); fluxo de água (q); evapotranspiração real (ETc) e evapotranspiração de referência (ETo); coeficiente de cultura (Kc) e fator de disponibilidade de água (Ks)

Data	n° dia	H (mm)	P	R	$\Delta h$	Q	ETc	ETo	Kc	Ks
			----- (mm período <sup>-1</sup> ) -----						-	-
13/ago	-	269,0	-	-	-	-	-	-	-	-
03/set	21	291,2	54,6	6,1	22,1	0	-38,6	70,4	-	0,78
24/set	21	276,7	24,2	9,7	-14,5	0	-48,4	81,6	-	0,85
15/out	21	299,9	49,8	-0,2	23,2	0	-26,3	76,5	-	0,49
05/nov	21	311,6	49,6	7,7	11,7	0	-45,6	87,9	-	0,74
20/nov	15	311,2	51,4	0,0	-0,4	-20	-31,8	45,6	0,70	1,00
03/dez	13	321,8	98,4	-5,2	10,6	-52	-31,1	44,4	0,70	1,00
18/dez	15	316,3	51,4	0,0	-5,4	-15	-41,8	59,9	0,70	1,00
15/jan	28	276,8	39,4	28,5	-39,5	-22	-85,5	121,7	0,70	1,00
29/jan	14	334,9	127,8	-19,5	58,1	-17	-33,2	47,1	0,70	1,00
14/fev	16	289,7	83,2	-8,3	-45,2	-80	-40,1	57,3	0,70	1,00
26/fev	12	263,0	0	14,1	-26,7	-5	-36,3	51,9	0,70	1,00
Total*	197	296,8	629,8	32,8	-6,0	-210	-458,6	744,3	0,70	0,88

\* O valor apresentado para cada componente corresponde à soma obtida para o período completo de monitoramento, à exceção da armazenagem (h), do coeficiente de cultura (Kc) e do fator de disponibilidade de água (Ks), cujo valor corresponde à média.

## 5 RESUMO E CONCLUSÕES

Monitorar o comportamento dos componentes do balanço hídrico do solo agrícola, sob diferentes condições de suplementação de água pode contribuir para melhorar a eficiência do manejo da irrigação. Neste trabalho foi realizado o monitoramento de tais componentes em um Argissolo Vermelho Amarelo cultivado com a laranjeira 'Folha Murcha' sobre o porta enxerto limão cravo, em Bom Jesus do Itabapoana - RJ. Isso permitiu a obtenção de um valor de coeficiente de cultura ( $K_c$ ), possibilitando a adequação do manejo climatológico da irrigação no Noroeste Fluminense e a identificação das variações temporais do coeficiente de disponibilidade de água ( $K_s$ ) nesse solo.

Com a condução do experimento, entre 13 de agosto de 2012 e 26 de fevereiro de 2013, pode-se concluir, para o tratamento não irrigado (T1), que:

- O consumo médio de água da laranjeira 'Folha Murcha' foi de  $2,35 \text{ mm dia}^{-1}$ , havendo diferença entre a extração em um ponto de monitoramento na face leste da copa ( $2,51 \text{ mm dia}^{-1}$ ) e outro na face noroeste ( $2,02 \text{ mm dia}^{-1}$ ).
- O consumo médio de água em períodos sem restrição hídrica foi de  $2,99 \text{ mm dia}^{-1}$ , resultando em um valor de  $K_c$  de 0,85 (média entre as duas posições de monitoramento).
- A disponibilidade de água no solo para o período monitorado variou de plena ( $K_s = 1,0$ ) até 38% ( $K_s = 0,38$ ), indicando a necessidade de irrigação para a laranjeira 'Folha Murcha' na região.

Para os tratamentos irrigados (T2 - 64% da ETp; T3 - 100% da ETp; e T4 - 173% da ETp) pode-se concluir que:

- O consumo médio de água da laranjeira 'Folha Murcha' foi de 2,83 mm dia<sup>-1</sup> para T2, 2,96 mm dia<sup>-1</sup> para T3 e 3,07 mm dia<sup>-1</sup> para T4, havendo diferença entre a extração em um ponto de monitoramento na face leste da copa (3,53 mm dia<sup>-1</sup>, 3,74 mm dia<sup>-1</sup> e 3,80 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente) e outro na face noroeste (2,13 mm dia<sup>-1</sup>, 2,19 mm dia<sup>-1</sup> e 2,33 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente).
- A disponibilidade de água no solo para os tratamentos irrigados variou de 100 a 54% para o T2, de 100 a 70% para o T3 e de 100 a 75% para o T4, com valores médios de Ks para todo o período monitorado de 0,87, 0,91 e 0,94, respectivamente (ou seja, a irrigação localizada não promove plena disponibilidade hídrica em todo o volume de solo cultivado, o que é inerente ao método).

## 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, 300p.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (2006) *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Estudio FAO Riego Y Drenaje, 56. Roma: FAO, 299p.
- Amaral, C. O. (2013) *Função de produção da laranjeira 'folha murcha' em relação à irrigação*. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro-UENF, 69p.
- Araújo, C.M., Vasconcellos, H.O. (1974) Informações sobre a qualidade da laranja 'Folha-Murcha' cultivada no Estado do Rio de Janeiro. Arquivo da Universidade Federal Rural. v.4, n.1, p.19-28.
- Barbosa, D. H. S. G., Vieira, H. D., Souza, R. M. (2008) Avaliação em campo de cultivares de *Coffea arábica* em áreas isenta ou infestada por *Meloidogyne exigua* na região noroeste fluminense - Formação da lavoura. *Nematologia Brasileira*, Piracicaba, v.32, n.2, p.101-109.

- Bernardo, S. (1995) *Manual de irrigação*. 6<sup>a</sup> ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária. 657p.
- Bertonha, A. (1997) *Funções de resposta da laranja à aplicação de água e nitrogênio*. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 62p.
- Busscher, W. J. (1990) Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. *Transactions of the ASAE*, v.33, n.2, p.519-524.
- Castel, J.R., Buj, A. (1990) Response of Salustiana oranges to high frequency deficit irrigation. *Irrigation Science*. 11, p.121–127.
- Chamon, O. (2002) *Estudo comparativo da demanda de água e do manejo em sistemas de irrigação em lavouras de café*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES, 135 p.
- Cintra, F. L. D., Libardi, P. L., Saad, A. M. (2000) Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de tabuleiro costeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v.4, n.1, p.23-28.
- Cintra, F.L.D., Libardi, P.L. (1998) Caracterização física de uma classe de solo do ecossistema de Tabuleiros Costeiros. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.55, p.367-378.
- Coelho, E. F., Magalhães, A. F. de J., Filho, M. A. C. (2004) Irrigação e Fertirrigação em Citros. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Circular técnica, Cruz das Almas-BA, 16p.
- Cruz, A. C. R. (2003) *Consumo de água por cultura de citros cultivada em latossolo vermelho amarelo*. Tese (Doutorado) - Piracicaba-SP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ, 92p.

- Cruz, A. C. R., Libardi, P. L., Carvalho, L. A. de., Rocha, G. C. (2005) balanço de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 29: p.1-10.
- Davies, F.S., Albrigo, L.G. (1994) *Cítricos Zaragoza*: Ed. Acribia, 284 p.
- Donadio, L. C., Figueiredo, J. O., Pio, R. M. (1995) *Variedades cítricas brasileiras*. Jaboticabal: Funep, 228p.
- Donadio, L.C., Stuchi, E.S., Sempionato, O.R., Pozzan, M. (1999) *Novas variedades e clones de laranja para indústria*. Jaboticabal: Funep, Boletim Citrícola, v.8, 40p.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997) - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual e métodos de análises de solo*. 2º ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 212p.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2003) Centro de Pesquisa Agropecuária dos Tabuleiros Costeiros. *Coco - Produção e Aspectos Técnicos*. Frutas do Brasil 27, Aracaju, 106p.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2003). Embrapa Mandioca e Fruticultura. *Manual Prático para o Manejo Ecológico de Pragas dos Citros*. Documento 111. Cruz das Almas. 2003. 33p.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2006) Centro Nacional de Pesquisa de solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, Embrapa - SPI. 2:412p.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2008) 'Folha Murcha': laranja tipo Valência de maturação extremamente tardia e tolerante ao cancro cítrico. Disponível em: [http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/folde\\_r/Folha\\_Murcha.pdf](http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/folde_r/Folha_Murcha.pdf). Acesso em março de 2012.

- English, M.; Navaid, S. (1996) Perspectives on deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, v. 32, p. 1-14.
- Figueiredo, J. O. de. (1999) Cultivares de laranjeiras no Brasil. In: Simpósio Internacional de Fruticultura - Produção e qualidade dos frutos cítricos. Anais... Botucatu-SP: Fapesp, p.87-108.
- Flore, J.A., Lakso, A.N. (1988) Environmental and physiological regulation of photosynthesis in fruit crops. *Horticultural Reviews*, 11: 111-157.
- Folegatti, M. V., Silva, T. J. A.; Casarini, E. (2004) *O manejo da irrigação como elemento essencial na utilização racional dos recursos hídricos*. In: Thame, L. C. M. (Ed.). *A cobrança pelo uso da água na agricultura*. Embu: Igual Editora, p. 213-219.
- Hargreaves, G. H., Samani, Z. A. (1984) Economic consideration of deficit irrigation. *J. of Irrigation and Drainage Engineering*. 110: 343-358.
- Hillel, D. (1970) *Solo e água: fenômenos e princípios físicos*. Porto Alegre: UFRGS, Departamento de Solos, 231p.
- Huttoon, R. J., Loveys, B. R. (2011) A partial root zone drying irrigation strategy for citrus – Effects on water use efficiency and fruit characteristics. *Agricultural Water Management*. Austrália, p. 1485-1496.
- IBRAF - Instituto Brasileiro de Frutas. Brasil é o 3º produtor mundial de frutas. Disponível em: [http://www.ibraf.org.br/news/news\\_item.asp?NewsID=8129](http://www.ibraf.org.br/news/news_item.asp?NewsID=8129). Acesso em março de 2012.
- IEA - Instituto de Economia Agrícola. Projeções de produção de laranja em São Paulo até 2009. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br>. Acesso em março de 2012.

- Jong van Lier, Q. de (2010) Disponibilidade de água às plantas. *In: Jong van Lier, Q. de (ed.). Física do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.283-298.
- Keller, J., Bliesner, R. D. (1990) Sprinkle and trickle irrigation. Van Nostrand Reinold, New York, 652p.
- Kriedemann, P. E., Goodwin, I. (2003) Regulated Deficit Irrigation and Partial Rootzone Drying. *Irrigation Insights. Land e Water Australia, Canberra, n. 3, 102p.*
- Leite Júnior, R.P. (1992) Cultivares copas e porta-enxertos. *In: A citricultura no Paraná*. Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná, Circular, 72, 288p.
- Libardi, P. L. (1995) *Dinâmica da água no solo*. 1.ed. Piracicaba: O autor, 509p.
- Mantovani, E. C., Bernardo, S.; Palaretti, L. F. (2007) Irrigação: princípios e métodos. Viçosa: UFV, 318p.
- Martarello, V. D., Pires, R. C. M., Quaggio, J. A., Silva, A. L. B. O. (2012) Efeito de diferentes áreas molhadas no consumo de água de laranjeiras. 6º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica - CIIC, Campinas – SP, 8p.
- Mitchell, P. D., Jerie, P. H.; Chalmers, D. J. (1984) Effects of regulated water deficits on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield. *J. Amer. Society Horticultural Science*, v. 109, p. 604-606.
- Moraes, J. G., Marciano, C. R., Sousa, E. F. (2011) *Balanço hídrico e coeficiente de cultura do coqueiro anão verde cultivado em um Cambissolo Háplico argilo-siltoso no Norte Fluminense*. Monografia de conclusão de curso – Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro-UENF, 41p.

- Neves, M. F., Trombin, V. G., Milan, P., Lopes, F. F., Cressoni, F., Kalaki, R. (2011) O retrato da citricultura brasileira, São Paulo: CitrusBR, 138p.
- North, G. B., Nobel, P. S. (1991) Changes in hydraulic conductivity and anatomy caused by drying and rewetting roots of *Agave deserti* (Agavaceae). *Am. J. Bot.* v. 78, p. 906-915.
- Oliveira, J. B. de. (1991) Solos para citros. In: Rodrigues, O., Viegas, F., Pompeu Junior, J., Amaro, A. A. (Ed.). *Citricultura brasileira*. Campinas: Fundação Cargill, v.1, p.196-227.
- Pace, L. B. (1984) Estudo da epiderme foliar de duas cultivares de *Citrus sinensis*: laranja folha murcha e laranja Pera. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, Florianópolis. Anais: Sociedade Brasileira de Fruticultura, p.622-31.
- Peng, Y.H., Rabe, E. (1998) Effect of differing irrigation regimes on fruit quality, yield, fruit size and net CO<sub>2</sub> assimilation of 'Mihowase' satsuma. *J. Horticultural Science Biotechnology*, v. 73, p. 229-234.
- Petillo, M. G., Castel, J. R. (2007) Water balance and crop coefficient estimation of a citrus orchard in Uruguay. *Spanish Journal of Agricultural research*, v. 03, n. 05, p. 232-243.
- Pires, F.R., Souza, C. M. *Práticas mecânicas de conservação do solo e da água*. Viçosa, UFV, 2003. 176p.
- Pompeu Júnior, J. (1988) Copas e porta-enxertos. In: Simpósio de Citricultura, 3, Jaboticabal. Anais... Funep, p.155-61.
- Reuther, W. (1973) Climate and citrus behavior. In: Reuther, W. (Ed). *The citrus industry*. Berkeley: University of California, v.3, cap.4, p.98-121.

- Ribeiro, A. C., Guimarães, P. T. G., Alvarez, V. H. (1999) Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação. 5. ed. Viçosa: Independente, 359.
- Rodrigo López, J., Hernández Abreu, J. M.; Pérez Regalado, A.; González Hernández, J. F. (1992) *Riego localizado*. Madrid: Mundi-Prensa, 405p.
- Rose, C. W. (1966) *Agricultural physics*. London: Pergamon Press, 230 p.
- Salibe, A. A. (1987) Clones nucelares de citros no Estado de São Paulo. Laranja, v.2, n.8, p.443-66.
- Sampaio, A. H. R., Filho, M. A. C., Coelho, E. F., Daniel, R., Machado, V. V., Carvalho, G. C., Junior, E. B. S. (2010) Deficit hídrico e secamento parcial do sistema radicular em pomar de lima ácida. *Pesquisa agropecuária brasileira*. Brasília, v.45, n.10, p.1141-1148.
- Santos, F.V., Solórzano, A.; Bruni, R.R.G.; Oliveira, R.R. (2006) Composição do Estrato Arbóreo de um Paleoterritório de Carvoeiros no Maciço da Pedra Branca, RJ. São Leopoldo, *Instituto Anchieta de Pesquisas*, 57:181-192.
- Shaw, R.H. (1964) Prediction of soil moisture under meadow. *Agronomy Journal*, v.56, p.320-324.
- Silva, R. A. Da., Agra, A. da C., Aleixo, D. de L., Nóbrega, V. R. Da., Dantas, E. A. (2011) Situação Econômica e Produtiva da Cultura dos Citros no Estado da Paraíba. *Revista Verde* (Mossoró – RN – Brasil) v.6, n.3, p. 39 – 48.
- Spohr, R. B., Carlesso, R., Gallárreta, C. G., Préchac, F. G., Petillo, M. G. (2009) Modelagem do escoamento superficial a partir das características físicas de alguns solos do Uruguai. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.39, n.1, p.74-81.
- Stone, L. R., Horton, M. L., Olson, T. C. (1973) Water loss from and irrigated sorghum field: I – Water flux within bellow root zone. *Agronomy Journal* v.65, p.492-495.

- Stuchi, E. S., Donadio, L. C. (1999) Experiência bem sucedida com Lue Gim Gong em Bebedouro, *Citricultura Atual*, n.16, p.18-19.
- Teófilo Sobrinho, J., Pompeu Júnior, J., Figueiredo, J. O. de., Domingues, E. T., Mattos Júnior, D. (1994) Espaçamento para laranjeira 'Folha-Murcha' enxertada sobre limoeiro 'Cravo'. *Laranja*, v.15, n.1, p.151-68.
- Tormena, C. A., Silva, A. P., Libardi, P. L. (1998) Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um latossolo roxo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 22: p.573-581.
- Van Genuchten, M. T. van. (1980) A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil science society of America journal*, Madison, v.44, p.892-898.
- Vasconcellos, H. O., Duarte, L. S. N., Araújo, C. M. (1975) Estudo cromossômico de *Citrus sinensis* (L) Osbeck, laranja Folha-Murcha. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, Seropédica. Anais... p.639-40.
- Villa Nova, N. A. (1982) Principais métodos climáticos de estimativa de aplicação de água de irrigação. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Física e Meteorologia, 22p.