

LUIZ FABIANO PALARETTI

ESTUDO DOS EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO NA PRODUÇÃO DA
LARANJEIRA NO NORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2009

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

P154e
2009

Palaretti, Luiz Fabiano, 1977-
Estudo dos efeitos do déficit hídrico na produção da
laranjeira no Norte do Estado de São Paulo / Luiz Fabiano
Palaretti. – Viçosa, MG, 2009.
xiv, 145f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexo.

Inclui apêndice.

Orientador: Everardo Chartuni Mantovani.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Meteorologia agrícola. 2. Irrigação agrícola.
3. Plantas - Relações hídricas. 4. Laranjeira - Floração.
5. Laranjeira - Clima. 6. Laranjeira – Rendimento.
7. Evapotranspiração. I. Universidade Federal de Viçosa.
II. Título.

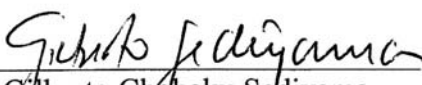
CDD 22.ed. 630.2515

LUIZ FABIANO PALARETTI

ESTUDO DOS EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO NA PRODUÇÃO DA
LARANJEIRA NO NORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Programa de Pós-
Graduação em Meteorologia
Agrícola, para obtenção do título de
Doctor Scientiae.

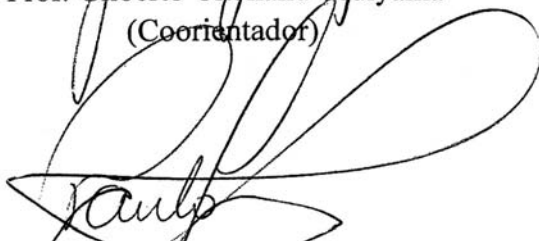
APROVADA: 12 de fevereiro de 2009.



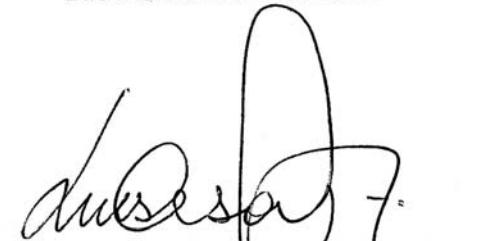
Prof. Gilberto Chohaku Sedyama
(Coorientador)



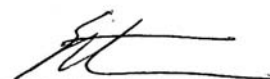
Prof. Salassier Bernardo



Prof. Paulo José Hamakawa



Prof. Luís César Dias Drumond



Prof. Everardo Chartuni Mantovani
(Orientador)

A Deus e aos bons espíritos, luz nesta caminhada,
À minha mãe Maria Tereza G. Castanheira,
Aos meus irmãos Ricardo, Vanessa, Veridiana e Franciele
E ao meu afilhadinho Eduardo,

OFEREÇO

Aos meus tios
Estanislau Olszanski Filho e Eugênio Américo Rodrigues,

DEDICO

“Quatro rodas levam um corpo, duas transportam uma alma” – Motociclismo
Sempre!

AGRADECIMENTOS

A Deus e aos espíritos de luz, pelo auxílio, pela compreensão e pelo fundamento humano e profissional.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Meteorologia Agrícola e Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realizar o Curso.

À FAPEMIG e ao MCT/CNPq, pela concessão da bolsa de estudos e pelo apoio financeiro para a execução dos trabalhos.

Ao Professor e meu sempre amigo Everardo Chartuni Mantovani, que por uma vida me orientou, dentro e fora do âmbito acadêmico, contribuindo para a minha formação profissional e pessoal.

Aos meus coorientadores Marco O. Cano e Gilberto Sedyama, pela atenção, pela compreensão e pelo tutoramento durante a execução dos trabalhos.

Ao meu coorientador Eduardo S. Stuchi, pela recepção, pelo acompanhamento e pelo auxílio profissional durante a execução do experimento na cidade de Bebedouro, SP.

Aos membros da banca de defesa da tese, internos e externos a esta Instituição, pelos préstimos e pela disponibilidade em participar desta minha conquista.

Aos professores do Departamento de Engenharia Agrícola/Meteorologia Agrícola, pelos préstimos durante a minha vida acadêmica na UFV.

À Estação Experimental de Citricultura de Bebedouro, SP (EECB) – COOPERCITRUS, pelas instalações, pelos materiais e pelos demais auxílios.

Aos funcionários de campo, escritório e Laboratório da EECB, pela companhia, vivência, pelo aprendizado e pela ajuda nos afazeres do dia a dia.

Aos meus amigos e pesquisadores da UNESP – JABOTICABAL Simone e Danilo, pela troca de experiências e ajuda na realização dos trabalhos.

Aos Professores da UNESP – JABOTICAL Pedro Luiz, Rinaldo e David Bansato, pelo empréstimo de equipamentos e pelos valiosos conselhos para a execução do trabalho.

Aos meus amigos e companheiros do time “Laranja Mecânica Rugby”, pela recepção, amizade e alegria nos momentos passados em Bebedouro, SP.

Aos meus amigos pessoais Diego Garcia, Ivan Durigan e Leonardo Paixão, pela amizade, pelo companheirismo, pela preocupação e pelo suporte nas decisões.

Ao meu companheiro e irmão Dorival Frenerick Junior, “Junim”, por dividir comigo momentos importantes da realização deste trabalho, durante a minha estadia em Bebedouro, SP.

Ao meu amigo Stocler M. Andrade, por, com seus valiosos ensinamentos, ter-me propiciado um crescimento profissional que carrego sempre comigo em meus desafios.

Aos meus companheiros orientados do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Meteorologia Agrícola, por comungar deste meu sucesso.

Ao meu amigo Rafael, pela ajuda no desenvolvimento estatístico deste trabalho.

Ao meu amigo Marcelo Cid Amorim, pela companhia nas “noites viradas” e troca de experiências durante os trabalhos.

Aos meus amigos das empresas IRRIPLUS e IRRIGER, pela troca de experiências, pela confiança e pelo apoio.

À empresa Infinity Bio Energy, representada aqui pelo Sr. Gilmar Martins, por me liberar dos trabalhos, permitindo-me cumprir a reta final de meu doutoramento.

À minha mãe Maria Tereza, pelos dias de luta, pelo sofrimento e pelo apoio incondicional em minhas decisões.

Aos meus irmãos Ricardo, Vanessa, Veridiana e Franciele, pelo amor e carinho.

Aos meus irmãos da república “MOICANA” Custelinha, Marcius, Torão, Tibu, Luizim, Tampsan, Pira, Xolema, Mané (“gajo”), Matuca e Poshoni, pela irmandade, pelo companheirismo e pela fidelidade durante os anos.

Aos meus tios e tias, por terem sempre estado próximo e rezando para o meu êxito em mais esta empreitada.

À minha querida avó Ruth e vô Luiz (*in memoriam*), por tudo o que representam em minha vida e em meu ânimo para continuar a ser um homem de bem.

Aos meus alunos da Eng 340, que, aprendendo comigo, fizeram-me aprender.

À família Voigt, por confiar em meus princípios e permitir que eu fizesse parte de sua história.

A todas as pessoas que um dia fizeram parte da minha vida e contribuíram para a minha formação profissional e intelectual durante os anos em que estive na UFV cursando a graduação, o mestrado e o doutorado.

A uma pessoa especial que, apesar de não estar ao meu lado fisicamente em todos os momentos, serviu como inspiração e estímulo para eu cumprir mais esta etapa em minha vida... Vanessa! agradeço a você por isso.

BIOGRAFIA

LUIZ FABIANO PALARETTI, filho de Maria Teresa Gomes Castanheira e Luiz Roberto Palaretti, nasceu em 20 de setembro de 1977, em Ribeirão Preto, Estado de São Paulo.

Iniciou o Curso de Agronomia no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, no ano de 1996, colando grau em agosto de 2001.

De agosto de 2001 a março de 2002, atuou como consultor técnico na área de Projetos e Manejo de Irrigação, prestando assistência a diversas fazendas do ramo.

Em março de 2002, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, em nível de Mestrado, da Universidade Federal de Viçosa (UFV), defendendo a dissertação em 23 de dezembro de 2003.

No mês de agosto de 2004, deu continuidade à carreira acadêmica, ingressando no Programa de Pós-Graduação, em nível de Doutorado, em Meteorologia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa da tese em fevereiro de 2009.

Atualmente, ocupa o cargo de Supervisor Técnico e Coordenador Agrícola, nas áreas de Irrigação e Fertirrigação, no setor sucroalcooleiro da empresa Infinity Bio Energy, nos Estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia e Mato Grosso do Sul.

SUMÁRIO

	Pagina
RESUMO	ix
ABSTRACT	xii
INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO 1	8
INTERAÇÕES CLIMA x ÁGUA x PLANTA NA FLORAÇÃO DE LARANJEIRA EM BEBEDOURO, SP	8
1. INTRODUÇÃO	8
2. MATERIAL E MÉTODOS	14
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4. CONCLUSÕES	25
5. AGRADECIMENTOS	26
6. REFERÊNCIAS	27
CAPÍTULO 2	32
RELAÇÃO: NECESSIDADES HÍDRICAS X PRODUÇÃO DA LARANJEIRA, EM BEBEDOURO, SP	32
1. INTRODUÇÃO	32
2. MATERIAL E MÉTODOS	39
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4. CONCLUSÃO	53

	Pagina
5. AGRADECIMENTOS.....	54
6. REFERÊNCIAS.....	55
CAPÍTULO 3.....	60
COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET _o) PARA AS PRINCIPAIS REGIÕES PRODUTORAS DE CITROS.....	60
1. INTRODUÇÃO.....	60
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	65
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71
4. CONCLUSÃO.....	92
5. AGRADECIMENTOS.....	93
6. REFERÊNCIAS.....	94
CAPÍTULO 4.....	97
ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS COMPONENTES DA EQUAÇÃO DE HARGREAVES-SAMANI (1985) PARA A REGIÃO DE BEBEDOURO, SP.....	97
1. INTRODUÇÃO.....	97
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	100
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	103
4. CONCLUSÃO.....	112
5. AGRADECIMENTOS.....	113
6. REFERÊNCIAS.....	114
APÊNDICE.....	116
DIAGNÓSTICO EM PROPRIEDADES PRODUTORAS DE CITROS IRRIGADOS NO NORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO.....	117
1. INTRODUÇÃO.....	117
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	122
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	125
4. CONCLUSÃO.....	139
5. AGRADECIMENTOS.....	140
7. REFERÊNCIAS.....	141
ANEXO.....	143

RESUMO

PALARETTI, Luiz Fabiano, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2009. **Estudo dos efeitos do déficit hídrico na produção da laranjeira no norte do Estado de São Paulo**. Orientador: Everardo Chartuni Mantovani. Coorientadores: Gilberto Chohaku Sedyama, Eduardo Sanches. Stuchi e Marco Oliva Cano.

O Estado de São Paulo destaca-se no cenário citrícola mundial, respondendo por 80,50% do total produzido, com média de 25 t ha⁻¹ ano⁻¹ (IBGE, 2007). A floração é estimulada por baixas temperaturas e estresse hídrico que alteram o balanço hormonal da planta, tendo este último componente maior significância. Para monitoramento desse estresse, recomenda-se acompanhar o potencial de água na folha. Após o florescimento, as quedas são comuns, chegando a 98% do total de flores formadas, culminando num último surto de queda de frutos conhecido como “June Drop”, após o que a produção final está praticamente garantida. Observa-se, com isso, que a interação entre o ambiente-água-planta é importante para a condução da cultura. Dessa forma, buscou-se definir, pela análise do potencial de água na folha, como indicador do nível de estresse hídrico, a melhor época de quebra de estresse e a lâmina de irrigação mais adequada para a produção de frutos, em quantidade e qualidade. Para melhor entendimento dessa dinâmica, uma primeira experimentação foi realizada na Estação Experimental de Citricultura de Bebedouro (EECB/COOPERCITRUS), de 05/2006 a 09/2007, com laranjeira ‘Pera’ sobre

“Cleópatra” irrigada por microaspersão. Os tratamentos foram definidos segundo o potencial hídrico foliar (antemanhã): T1: -1,0; T2: -1,5; T3: -2,0; T4: -2,5; e T5: -3,0 MPa, com delineamento inteiramente casualizado com seis repetições descontraídas. Submeteram-se os resultados à análise de variância, comparando os valores médios pelo teste de Tukey a 10% de probabilidade e a regressões múltiplas, considerando a significância dos parâmetros da equação a 30% de probabilidade. Os dados meteorológicos diários foram obtidos *in loco* e utilizados pelo software IRRIPLUS[®] para a realização do balanço hídrico. Avaliaram-se as características vegetativas, reprodutivas e de qualidade de fruto. Foram observadas diferenças estatísticas na queda total de flores, com os maiores valores nos tratamentos mais estressados. Não foram observadas diferenças estatísticas na maioria das características de qualidade de fruto e produção total, e o modelo de regressão múltipla que mais representou as interações entre os tratamentos foi o quadrático. Numa segunda experimentação foram realizadas simulações visando comparar metodologias para estimar a evapotranspiração de referência, parâmetro fundamental para a definição do consumo de água pelas culturas para as principais regiões produtoras de citros do Estado de São Paulo. Compararam-se as estimativas de ETo, em base diária, pelos métodos propostos por Hargreaves e Samani (1985) e Blaney-Criddle – FAO diante do padrão Penman-Monteith – FAO. Na análise deles foram utilizados os parâmetros da equação de regressão, coeficiente de determinação (r^2) e de correlação (r), estimativa do erro-padrão (EEP), estimativa ajustada (SEEA); índice de concordância (d); e índice de confiança (c). Observaram-se tendência à superestimativa dos valores de ETo por Hargreaves-Samani (1985) e subestimativa pelo de Blaney-Criddle – FAO. Hargreaves-Samani (1985) mostrou maior amplitude em relação a Penman-Monteith – FAO nos meses mais quentes e chuvosos do ano, para cima e Blaney-Criddle – FAO para baixo. Nos meses mais frios, a amplitude diminuiu significativamente entre os três métodos estudados. Concluiu-se que, nessas regiões, o método de Hargreaves-Samani (1985) é uma boa opção na estimativa da ETo e, por consequência, no cálculo das necessidades hídricas dos citros. De posse dessas conclusões, realizou-se um trabalho de sensibilidade do método de Hargreaves-Samani (1985), verificando o comportamento dele em relação a variações (“erros”) nas temperaturas máxima e mínima, utilizada na equação. Provocaram-se variações da ordem de 5% nas temperaturas, em diversos cenários, analisando os dados estimados, mensalmente, e dividindo-os nos meses mais frios e

mais quentes do ano. Conclui-se que Hargreaves-Samani (1985) superestimou em 12,5% os valores de ETo em comparação com Penman-Monteith – FAO 56, em todos os cenários avaliados. Variações de 5% nas temperaturas máximas e mínimas não inferem em erros grosseiros nas estimativas de ETo por Hargreaves-Samani (1985), e o acréscimo de 5% na temperatura máxima gera maiores discrepâncias nas estimativas diante do padrão.

ABSTRACT

PALARETTI, Luiz Fabiano, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2009. **Effect of the water stress in the production of the orange tree in the north of the state of São Paulo.** Adviser: Everardo Chartuni Mantovani. Co-Advisers: Gilberto Chohaku Sedyama and Eduardo Sanches Stuchi and Marco Oliva Cano.

The Brazilian citrus industry in recent years, is making a significant leap forward, currently is leading the world production, with emphasis on the state of Sao Paulo that represents 80.50% of the total produced, with an average 25 t ha⁻¹ year¹ (IBGE, 2007). Flowering is stimulated by low temperatures and water stress that changes the plant hormonal balance, having the last component greater significance. For this monitoring is recommended to monitor the potential of water on the leaf. After the flowering falls are common, reaching 98% of the total flowers formed culminating in a last outbreak of falling fruit known as "June Drop", where after that the final production is virtually guaranteed. It is observed that the interaction among the environment x water x plant is important for the conduct of culture, thus sought to define, by analyzing the potential of water on the leaf, as indicator of the water stress level, the best season of break of stress and the irrigation depth more suitable for production of fruits in quantity and quality. For a better understanding of the dynamics, a first experiment was performed at the Estação Experimental de Citricultura de Bebedouro (EECB / COOPERCITRUS),

from 05/2006 to 09/2007, with orange 'Pêra' on "Cléopatra" irrigated by microsprinkler irrigation. The treatments were defined according to leaf water potential (antemanhã): T1: -1.0; T2: -1.5; T3: -2.0; T4: -2.5 and T5: -3.0 MPa, with completely randomized desing with 6 replicates. The results were submitted to the analysis of variance, comparing the average numbers by the Tukey test at 10% of probability, and multiple regressions considering the parameters significance of the equation at 30% of probability. The daily meteorological data were obtained *in loco* and used by software IRRIPLUS[®] for completion of the water balance. The vegetative, reproductive and quality characteristics of fruit were evaluated. There were statistical differences in the overall flowers fall, with the highest values in the most stressful treatments. There were no statistical differences in most of the characteristics of fruit quality and total production, and the multiple regression model that more represented the interactions between treatments was the quadratic. In a second experiment were performed simulations to compare methodologies for estimating the evapotranspiration of reference, the basic parameter to define the water consumption by crops for the main citrus producing regions of the state of Sao Paulo. The estimates of ETo were compared on a daily basis, by empirical equations proposed by Hargreaves & Samani (1985) and Blaney-Criddle – FAO according to the standard of Penman-Monteith – FAO. In the analysis of the same parameters of the regression equation were used, determination coefficient (r^2), correlation (r), estimate the trapping data (EEP), adjusted estimate (SEEA), coefficient of correlation (r); indice of concordance (d), indice of confidence (c). There was a tendency to overestimate the values of ETo by Hargreaves-Samani (1985) and underestimation by Blaney-Criddle – FAO. Hargreaves-Samani (1985) showed bigger magnitude for PM in warmer and wet months of the year to up and Blaney-Criddle – FAO to down. During the coldest months the scale diminish significantly among the three methods. It concludes that for these regions the method of Hargreaves-Samani (1985) is a good option to estimate the ETo and consequently in the calculation of the water requirements of citrus. With this conclusion, it performed a sensitivity of the Hargreaves-Samani (1985) method, checking its behavior same in relation to changes "errors" in temperatures, maximum and minimum, used in the equation. It was caused variations in the order of 5% in temperatures in various scenarios, and examined the estimated data monthly, and dividing them during the coldest and hottest months of the year. It

concludes that Hargreaves - Samani (1985) overestimated in 12.5% the values compared to ETo Penman-Monteith – FAO 56, in all scenarios evaluated. Variations of 5% in maximum and minimum temperatures do not infer gross errors in the estimates of ETo by Hargreaves - Samani (1985) and the increase of 5% in T max generates bigger discrepancy in the estimates due to the standard.

INTRODUÇÃO GERAL

A grande adaptabilidade dos citros às condições climáticas diversas permite sua exploração em praticamente todo o território nacional. Isso confere ao Brasil o primeiro lugar na produção mundial de citros, com uma área total de aproximadamente 800 mil ha, produção de 18.360 t de frutas e produtividade média de 23 t ha⁻¹, que se traduz em 450 milhões de caixas produzidas (IBGE, 2008).

O Estado de São Paulo destaca-se respondendo por 80,50% da produção nacional, seguido pelos Estados da Bahia (4,50%) e de Sergipe (4,15%), apresentando produtividades da ordem de 25, 16 e 14 t ha⁻¹/ano, respectivamente (IBGE, 2007).

As perspectivas para a safra 2008/2009 é uma redução de 3% na produção, ficando na casa dos 436 milhões de caixas (IBGE, 2008).

A laranja tem como centro de origem as zonas tropicais úmidas do Sudeste da Ásia, sendo a laranja comum (*Citrus sinensis* L. Osbeck) a mais cultivada no Brasil, para consumo *in natura* ou processada, na forma de suco, produção de óleo e ácido cítrico, além do bagaço utilizado como fonte de energia na indústria.

São plantas que se desenvolvem bem em climas subtropicais, sendo seu crescimento e desenvolvimento extremamente influenciados pelas condições climáticas, como temperatura, umidade relativa e déficit de pressão de vapor e disponibilidade de água.

São exigentes em temperatura para seu crescimento, cessando-o quando essa se reduz de 12 °C (MEDINA, 2003). A baixa temperatura, associada ao estresse

hídrico, durante o inverno, é fator relevante e deve ocorrer no período de pré-florescimento; quando em estado de latência a planta é induzida a florescer na primavera. Temperaturas acima de 36 °C inibem o crescimento radicular (CASTLE, 1980; VOLPE, 1992), reduzem a capacidade de absorção de água e nutrientes e a fixação da planta ao solo e, quando na faixa de 22 °C a 25 °C, proporcionam a taxa máxima de fotossíntese em *Citrus sinensis* (L.) Osbeck (MACHADO et al., 2002).

Estão definidos, para plantas cítricas, de dois a cinco surtos de crescimento anuais, sendo o surto primaveril o mais importante e intenso (OGATA, 1980), ocorrendo emissão de ramos vegetativos e reprodutivos, porém nem todas as gemas do ramo geram flores, sendo necessária a permanência de algumas vegetativas responsáveis pela manutenção do crescimento futuro das plantas (GOLDSCHMIDT; MONSELISE, 1970; LORD; ECKARD, 1985).

Os citros mantêm crescimento vegetativo, com reposição de folhas continuamente (RODRIGUEZ, 1987) com vida útil variando de nove meses a dois anos (GOREN, 1993; KRIEDEMANN; BARRS, 1981), exceto em situações que ocorra ação exógena. Na primavera acontecem os surtos mais significativos de reposição de folhas, coincidindo com o pico de necessidade hídrica da cultura. Observam-se valores de índice de área foliar (IAF) da ordem de 12 (DAVIES; ALBRIGO, 1994), com necessidade de 2,3 m² de folhas para produzir 1 kg de fruto (MEDINA, 2005). Relaciona-se a área foliar com a área de projeção da copa, para fins de estudo de sobreposição de folhas, inferindo uma relação de 2/1 e 3/1 em árvores de até 3 anos e mais velhas, respectivamente (NORDELO et al., 1991).

A assimilação de CO₂ evolui com a idade das folhas, observando-se valores de 4-8 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ aos 3 - 4 meses de idade (KRIEDEMANN; BARRS, 1981) e por volta de 12 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ aos 6 meses (MEDINA, 2003; MACHADO, 2005) e o período do ano, quando se observa queda significativa no mês de julho em relação a janeiro, provavelmente pela oscilação de temperatura (MACHADO et al., 2002).

A temperatura foliar também é importante, principalmente quando associada ao aumento do déficit de pressão de vapor do ar, por acarretar redução na taxa de assimilação de CO₂ por efeitos causados na condutância estomática e na eficiência de carboxilação (MACHADO et al., 2005).

O crescimento de raízes em plantas adultas se dá em ciclos alternados com o crescimento da parte aérea (NORDELO et al., 1991), num ritmo regido pela umidade e temperatura do solo, independentes entre si (FORD, 1964).

A transição do crescimento vegetativo para o reprodutivo é dividido em fases (DAVENPORT, 1986), que por interações bioquímicas e fisiológicas se iniciam na indução da floração, passam pela fixação do fruto e terminam na produção final. Pode-se resumir a ocorrência dessas etapas na necessidade de um estímulo à floração, geralmente ocasionado por baixas temperaturas e estresse hídrico, normalmente nos meses de junho e julho, no Estado de São Paulo (PEREIRA et al., 2003); nessa época, a gema já está totalmente definida floralmente (AYALON; MONSELISE, 1959).

Na prática, uma boa indução virá da coincidência de vários fatores, além de temperaturas mais frescas durante o outono. Quanto melhores forem o estado nutricional da árvore e o seu enfolhamento e quanto mais tempo houver transcorrido entre a colheita do ano anterior e o “momento” da indução, melhores serão os resultados.

O resultado de um florescimento abundante só é conhecido após as inúmeras quedas “naturais” de flores e frutos, sendo essa situação o resultado de um mecanismo de ajuste da produção da planta à capacidade de suprimento de carboidratos desta (GOLDSCHMIDT; KOCH, 1996). As quedas ocorrem no período de outubro a dezembro em razão, também, das condições climáticas locais (ALBRIGO, 1992)

É comum variação na produção ao longo dos anos de cultivo devido a produções abundantes alternadamente (AGUSTÍ, 2000), fato atribuído à baixa reposição de reservas utilizadas na frutificação, por intervalos de safras. Na literatura, várias inferências são feitas sobre o efeito inibitório da floração pela presença de frutos da safra anterior, atribuído à forte drenagem de carboidratos pelos frutos em crescimento (GOLDSCHMIDT; KOCH, 1996) e ao desbalanço hormonal.

A capacidade de retenção de água confere aos citros tolerância a longos períodos de seca, como reflexo da combinação de fatores anatômicos e fisiológicos que limitam o movimento de água na planta (DAVIES; ALBRIGO, 1994), destacando-se a baixa quantidade de estômatos nas folhas (EHLER; BAVEL, 1968), ajustamento osmótico (HARE et al., 1998), ajuste elástico da parede celular (DOMINGO, 1994), baixa condutividade hidráulica da raiz e subdesenvolvimento

das redes de vasos de primeira e segunda ordens na planta (KRIEDEMANN; BARRS, 1981). Mesmo assim, no período de formação do pomar o crescimento vegetativo é altamente afetado pela falta de água, e alguns trabalhos indicam que, no longo prazo, os efeitos do déficit hídrico são mais danosos ao crescimento da planta do que aos frutos (LEVY et al., 1978).

O espaçamento, idade, vento e umidade do ar são alguns dos fatores que interferem nas necessidades hídricas da laranja. A planta se mantém verde durante o ano todo, sofrendo fortes influências das condições ambientais de cultivo. Um déficit imediato e, ou, a ocorrência de um anterior irá refletir negativamente a capacidade produtiva da planta.

Uma planta sob estresse hídrico apresenta redução na área foliar por senescência e abscisão de folhas (MEDINA et al., 2005), sendo esse processo condicionado pelo nível submetido de estresses. Chegam a ser observadas diferenças de 55% no incremento da área foliar em plantas irrigadas (JÚNIOR et al., 2005) diante das cultivadas em sequeiro, resultado de um mecanismo de ajuste da área foliar à perda de água, adequando-se ao ambiente com limitação hídrica. Com esse comportamento, a planta afetará diretamente a relação fonte-dreno. Atribui-se o estresse severo, ocorrido geralmente em prol da floração, como atuadores na desfolha excessiva das plantas (MEDINA et al., 2005).

O efeito relativo do estresse hídrico é maior sobre a condutância estomática do que na taxa fotossintética, uma vez que o fechamento estomático inibe a transpiração mais do que diminui as concentrações intercelulares de CO₂ (TAIZ; ZEIGER, 2004). Em citros, a queda da fotossíntese parece não ser causada somente pelo fechamento estomático (SALISBURY; ROSS, 1991), uma vez que cálculos da concentração interna de CO₂ de plantas sob estresse moderado mostraram que essa concentração foi mantida e as reações fotossintéticas, inibidas (JUNIOR et al., 2005). Atribui-se essa redução na taxa de assimilação do CO₂ em aumento de resistências à difusão interna no mesófilo (KRIEDEMANN; BARRS, 1981). Na literatura são relatados valores de taxa assimilatória de 0,05 mol m⁻² s⁻¹ e 0,0125 mol m⁻² s⁻¹ (pico de demanda), nas lavouras irrigadas e não irrigadas (JÚNIOR et al., 2005).

O déficit também irá atuar na eficiência do sistema radicular dos citros, paralisando o crescimento quando o potencial mátrico atinge -0,05 MPa (SPIEGEL-ROY; GOLDSCHIMIDT, 1996), ressaltando-se que esse efeito é influenciado pelas características físicas do solo e do porta-enxerto utilizado (KLEPPER, 1987). Essa

perda de eficiência gera maior resistência interna ao fluxo de água da raiz para a planta, culminando na perda total de turgescência pela planta (CASTEL; BUJ, 1990; BIELORAI; MENDEL, 1969).

A baixa oferta de água para os citros ocorre, principalmente, devido à sazonalidade de ocorrência de precipitações nas principais regiões produtoras com estações de secas, gerando o déficit hídrico, o aumento nos custos de produção e a descapitalização dos produtores que, somados às variações de câmbio, criaram um ambiente de maior competitividade no ramo.

Nesse cenário, a adoção da irrigação como forma suplementar de fornecimento de água, visando a uma melhoria nas condições edafoclimáticas do pomar, se faz necessária. Associada à seleção de porta-enxertos apropriados, fertirrigação e variedades potencialmente mais produtivas, aumenta as expectativas no êxito da exploração.

Conforme discutido até aqui, percebe-se que inferir sobre cada componente do sistema solo-água-planta-ambiente, isoladamente, é impossível, já que a interação acontece de forma marcante e se expressa em termos de produção final, negativa ou positivamente.

As exigências hídricas da cultura do citros variam de 600 a 1.300 mm por ano (ORTOLANI, 1991), embora a disponibilidade hídrica satisfatória não garanta que o suprimento de água na planta seja alcançado. Isso se deve ao fato de que, para a absorção de água à necessidade de um diferencial de pressão entre o solo, a planta e o ambiente, é a interação desses três sistemas que ditam as regras no processo de absorção e transporte de água e nutrientes do solo para a planta e desta à atmosfera.

As necessidades hídricas das plantas são quantificadas, seguindo-se um processo conhecido como evapotranspiração. Esta é um componente do ciclo hidrológico que reflete o somatório da evaporação de água do solo e da superfície da planta mais a transpiração do vegetal.

De acordo com Pereira et al. (1997), vários são os métodos para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), sendo o proposto por Penman-Monteith – FAO (1998) considerado o padrão, por considerar condições preestabelecidas.

Devido à variabilidade de condições encontradas em campo, que fogem àquelas estipuladas para a estimativa “padrão”, são necessárias, porém, correções que busquem traduzir essa nova realidade, evitando-se erros nas estimativas pelo método-padrão. Dessa forma, o conceito de evapotranspiração da cultura (ET_c) é difundido e

incorpora, em sua estimativa, o embasamento da ETo com as devidas correções pela introdução de coeficientes de cultura (kc), variando de acordo com a cultura e o respectivo estágio de desenvolvimento (JENSEN et al., 1968); coeficiente de estresse de solo (ks) (ALLEN et al., 1998) e coeficiente de localização (kl) (KELLER; BLIESNER, 1990). Todos esses coeficientes são encontrados na literatura, que explicitam, para cada condição, o seu uso.

O grande inconveniente do uso da equação-padrão para determinação seria a grande quantidade de elementos climáticos para a estimativa da ETo. Por isso, a adoção de métodos que requeiram menor quantidade de informações tem sido muito utilizada. Entre esses, os propostos por Hargreaves e Samani (1985) e por Blaney-Criddle – FAO-24 (DOORENBOS; PRUITT, 1977), tendo o primeiro características de superestimar o valor de ETo e o segundo, subestimar (FRANÇA NETO, 2003; DOS REIS, 2007).

Salienta-se que, na maioria dos casos em que se utilizam métodos mais simples, há necessidade de calibrações locais visando a um melhor desempenho das estimativas.

Informações desse tipo podem auxiliar os irrigantes sobre como manejar melhor a sua irrigação, ou seja, melhorar a eficiência de uso da água, buscando reduções de consumo de água e custo. Nas condições do norte do Estado de São Paulo, pesquisas têm revelado que é possível obter boas produções em citros, repondo apenas 50% da lâmina consumida por ETc, em pomares que utilizam sistemas de irrigação localizada (CRUZ, 2005). Semelhante a isso, vários são os experimentos realizados que enfatizam o comportamento da produção perante a variação de lâminas de irrigação (MARIN, 2000; BOMAN et al., 2000; SILVA, 2005; SHIRGURE et al., 2000a), autores esses que relataram melhores “performances” de distribuição da água no perfil do solo diante da aplicação de lâminas menores de irrigação.

Essa informação se traduz em outro ponto a ser observado, que se refere à quantidade de água a ser aplicada, ou num conceito mais amplo, o gerenciamento desse sistema irrigado, no seu âmbito, de equipamento, água e planta. Esse conceito, muito importante no ramo de agricultura irrigada, tem recebido pouca atenção por parte de produtores irrigantes, sendo negligenciado, na maioria das vezes, por falta de conhecimento e, ou, ausência de assessorias externas à propriedade, realizadas por profissionais e instituições preparadas para tal.

Este trabalho teve como seu principal fundamento estudar o comportamento da laranjeira irrigada, enfatizando os aspectos da interação água-planta-ambiente, na região norte do Estado de São Paulo, através de medidas em campo (localizadas) e simulações (regionalizadas), finalizando, em nível de extensão rural, com visitas locais a produtores irrigantes, propiciando a estes acesso a informações, tecnologias disponíveis para uso no gerenciamento da irrigação no dia a dia e avaliação do sistema de irrigação.

De forma mais ampla, este estudo buscou mostrar os anseios e necessidades de produtores, quanto às principais dúvidas de quem irriga: Quando?... Quanto irrigar?...

CAPÍTULO 1

INTERAÇÕES CLIMA x ÁGUA x PLANTA NA FLORAÇÃO DE LARANJEIRA EM BEBEDOURO, SP

1. INTRODUÇÃO

O ponto de partida do ano agrícola em citros é a floração, direcionando os produtores para a realização de muitos procedimentos no manejo do pomar, notadamente os relacionados à nutrição, sempre tendo a flor como referência.

Acompanhando os vários estádios fenológicos na pré e pós-florada da laranja, observou-se a dimensão da influência que o clima exerce sobre a planta, modificando época, intensidade e qualidade da florada, com efeitos evidentes também sobre o “pegamento” dos futuros frutos.

O processo geral de floração dos citros divide-se em três fases: indução, diferenciação e antese (NORDELO; TORRE, 1991), e alguns autores ainda citaram uma fase que antecede a indução dita evocação floral (RENA; MAESTRI, 1986). Nessa fase, relata-se a ocorrência de uma atividade sequencial de naturezas morfológicas, bioquímicas e fisiológicas, iniciando-se com a chegada do estímulo indutivo. Esses estímulos variam de 80 a 120 dias antes do florescimento (LIMA, 1990), através de possíveis mensageiros químicos provenientes das folhas. No hemisfério sul, a indução floral atinge seu pico no final de julho e início de agosto, ou seja, no inverno (REUTHER, 1977; VOLPE, 1992).

Posterior à indução, tem-se a diferenciação floral que ocorre, de forma sincronizada, com o início do crescimento. É dividida em três condições distintas: gemas diferenciadas, não diferenciadas e pré-diferenciadas (NORDELO; TORRE, 1991), em que ocorrem transformações histológicas e morfológicas, através da divisão e diferenciação celular e do alongamento e desenvolvimento de órgãos florais, ou seja, primórdios florais (DAVENPORT, 1990).

Conclui-se, com isso, que as plantas cítricas apresentam sequência natural de repouso ou pré-florescimento, florescimento, pegamento ou fixação do fruto e crescimento do fruto (BENMECHLIA; CARROLE, 1989).

Nas plantas cítricas estão definidos de dois a cinco surtos de crescimento anuais, sendo o primaveril mais importante e intenso (OGATA, 1980), quando ocorre emissão de ramos vegetativos e reprodutivos; porém, nem todas as gemas do ramo geram flores, sendo necessária a permanência de algumas, na fase vegetativa, responsável pela manutenção do crescimento futuro das plantas (GOLDSCHMIDT; MONSELISE, 1970; LORD; ECKARD, 1985).

O número total de flores por árvore pode chegar a 80.000. Destas, somente 0,1 a 3% desenvolvem-se em frutos maduros, evidenciando-se a proporção inversa entre o número de flores e a fixação de frutos (GUARDIOLA, 1992). Atribui-se a isso a existência de mecanismos de ajuste entre oferta e demanda de carboidratos (GOLDSCHMIDT; KOCH, 1996) e a ocorrência de condições climáticas adversas (ALBRIGO, 1992), que são cumulativas e podem afetar regularmente as produções dos anos subsequentes.

Destaca-se a atuação de fatores endógenos e exógenos no processo de indução do florescimento. As condições ambientais, como fatores exógenos, principalmente a temperatura, umidade relativa do ar, precipitação e umidade do solo, determinam a época, a intensidade e distribuição da floração (AGUSTÍ; ALMELA, 1991; KRAJEWSKI; RABE, 1995).

No inverno, a ocorrência de baixas temperaturas ($< 13\text{ }^{\circ}\text{C}$), associadas à diminuição significativa das chuvas, ocasionam, assim, redução na taxa de crescimento das plantas, nas quais ocorrem mudanças nas gemas, que induzirão o florescimento na primavera, em face do aumento da temperatura do ar associada à ocorrência de chuvas (ALBRIGO, 1992; REUTHER, 1977). Esse período caracteriza-se pela quebra de dormência de gemas floríferas, mais expressivas em ramos com 6 a 18 meses que não possuem frutos.

O surgimento de flores nas gemas axilares de ramos com 12 meses, geralmente formados na primavera anterior e nos ramos formados no verão e outono (mais novos), é típico nas regiões norte (MEDINA et al., 2005) e sudeste do Estado de São Paulo (PRADO, 2006), retomando o crescimento vegetativo com a elevação da temperatura do ar, resultando num surto de crescimento na primavera. Assim, o estímulo ao florescimento é quantitativo, com possibilidade de atuação cumulativa do déficit hídrico e da temperatura baixa (SPIEGEL-ROY; GOLDSCHMIDT, 1996).

Avalia-se que as temperaturas mínimas para ocorrência do florescimento seja de 19 °C por pelo menos três semanas (MEDINA et al., 2003) ou totalizando 800 a 1.000 h de temperaturas abaixo de 13 °C, sem interrupções no período (ALBRIGO et al., 2002). Em estudos realizados em casas de vegetação, essa magnitude diminui para próximo de 9,9 °C (CRUZ et al., 2006).

Os potenciais hídricos do solo e da planta ditam o nível de deficiência hídrica ao qual estão submetidos e a expressividade dele na floração. Essa deficiência é tida como o principal promotor da floração em climas tropicais, o que é uma ferramenta contra o crescimento vegetativo da planta (MEDINA et al., 2003), atuando conjuntamente com as baixas temperaturas e associado a níveis de $\text{NH}^{+3} - \text{NH}_4^+$ foliar, por ser este composto de concentração próxima de 400 µg/g massa de tecido foliar seco, um estímulo à iniciação do processo de floração e otimização no pegamento dos frutos (LOVATT et al., 1988).

O déficit hídrico, visando à floração, atua de forma marcante nos níveis hormonais da planta, interferindo no balanço complexo de auxinas, giberelinas e citocininas (PIMENTEL, 1998) necessário para o florescimento, embora o grau dessa interferência não esteja bem elucidado (POSPISILOVA et al., 2003). Assim, o déficit hídrico parece ser mais efetivo na quebra da dormência das gemas (DAVENPORT, 1990), exigindo um período de seca seguido por um reumedecimento (CASSIN et al., 1968). Na literatura, encontram-se valores para esse “período de seca” da ordem de duas a cinco semanas, sendo um número maior de flores obtido com períodos mais longos (SOUTHWICK; DAVENPORT, 1986).

Na região Norte do Estado de São Paulo, a indução ocorre nos meses de junho/julho, e o florescimento é iniciado logo após as primeiras chuvas significativas (>20 mm) ocorridas nos meses de agosto/setembro (TUBÉLIS, 1995).

Tem-se, no entanto, o inconveniente de floradas “temporãs” caso a árvore recém-florescida venha a sofrer um novo ciclo de estiagem ou frio, situação muito comum em pomares de laranja variedade ‘*pera*’ sem irrigação.

Da influência do déficit hídrico no balanço hormonal, destaca-se sua correlação com o ácido giberélico, um antagonista do processo de florescimento. Monteselise e Haley (1964) relataram esse efeito inibitório das giberelinas na fase de indução floral. As pressuposições dos mecanismos envolvidos na interação giberelinas *versus* promotores de florescimento datam da década de 1960, quando há relatos de que a atuação de substâncias florígenas desconhecidas, formadas nas folhas, sobre gemas, desoprimindo genes formadores de flores, só ocorre quando os níveis de giberelinas endógenas não são suficientes para inibir o processo (MONTESELISE; GOREN, 1972).

Uma explicação seria de que, associado a baixas temperaturas, o déficit hídrico acarretaria redução efetiva do sistema radicular (VOLPE, 1992). Por ser esse sistema o principal sítio produtor de giberelinas, haveria diminuição na síntese desse hormônio, culminando na redução dos níveis deste na parte aérea da planta, desencadeando os processos relativos ao florescimento (MONSELISE, 1985).

A técnica de aplicação de ácido giberélico em pomares cítricos durante o período de indução floral, visando à inibição da floração primaveril, à correção de improdutividades e ao aumento de qualidade de fruto (CASTRO et al., 2001), vem sendo utilizada, embora não tenha seu efeito bem elucidado nas condições do Estado de São Paulo. Tem como possível efeito colateral a redução na formação de flores da safra seguinte, conforme Sanches et al. (2001), que relataram diminuição significativa no número de flores quando aplicada uma concentração de 80 mg L⁻¹ de AG₃ (giberelinas).

Davenport (1990) informou que as giberelinas produzidas por frutos, de safras anteriores, presentes na árvore podem atuar negativamente no desenvolvimento floral e, segundo Goldschmidt e Koch (1996), competem com ela por carboidratos, resultado confirmado por Garcia-Luis et al. (1995) e Prado (2006), que relataram maior intensidade de florescimento e vegetação em plantas com desbaste de frutos. A aplicação de inibidores das giberelinas, promotoras do florescimento e normalmente utilizada nos pomares paulistas, é criticada por alguns autores (SPIEGEL-ROY et al., 1996), devido às possíveis interferências das variações climáticas, épocas de aplicação e das práticas culturais, em sua eficiência.

Outro fitormônio diretamente afetado pelo estresse hídrico é o ácido abscísico (ABA), que regula os processos vitais da planta e relaciona-se com respostas diretas a estresses ambientais. Destaca-se por sua alta mobilidade ao longo dos vasos condutores, é sintetizado nas folhas e raízes da planta (JESCHKI et al., 1997), tendo na pressão de turgescência o sinal regulador de seu metabolismo. Sob efeito do déficit hídrico, sua biossíntese e redistribuição atuam no fechamento estomático, reduzindo a perda de água pela transpiração (TAIZ; ZEIGER, 2004; TARDIEU; DAVIES, 1992).

Na busca do melhor entendimento sobre as interações água-planta-ambiente, alguns modelos para quantificar os efeitos das variações do clima na produção são muito utilizados (ROBERTSON, 1983), entre os quais se destaca o proposto por Kaufmann (1968), que correlaciona os fatores que influenciam o potencial de água nas folhas. Esse potencial é um componente do gradiente de movimento de água do solo através da planta até a atmosfera, sendo afetado pelo potencial de água no solo, o gravitacional, e pela resistência ao fluxo de água do solo até as folhas e pela intensidade de água perdida pelas folhas. Esse modelo integra os fatores ambientais e fisiológicos que interferem no potencial hídrico das folhas, relacionado ao fluxo transpiratório. Assim, qualquer efeito estomático e ambiental irá afetar a transpiração e, conseqüentemente, o potencial de água na folha. E da mesma forma afetará o do solo.

Observou-se proporcionalidade entre o número de flores e o potencial da água nas folhas (ψ_{folha}), que dita o estado de hidratação do tecido, geralmente medido nas primeiras horas da manhã. Pires e Rojas (1999) observaram por volta de 20 flores por ramo, quando o ψ_{folha} na antemanhã situou-se entre -2,5 e -3,0 MPa. O estresse exagerado normalmente não aumenta a produção, sendo seguido por aborto excessivo de flores e desgaste da planta. Chaves (1995) relatou os efeitos negativos nas trocas gasosas e atividades carboxilativas das plantas pelo decréscimo do potencial de água durante o dia.

Reduções muito pequenas no potencial hídrico foliar ($< -0,06$ MPa), valor abaixo do normalmente encontrado em planta no seu ambiente de crescimento, são suficientes para potencializar a resposta dos estômatos ao ABA (THOMPSON et al., 2000), causando diminuição na condutância estomática (GOMES et al., 2004). Esse resultou na oscilação da fotossíntese diária com o potencial hídrico foliar, com maiores valores pela manhã, decrescendo à tarde (MACHADO et al., 2002). Logo, a

medição do ψ_{folha} apresenta-se como alternativa no estudo do florescimento em citros.

Para tanto, este estudo visou avaliar a interação do florescimento com o potencial de água na folha, para laranjeira ‘Pera’ cultivada em campo, no Norte do Estado de São Paulo, relacionando essa interação com o clima, para um melhor entendimento do sistema água-planta-ambiente.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio experimental foi realizado na Estação Experimental de Citricultura de Bebedouro (EECB), no Norte do Estado de São Paulo (latitude 20°53'S, longitude 48°28' W e altitude 573 m), no período de 05/2006 a 09/2007. O clima, tipo Aw, segundo a classificação climática de Köppen, segundo Rolim et al. (2007), apresentou temperaturas mínima e máxima e precipitações média anual de 17,5 °C, 31 °C e 1.440 mm, respectivamente. Num pomar de laranjeiras 'Pera' sobre tangerinas Cleópatra, com aproximadamente 25 anos de idade, espaçadas de 7 x 5 m, irrigado com microaspersor autocompensado com vazão de 55 L h⁻¹ e pressão de serviço de 15 mca, a avaliação do sistema de irrigação resultou na determinação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) de 98% (BERNARDO, 2007).

O solo apresenta classe textural franco-argilo-arenoso, com valores de capacidade de campo, ponto de murcha e densidade da ordem de 18,87% e 9,47%; 1.010 kg m³ para a camada de 0 – 0,30 m e de 21,95; 10,45; 1.770 kg m³ para a camada de 0,30 – 0,60 m.

Aproximadamente 20 dias após o término das chuvas de abril, adotando-se a última chuva significativa (> 20 mm) nesse mês, considerou-se o período de estresse no mês de maio de 2006, sendo este o marco inicial da experimentação em campo.

Os tratamentos T₁, T₂, T₃, T₄ e T₅ foram definidos pelos valores de potencial de água na folha de -1,0; -1,5; -2,0; -2,5; e -3,0 MPa, medidos na antemanhã (≈ 5h30), com câmara de Scholander nos ramos do terço médio da planta com dois a quatro pares de folhas totalmente desenvolvidas, sempre na mesma face de

exposição. Essas medidas foram realizadas semanalmente, a partir da primeira quinzena de julho, sendo iniciada a irrigação à medida que eram alcançados os potenciais hídricos foliares preestabelecidos (tratamentos). Devido ao início da ocorrência das chuvas, o último tratamento (T5) não alcançou o potencial hídrico fixado.

O delineamento foi o inteiramente casualizado, em desencontro, com seis repetições considerando cada árvore como uma unidade experimental, num total de 30 árvores úteis e 18 na bordadura. Submeteram-se os resultados à análise de variância, comparando os valores médios pelo teste de Tukey a 1%, 5% e 10% de probabilidade e por regressão múltipla, considerando-se a significância de 30% para os parâmetros β_0 e β_1 e maior coeficiente de determinação (r^2).

Os elementos climáticos diários coletados numa estação meteorológica automática abasteciam o software IRRIPLUS[®], utilizado no cálculo do balanço hídrico.

Com os dados obtidos na estação meteorológica foram calculados o número de horas diárias de temperaturas inferiores a 13 e 20 °C, no período de pré-florescimento, o número de horas de temperaturas superiores a 30 e 36 °C; e o déficit da pressão de vapor na atmosfera (DPV), definido com a diferença entre a pressão de vapor de saturação (e_s) (equações 1 e 2) e a pressão real de vapor do ar (e_a) (equação 3).

Mediram-se as taxas de fotossíntese, com o auxílio de um aparelho Licor, em duas folhas por árvore localizada no terço médio inferior e na entrelinha do pomar, buscando-se subsídios para auxiliar a discussão dos resultados.

$$e^o(T) = 0,6108 * \exp\left[\frac{17,27 * T}{T + 237,3}\right] \quad \text{eq. 1}$$

em que:

$e^o(T)$ = pressão de saturação de vapor à temperatura do ar, kPa;

T = temperatura do ar, °C; e

\exp [...] 2,7183 = base do logaritmo natural elevado à potência [...].

$$e_s = \frac{e^o(T_{máx}) + e^o(T_{mín})}{2} \quad \text{eq. 2}$$

em que:

e_s = pressão de saturação de vapor média, kPa;

$e^\circ (T_{\text{máx}})$ = pressão de saturação de vapor à temperatura máxima, kPa; e

$e^\circ (T_{\text{mín}})$ = pressão de saturação de vapor à temperatura mínima, kPa.

$$e_a = \frac{UR_{\text{média}}}{100} * e_s (T_{\text{méd.}}) \quad \text{eq. 3}$$

em que,

e_a = pressão real de vapor do ar, kPa;

$UR_{\text{média}}$ = umidade relativa média, %; e

$T_{\text{média}}$ = temperatura média do ar, °C.

Para a contagem das flores na árvore, considerou-se a plena floração quando da abertura de 80% das flores. Para tanto, foi utilizado um quadrado de alumínio de 1,0 x 1,0 m (1,0 m²), colocado a uma altura de 1,70 m (terço médio da árvore), nas faces das entrelinhas do pomar, sendo a queda total a diferença entre a leitura atual e a imediatamente anterior.

Para a contabilização de queda de frutos (“june drop”), a estratégia de contagem foi alterada, escolhendo-se 12 ramos por planta e três por quadrante, o que facilitou a visualização das quedas.

Na colheita dos quatro tratamentos, em setembro de 2007, contou-se o número de frutos por planta (NFP); calcularam-se a eficiência de produção (IP) – razão entre NFP e o volume de copa (VC) – e a produção, expressa em kg/planta.

Calculou-se o uso eficiente da água (UEA) como a razão entre a ETc (em m³ ha⁻¹) e a produtividade (em kg ha⁻¹).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, apresenta-se a caracterização climática, pela análise das temperaturas do ano de 2006. Observa-se, nessa figura, uma variação bem definida ao longo do ano, com destaque para a ocorrência de baixas temperaturas nos meses de maio a julho, época coincidente com a indução da florada em laranjeira. A temperatura média anual foi de aproximadamente 25 °C, sendo esta considerada ótima para o desenvolvimento do citros (RODRIGUEZ, 1987).

No comportamento da precipitação, observou-se uma zona de redução drástica do volume na entrada do mês de maio, situação que contribuiu para a adoção dos tratamentos de irrigação nesse mês, considerando a última chuva significativa (25,90 mm), ocorrida no mês de abril. A inexpressividade da ocorrência de chuvas nos meses de junho/julho resultou em déficits hídricos satisfatórios, que proporcionaram o florescimento nesse período.

Observa-se, na Figura 2, que o déficit gerado no ano de 2006, devido à associação dos elementos de clima, iniciou-se já em abril (66 mm), culminando com o valor total acumulado, no período de maio/julho, de 211,85 mm, totalizando 266,14 mm anual. O estresse hídrico gerado pela escassez de chuvas nos meses frios (floração) é nitidamente eliminado com a retomada do volume de chuvas no mês de setembro.

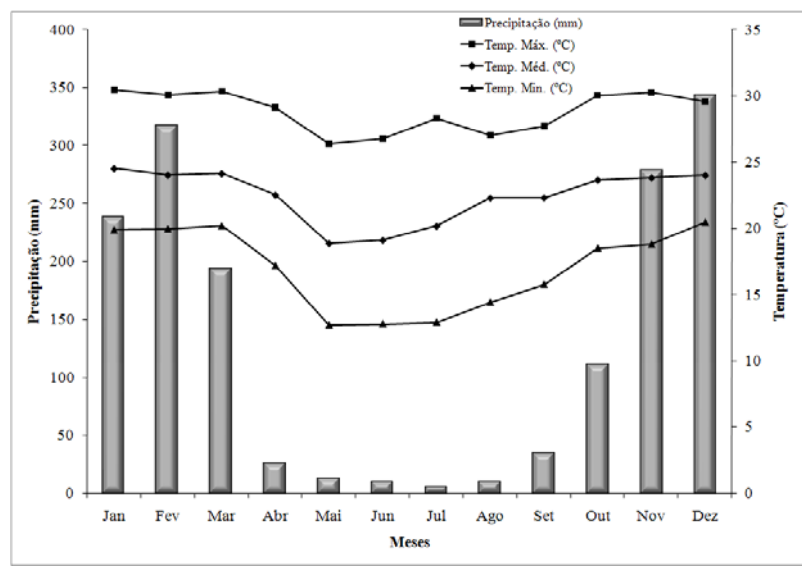


Figura 1 – Variação sazonal das médias mensais de temperatura e precipitação ocorrida no ano de 2006. Bebedouro, SP.

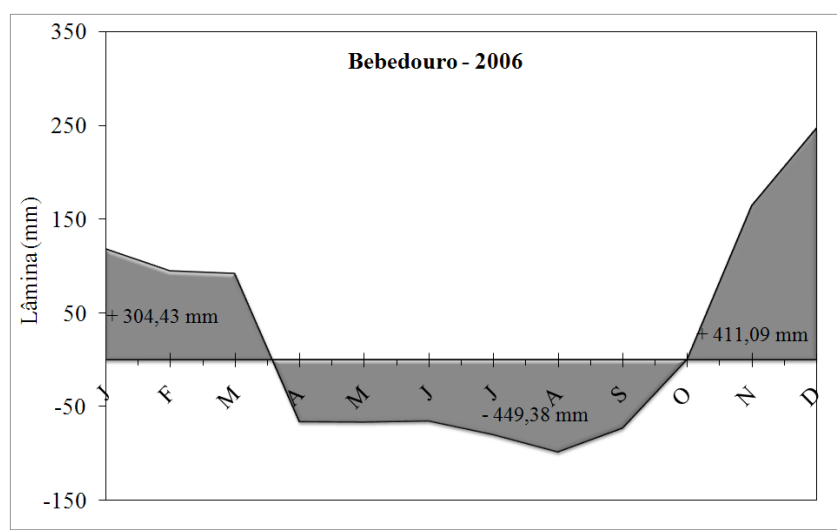


Figura 2 – Variação sazonal do balanço hídrico conforme IRRIPLUS, ocorrida no ano de 2006. Bebedouro, SP.

Na Figura 3, observam-se o comportamento do déficit de pressão de vapor (DPV) e a umidade relativa do ar (UR), com valores extremos de DPV no mês de agosto, decrescendo em setembro com o aumento da umidade relativa e da temperatura do ar. Embora a umidade relativa do ar não tenha efeito direto na

produção de citros, sua associação aos demais elementos do clima (chuva e temperatura) resulta no comportamento descrito anteriormente, que caracteriza a ocorrência do déficit hídrico periódico, atuando diretamente no balanço de água, em que fica nítido o acompanhamento da dimensão do déficit hídrico acumulado na variação do DPV nos referidos anos.

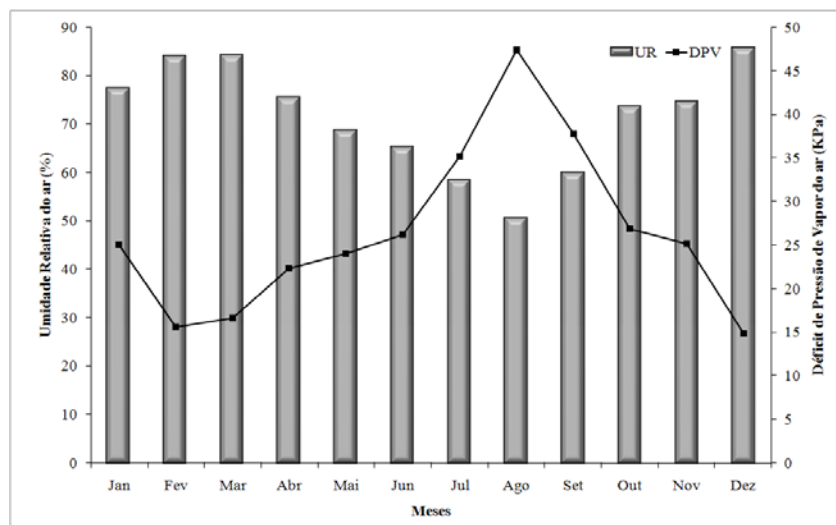


Figura 3 – Variação sazonal do déficit de pressão de vapor da atmosfera (DPV) e da umidade relativa do ar no ano de 2006. Bebedouro, SP.

No Quadro 1 são apresentados os somatórios térmicos ocorridos durante o crescimento e desenvolvimento da laranjeira no período de 01/05/2006 até a data de quebra do estresse dos referidos tratamentos. A soma térmica de cada tratamento é considerada como “moderado” para a indução do florescimento em citros (RIBEIRO et al., 2006; VALIENTE; ALBRIGO, 2004), que ditam a soma do número de horas de frio (NHF) abaixo de 13 °C como uma escala na definição da condição ambiental favorável ao florescimento. Essa situação revela que o estresse térmico isoladamente não seria suficiente para provocar forte indução floral em citros, concordando com Ribeiro et al. (2006), em estudos realizados, mostrando que a deficiência hídrica é o principal fator promotor de indução floral na região centro norte do Estado de São Paulo, e com Albrigo et al. (2002), que relataram a necessidade de temperaturas abaixo dos 20 °C por mais de 1.000 horas, satisfatórias ao florescimento.

Quadro 1 – Resumo dos parâmetros climáticos estimados: Número de horas de frio (NHF) abaixo de 13 °C e de 20 °C, Número de horas de calor (NHC) acima de 30 °C e 36 °C, Precipitação total (PT), Evapotranspiração de referência (ET_o), Déficit total acumulado (DFT) e Déficit de pressão de vapor (DPV), em razão dos tratamentos durante o período de experimentação, Bebedouro, SP, 2006

<i>TRAT.</i>	<i>NHF</i> <i>13°</i>	<i>NHF</i> <i>20°</i>	<i>NHC</i> <i>30°</i>	<i>NHC</i> <i>36°</i>	<i>PT</i> <i>(mm)</i>	<i>ET_o</i> <i>(mm)</i>	<i>DFT</i> <i>(mm)</i>	<i>DPV</i> <i>(kPa)</i>
T1	104	1071	44	0	87	193,9	-106,84	69,71
T2	159	1292	19	0	141	228,5	-87,5	87,78
T3	159	1591	39	0	141	327,8	-186,84	133,69
T4	159	1715	156	3	145,3	434,2	-288,91	165,61

O estudo do somatório de temperaturas superiores a 30 °C foi feito para uma melhor visualização do comportamento da fotossíntese ao longo do ano, visto que a temperaturas superiores a 30 °C ocorre diminuição na assimilação de CO₂, fato atribuído ao fechamento estomático que diminui o fluxo de CO₂ nos sítios de fixação (MEDINA et al., 1999). Os maiores valores foram observados em T4. Do efeito nocivo das temperaturas acima de 36 °C, cita-se o aumento na taxa respiratória, prejudicando o crescimento por danos fisiológicos (ORTOLANI et al., 1991). Entre os tratamentos, não se observam grandes proporções de temperaturas nessa faixa, aparecendo um somatório ínfimo em T4, já que este foi o tratamento mais tardio adentrando a elevação da temperatura característica no mês de setembro/outubro.

Com base nessas informações, pode-se inferir que o efeito do estresse hídrico é bem mais expressivo que o térmico para indução de florada em citros nas condições da região de Bebedouro, SP.

Mesmo observando a ocorrência de chuvas durante a imposição dos níveis de estresse, verifica-se que a média dessas ao longo do mês é baixa e não superior a 20 mm de uma só vez, montante tido como significativo para quebra do estresse em laranjeiras na região Norte do Estado de São Paulo (TUBÉLIS, 1995).

No Quadro 2, apresenta-se um resumo com as datas de início das irrigações (quebra do estresse) e o número total de dias sob estresses, bem como o início da contagem das flores.

Quadro 2 – Data do início das irrigações e número de dias de estresse acumulado (NDSA), em razão dos tratamentos adotados

Trat.	PHF* (kPa)	Início Irrigações	NDSA (dias)
T1	-1.0	19/07/2006	79
T2	-1.5	03/08/2006	92
T3	-2.0	01/09/2006	120
T4	-2.5	26/09/2006	124
T5	-3.0	-	-

* PHF: potencial hídrico foliar, na antemanhã.

O T5 não foi alcançado devido ao início das chuvas superiores a 20 mm que, segundo Tubélis (1995), seriam suficientes para a quebra da dormência da planta e início do florescimento (antese).

O somatório do número de dias de estresses apresentou-se bem maior aos 45 a 60 dias apresentados por Doorenbos e Kassam (1979) ou 20 a 70 dias relatados por Silva (2005), porém próximos aos propostos à faixa de 80 – 120 dias relatados por Lima et al. (1990). No entanto, observa-se que os potenciais menores foram atingidos dentro do período proposto por Reuther (1977) e Volpe (1992), sendo no final do mês de julho e início de agosto, no hemisfério sul.

Para auxílio no entendimento e discussão dos resultados a serem apresentados, antes da imposição dos tratamentos foram feitas a colheita e pesagem dos frutos a serem colhidos nas árvores de cada tratamento/repetição, referentes à safra anterior. Sendo apurados os seguintes montantes: T1: 62,83 kg/planta; T2: 56,30 kg/planta; T3: 69,36 kg/planta; e T4: 71,40 kg/planta

Isso se fez necessário, já que os frutos são considerados fortes drenos na planta, podendo chegar a consumir 80% dos carboidratos produzidos (BUSTAN; GOLDSCHMIDT, 1998), além de estar associado à produção de hormônios inibidores da floração (giberelinas) (CASTRO et al., 1997; DAVENPORT, 1990).

Observou-se menor intensidade inicial de florescimento em T3 e T4, fato que pode estar relacionado à maior carga frutífera relativa à safra anterior ainda por ser colhida na árvore, visto ser a presença de frutos na árvore fator negativo ao florescimento (GUARDIOLA, 1992).

No Quadro 3, observa-se a porcentagem total de queda de flores, que compreende o período de antese até a frutificação. Os resultados foram significativos com os menores valores observados em T3. Esse comportamento pode ser relacionado com a disputa entre flores por fotoassimilados, já que estresses moderados tendem a promover florações mais abundantes diante de estresses mais severos que podem inibir a formação de gemas florais, pela queda de folhas (KOSHITA; TAKAHARA, 2004). Essa hipótese de quedas por florescimento excessivo dos tratamentos levemente estressados é reforçada quando se analisa o “june drop”, em que nos referidos T1 e T2 as quedas foram menores, indicando melhor pegamento dos frutos nesses tratamentos (Figura 4).

Quadro 3 – Valores médios de queda de flores e frutos, em laranjeira, em razão dos tratamentos adotados, Bebedouro, SP (2006/2007)

FV ⁰	G.L. ¹	F ²	Tratamentos (Tensões Foliaves, kPa)				CV ³ (%)
			T1 (-1,0)	T2 (-1,5)	T3 (-2,0)	T4 (-2,5)	
“June Drop”	3	15,36**	37,668 B	41,064 B	76,360 A	90,701 A	26,65
Queda total	3	4,73*	98,078 A	97,553 A	96,181 B	97,654 A	0,95

⁰ Fontes de variação; ¹ Graus de liberdade; ² Significância no teste F; e ³ Coeficiente de Variação. Médias seguidas de mesma letra ou sem letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 10% de probabilidade. *: Significativo a 5%; **: Significativo a 1%; ***: Significativo a 10%; e NS: Não significativo aos níveis de probabilidade considerados.

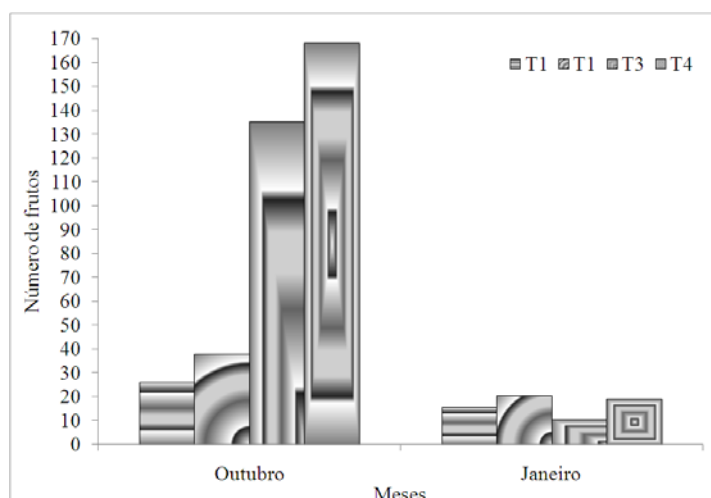


Figura 4 – Diferenças na quantidade de frutos antes e depois da última queda fisiológica caracterizada em laranjeira ‘Pera’.

Observa-se a função quadrática: $QT = 1,99x^2 + -7,51x + 103,77$ ($R^2 = 0,66$), em que “x” é a tensão de água na folha, para explicar o comportamento da fixação de frutos, indicando um comprometimento da queda de frutos com os tratamentos, como as maiores proporções em T3 e T4, onde o estresse provocado foi mais duradouro, concordando com Bertonha et al. (2004). Esse fato pode estar ligado à capacidade de produzir fotoassimilados da planta, já que nos tratamentos mais estressados as características vegetativas são comprometidas, forçando a planta, numa retomada de condições normais de desenvolvimento, a priorizar vegetação em vez de produção. Outro ponto a ser observado é que o nível de estresse imposto em T3 e T4 pode ter prejudicado a floração ao invés de promovê-la, conforme observado por Medina et al. (2005).

Esse mesmo tipo de função representou melhor os dados de “june drop”, com R^2 igual a 0,70 para a função quadrática: $JD = -17,73x^2 + 95,22x + 45,32$. Pode-se fundamentar essa maior queda em T3 e T4, em razão do retardo no processo de floração, que veio acarretar maior exposição de frutos em fases iniciais nas condições climáticas adversas, como temperaturas elevadas e altos valores de DPV, observados nos meses de dezembro/janeiro, uma vez que a restrição hídrica não existia por uso da irrigação durante todo o período de pós-estresse.

Vale ressaltar que essa determinação de porcentagem de quedas envolveu estruturas reprodutivas de toda planta, de forma quantitativa, não havendo separação dessas em razão de presença ou ausência de folhas nos ramos de formação, o que caracterizaria uma determinação qualitativa desses órgãos.

Para visualização do impacto dos tratamentos x floração na produção final, apresenta-se, no Quadro 4, um resumo dos resultados da análise estatística realizada. As médias não apresentam significância pelo teste de Tukey a 10% de probabilidade, para produção total (PT), eficiência de produção (EP) e número de frutos (NFP). Foram observadas diferenças no diâmetro e volume de copa (DC/VC), uso eficiente de água (UEA) e área média da folha (AMF).

No contraste dos dados, observa-se que, mesmo com maior porcentagem de queda de frutos nos tratamentos mais estressados, estatisticamente, não se observam diferenças de produção total final, demonstrando que, de alguma forma, a planta ao longo do ciclo de cultivo tende a equilibrar-se, priorizando o fruto e utilizando a água mais eficientemente do que as plantas que sofreram níveis de estresse menores, para o florescimento. É possível entender essa recuperação analisando o volume e diâmetro da copa que, embora tenham sido bem próximos entre os tratamentos, estatisticamente no T4 teve seu desenvolvimento prejudicado.

Quadro 4 – Indicadores da análise estatística realizada nos tratamentos das características avaliadas

Fontes de Variação	G.L. ¹	F ²	Tratamentos (Tensões Foliaves, kPa)				CV ³ (%)
			T1 (-1,0)	T2 (-1,5)	T3 (-2,0)	T4 (-2,5)	
Produção Total (kg/planta)	3	1,71 ^{NS}	157,15	187,93	167,47	149,02	19,05
Área média de folha (cm ²)	3	6,85**	43,09 A	40,39 A	40,83 A	33,13 B	10,27
Diâmetro de copa (m)	3	7,67**	3,42 B	4,28 A	3,63 B	3,35 B	7,67
Volume de copa (m ³)	3	12,16**	33,03 B	49,54 A	34,02 B	29,85 B	16,90
Uso eficiente – água (kg fruto/m ³ água)	3	12,35**	4,13 A	5,08 A	2,65 B	4,71 A	18,00
Eficiência Produção (Núm. Fruto/m ³ copa)	3	13,75 ^{NS}	32,59	26,87	35,46	39,46	26,89
Número de frutos por planta	3	1,33 ^{NS}	1063,97	1290,74	1180,50	1122,27	17,66

¹ Graus de liberdade; ² Significância no teste F; e ³ Coeficiente de Variação.

Médias seguidas da mesma letra ou sem letra não diferem entre si, estatisticamente, pelo teste de Tukey a 10%; *Significativo a 5%; **: Significativo a 1%; ***: Significativo a 10%; e NS: Não significativo aos níveis de probabilidade considerados.

Pode-se argumentar que a significância na área de folha mostra que no tratamento mais estressado, além de toda a competição entre os frutos da safra passada, o alto nível de estresse imposto à planta, a capacidade desta em produzir fotoassimilados seria menor pela reduzida superfície foliar, embora não se tenham observado diferenças entre os tratamentos em medições pontuais da fotossíntese. Esse fato pode reforçar a hipótese de que a planta tenha aumentado sua eficiência em produzir fotoassimilados, priorizando-os aos frutos e gerando a não significância dos dados de produção final.

Vale ressaltar que, durante todo o ciclo pós-estresse de floração, não houve restrição hídrica à planta, situação que, conforme observado na discussão, pode ter levado a uma recuperação e equilíbrio produtivo da árvore.

4. CONCLUSÕES

O estresse térmico por baixas temperaturas é considerado “moderado” para indução do florescimento em citros, atribuindo-se à deficiência hídrica, ocorrida nos meses de maio a julho, à autoria de promotor principal da indução floral na região Norte do Estado de São Paulo.

Houve diferença estatística entre os tratamentos para queda total de flores, sendo a maior queda observada em T1.

Na queda de novembro/dezembro (“june drop”), houve significância entre T1/T2 em relação a T3/T4, sendo a maior porcentagem (90,70%) ocorrida em T4.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (MCT/CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro; e ao Departamento de Meteorologia Agrícola (DEA/UFV), pela oportunidade.

6. REFERÊNCIAS

AGUSTÍ, M.; ALMELA, V. **Aplicación de fitorreguladores em citricultura**. Barcelona: Aedos Editoria, 1991. 261 p.

ALBRIGO, G. **Influências ambientais no desenvolvimento dos frutos cítricos**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS-FISIOLOGIA, 2., Bebedouro, 1992. **Anais...** Campinas, SP: Fundação Cargill, 1992. p. 100-106.

ALBRIGO, L.G.; VALIENTE, J.I.; BECK, H.W. Flowering expert system development for a phenology based citrus decision support system. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 584, p. 247-254, 2002.

BEM MECHLIA, N.; CARROL, J.J. Agroclimatic modeling for the simulation of phenology, yield and quality of crop production. II. Citrus model implementation and verification. **International Journal of Biometeorology**, v. 33, p. 52-65, 1989.

BERTONHA, A.; GONÇALVEZ, A.C.A.; FREITAS, P.S.L.; REZENDE, R. Resposta da laranjeira pêra em níveis de irrigação. **Acta Scientiarum. Agronomy Maringá**, v. 26, n. 2, p. 185-191, 2004.

BUSTAN, A.; GOLDSCHMIDT, E.E. Estimating the cost of flowering in a grapefruit tree. **Plant and Cell Environment**, Oxford, v. 21, p. 217-224, 1998.

CASSIN, J.; BOURDEAUT, J.; FOUGUE, A.; FURAN, V.; GAILARD, J.P.; LE BOURDELLES, J.; MONTAGUT, G.; MOREUIL, C. The influence of climate upon the blooming of citrus in tropical areas. **Proceedings of the International Society of Citriculture**, v. 1, p. 315-324, 1968.

CASTEL, J.R. Response of Young clementine citrus trees to drip irrigation. I. Irrigation amount and number of drippers. **Journal of Horticultural Science**, Kent, v. 69, n. 3, p. 481-489, 1994.

CASTRO, P.R.C.; MARINHO, C.S.; PAIVA, R. et al. Fisiologia de produção dos citros. **Informe Agropecuário**, v. 22, n. 209, p. 26-38, 2001.

CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L.; SAAD, A.M. Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 23-38, 2000.

CRUZ, A.C.R. **Consumo de água por uma cultura de citros cultivada em latossolo vermelho amarelo**. 2003. 92 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2003.

CRUZ, J.L.; PELACANI, C.R.; FILHO, W.S.S.; NETO, M.T.C.; COELHO, E.F.; DIAS, A.T.; PAES, R.A. Produção e partição de matéria seca e abertura estomática do Limoeiro ‘cravo’ submetido a estresse salino. **Revista Brasileira de Fruticultura**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 528-531, dez. 2003.

DAVENPORT, T.L. Citrus flowering. **Horticultural Reviews**, v. 12, p. 349-408, 1990.

DOMINGO, R.; RUIZ-SÁNCHEZ, M.C.; SÁNCHEZ-BLANCO, M.J. et al. Water relations, growth and yield of fino lemon trees under regulated deficit irrigation. **Irrigation Science**, v. 16, p. 115-123, 1996.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Necessidades hídricas das culturas**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1997. 204 p. (FAO – Irrigação e Drenagem, 24).

FERERES, E. Papel de la fisiología vegetal en la microirrigación. Recomendaciones para el manejo mejorado. In: PONENCIA EN SEMINARIO LATINOAMERICANO DE MICROIRRIGACIÓN, 4., 1981, BarquisimETo. **Annales...** BarquisimETo, Venezuela, 1981.

GARCIA-LUIZ, A.; FORNÉS, F.; GUARDIOLA, J.L. Leaf carbohydrate and flower formation in Citrus. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 120, p. 222-227, 1995.

GOLDSCHMIDT, E.E.; KOCH, K.E. Citrus. In: ZAMSKI, E.; SCHAFFER, A.A. (Eds.). **Photoassimilate distribution in plants and crops**. Source-sink Relationships. New York: Marcel Dekker, Inc., 1996. p. 797-823.

GOLDSCHMIDT, E.E.; MONSELISE, S.P. **Hormonal control of flowering in citrus and some other woody perennial**. In: CARR, D.J. (Ed.). **Plant growth substances**. Berlin: Springer-Verlag, 1970. p.758-765.

GOMES, M.M.A.; LAGÔA, A.M.M.A.; MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C.; MACHADO, M.A. Interactions between leaf water potential, stomatal conductance and abscisic acid content of orange trees submitted to drought stress. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.16, n. 3, p. 155-161, 2004.

GUARDIOLA, J.L. Frutificação e crescimento. In: DONADIO, L.C. (Coord.). SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS – FISILOGIA, 2., 1992, Bebedouro. **Anais...** Campinas, SP: Fundação Cargill, 1992. p.1-26.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geográfica e Estatística. **Produção Agrícola Municipal**, 2008. Disponível em: <www.ibge.gov.br/sisdra>.

IEA – INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Área e produção dos principais produtos da agropecuária do Estado de São Paulo**. São Paulo: IEA, 2005. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/banco/menu.php>>. Acesso em: 23 nov. 2005.

JESCHKE, W.D.; HOLOBRADÁ, M.; HARTUNG, W. Growth of *Zea mays* L. with their seminal roots only. Effects on plant development, xylem transport, mineral nutrition and the flow and distribution of abscisic acid (ABA) as a possible shoot to root signal. **Journal Exp. Bot.**, v. 48, p. 1229-1239, 1997.

KAUFMANN, M. Evaluation of the pressure chamber method for measurement of water stress in citrus. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, v. 93, p. 186-198, 1968.

KOSHITA, Y.; TAKAHARA, T. Effect of water stress on flower-bud formation and plant hormone content of ‘Satsuma’ mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 99, p. 301-307, 2004.

KRAJEWSKI, A.J.; RABE, E. Citrus flowering: a critical evaluation. **Journal of Horticultural Science**, v. 70, n. 3, p. 357-374, 1995.

LIMA, J.E.O. Florescimento e frutificação em citrus. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 10, p. 243-253, 1990.

LORD, E.M.; ECKARD, M.J. Shoot development in *Citrus sinensis* L. Osbeck (‘Washington’ Navel’ orange). I. Floral and inflorescence ontogeny. **Botanical Gazette**, Washington, v. 146, p. 320-326, 1985.

LOVATT, C.J.; ZHENG, Y.; HAKE, K.G. A new look at the Kraus-Kraybill hypothesis and flowering in citrus. In: INTERNATIONAL CITRUS CONGRESS, 6., 1988, Tel Aviv. **Proceedings...** Tel Aviv Tel Aviv, 1988. p. 475-483.

MACHADO, E.C.; MEDINA, C.L.; GOMES, M.M.A.; HABERMANN, G. Variação sazonal da fotossíntese, condutância estomática e potencial da água na folha de laranja 'Valência'. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 1, p. 53-58, 2002.

MACHADO, E.C.; SCHMIDT, P.T.; MEDINA, C.L.; RIBEIRO, R.V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1161-1170, dez. 2005.

MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C.; GOMES, M.M.A. Condutância estomática, transpiração e fotossíntese em laranja 'Valência' sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 11, p. 29-34, 1999.

MEDINA, C.L. Fisiologia da produção. In: MATTOS JR., D.; DE NEGRI, J.D.; FIGUEIREDO, J.O. (Eds.). **Lima ácida Tahiti**. Campinas, SP: Instituto Agrônomo, 2003. p. 67-80.

MEDINA, C.L.; RENA, A.B.; SIQUEIRA, B.R.; MACHADO, E.C. **Fisiologia dos citros**. In: MATTOS, D. JR.; De NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU, J. JR. (Eds.). **Citros**. Campinas, SP: Instituto Agrônomo e Fundag Campinas, 2005. p. 147-195.

MONSELISE, S.P. Citrus. In: MONSELISE, S.P. (Ed.). **Handbook of fruit set and development**. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1985. p. 87-108.

MONSELISE, S.P.; HAVELY, A.H. **Chemical inhibition and promotion of citrus flower bud induction. Proceedings of the American Society of the Horticultural Science**, Alexandria, v. 84, p. 141-6, 1964.

OGATA, T. **Influência das cultivares, surtos vegetativos e tamanho das folhas nos teores de nutrientes foliares dos citros**. 1980. 79 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1980.

ORTOLANI, A.A.; PEDRO JR., M.J.; ALFONSI, R.R. **Agroclimatologia e o cultivo de citros**. In: RODRIGUES, O.; VIÉGAS, F.; POMPEU JR., J.; AMARO, A.A. (Eds.). **Citricultura brasileira**. 2. ed. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1991. v. 1, p. 153-195.

PIMENTEL, C. **Metabolismo do carbono na agricultura tropical**. Seropédica, RJ: Edur, 1998. 150 p.

PIRES, R.; ROJAS, E. Effects of drought stress and urea sprays on production of flower and vegetative buds of Tahiti lime. **Fruits**, v. 54, n. 3, p. 177-182, 1999.

POSPISILOVA J. Participation of phytohormones in the stomatal regulation of gas exchange during water stress. **Biol. Plant.**, v. 46, p. 491-506, 2003.

REUTHER, W. Citrus. In: ALVIM, P.T.; KOZLOWSKI, T.T. (Eds.). **Ecophysiology of tropical crops**. Londres: Academic Press, 1977. cap. 15, p. 409-439.

RIBEIRO, R.V.; MACHADO, E.C.; BRUNINI, O. Ocorrência de condições ambientais para a indução do Florescimento de laranjeiras no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v. 28, n. 2, p. 247-253, ago. 2006.

ROBERTSON, G.W. **Guidelines on crop-weather models**. Geneve: World Meteorological Organization, 1983. 115 p. (World Climate Application Programme, 50).

ROLIM, Glauco de Souza et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052007000400022&lng=es&nrm=iso>. Acesso em: 30 jul. 2008. doi: 10.1590/S0006-87052007000400022.

SILVA, C.R. **Evapotranspiração e desenvolvimento de laranja ácida “Tahiti” na ausência e presença de estresse hídrico**. 2005. 71 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2005.

SOUTHWICK, J.M.; DAVENPORT, T.L. Characterization of water stress and low temperature effects on flower induction in citrus. **Plant Physiology**, Rockville, v. 81, p. 26-29, 1986.

SPIEGEL ROY, P.; GOLDSCHMIDT, E.E. **Biology of citrus**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 230 p.

TAIZ, L.; ZEIGER. **Fisiologia vegetal**. Trad. por SANTARÉM, E.R...[et al.]. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TARDIEU, F.; ZHANG, J.; KATERJI, N.; BETHENOD, O.; PALMER, S.; DAVIES, W.J. Xylem ABA controls the stomatal conductance of field-grown maize as a function of the predawn leaf water potential. **Plant Cell and Environment**, Baltimore, v. 15, p. 193-197, 1992.

TORRECILLAS, A.; RUIZ-SÁNCHEZ, M.C.; DOMINGO, R. et al. Regulated deficit irrigation on fine lemon trees. **Acta Horticulturae**, n. 335, p. 205-212, 1993.

TUBÉLIS, A. Clima: fator que afeta a produção e qualidade da laranja. **Laranja**, Cordeirópolis, SP, v. 16, n. 2, p. 179-211, 1995.

VALIENTE, J.I.; ALBRIGO, G. Flower bud induction of sweet orange trees [*Citrus sinensis* (L) Osbeck]: effect of low temperatures, crop load, and bud age. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 129, n. 2, p. 158-164, 2004.

VOLPE, C.A. Fenologia de citros. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS: FISILOGIA, 1., 1992, Bebedouro. **Anais...** Bebedouro, SP, 1992. p. 107-120.

YANG, L.S.; YANO, T.M.A.; LI, X. Evapotranspiration of orange trees in greenhouse lysimeters. **Irrigation Science**, n. 21, p. 145-149, 2003.

CAPÍTULO 2

RELAÇÃO: NECESSIDADES HÍDRICAS X PRODUÇÃO DA LARANJEIRA, EM BEBEDOURO, SP

1. INTRODUÇÃO

A adaptabilidade da laranjeira permite que ela seja cultivada nas mais diferentes condições edáficas e ambientais, exceto em locais onde as temperaturas mínimas são inferiores a 7 °C. A constante exposição da planta a influências dos fatores ambientais se reflete em variações de produção da ordem de 15 a 100 t ha⁻¹ em regiões tropicais e subtropicais, respectivamente (DAVIES; ALBRIGO, 1994).

A laranjeira apresenta sequenciamento natural de repouso ou pré-florescimento, florescimento, pegamento ou fixação do fruto, crescimento do fruto e maturação (BEM MECHLIA; CARROL, 1989). Assim, o reflexo apenas de um bom planejamento de indução floral pode traduzir-se numa carga florífera robusta que, infelizmente, não se converte em produção, devido a quedas de até 99% das flores geradas (GUARDIOLA, 1992), resultado do ajuste na relação fonte/dreno da competição por carboidratos (GOLDSCHMIDT; KOCH, 1996), reforçando a suposição de que a produção total depende realmente da fixação do fruto e não do número de flores (BEN MECHLIA; CARROL, 1989).

Na literatura são encontrados valores de 1,5 m² de área foliar por fruto para que a quantidade de fotoassimilados não limite o crescimento e acumulação de suco

na planta (FISHLER et al., 1983), fato que comprova a melhor fixação de frutos em inflorescências com folhas (LOVATT et al., 1984). Maior relação folha/fruto implica maior porcentagem de vingamento de frutos nas brotações, atribuindo-se a isso maior disponibilidade de carboidratos, melhor comunicação vascular com o fruto e elevada produção de hormônios (GUARDIOLA et al., 1998). Prado (2006) salientou a limitação do número de frutos fixados e o crescimento inicial dos frutos pela disponibilidade de carboidratos.

Nas condições do Estado de São Paulo ocorre um ciclo inicial de queda de flores, atribuída às características climáticas sazonais e acúmulo de reservas pela planta (ALBRIGO, 1992; IGLESIAS et al., 2003; SYVERTSEN; LHOYD, 1994). Observou-se continuidade de quedas durante alguns meses, culminando no último e derradeiro surto conhecido como “june drop” (hemisfério norte), geralmente nos meses de novembro e dezembro, início do verão (hemisfério sul), quando predomina a queda de frutos com diâmetro de 0,5 a 2,0 cm (“bolinha de ping-pong”), devido à competição por carboidratos, água, hormônios e outros metabólitos, sendo um mecanismo que ajusta o número de frutos ao potencial produtivo da árvore. Nessa fase, a ocorrência de estresse hídrico e, ou, térmico pode acentuar a porcentagem de queda (SPIEGEL ROY; GOLDSCHMIDT, 1996).

São também fatores que afetam a fixação do fruto a produção do ano anterior, a temperatura no período de pré-florescimento e florescimento e a chuva e velocidade do vento durante esse último estágio (GUARDIOLA, 1992).

O crescimento do fruto é dividido em três fases: Fase 1: crescimento do fruto (divisão celular), incluindo a floração e formação de tecidos dos pequenos frutos; Fase 2: caracteriza-se por um rápido crescimento celular do fruto, tendo em sua última parte mudança de coloração de verde para alaranjado; e Fase 3: caracterizada pela maturação, apresentando crescimento lento e mudanças na composição dos constituintes do fruto, resultando no aumento de sólidos solúveis e na diminuição da acidez (BAIN, 1958).

A temperatura atua de forma expressiva na taxa de crescimento do fruto, deslocando as fases do crescimento. O tamanho final do fruto e a porcentagem de suco são afetados positivamente pelo incremento da temperatura, com frutos apresentando casca mais fina e lisa, além de diminuição mais rápida da acidez (NORDELO et al., 1991). Em contrapartida, temperaturas acima de 35 °C podem suprimir o crescimento (PAULINO, 2005), embora as consequências reais desse

efeito negativo não estejam claramente estabelecidas. É atribuída a ela a responsabilidade marcante na maturação dos frutos, sendo utilizada muitas vezes para definição de unidade de calor (graus-dia) (GUARDIOLA, 1992). A associação da temperatura do ar com o conteúdo de água do solo e a umidade relativa pode vir ocasionar rachaduras nos frutos (ERICKSON, 1968).

Sugere-se a utilização do gradiente de temperatura do ar *versus* da folha (ΔT) como referencial para o manejo da irrigação, elucidando a relação de aumento de 1,3 °C de temperatura na folha por cada 1 kPa, aumentado no déficit de pressão de vapor (DPV) (EHRLER, 1973). Na literatura, cita-se que a associação de altos valores de DPV (>1,5 kPa) a temperaturas elevadas (>30 °C), observadas com frequência, principalmente, nos meses de novembro a fevereiro, nas regiões do Noroeste do Estado de São Paulo, poderá acarretar diminuição significativa nas taxas de fotossíntese dos citros (MEDINA et al., 1999).

A baixa umidade relativa do ar inserida nesse contexto, somada à falta de reposição de água, nos meses de maio-junho, pode potencializar a queda de frutos em desenvolvimento por abscisão fisiológica, nesse período.

Um regime de deficiência hídrica, durante o período de frutificação, acarreta redução de tamanho do fruto (DAVIES; ALBRIGO, 1994), crescimento vegetativo da planta, resultando em murchamento e, ou, queda de folhas e perdas na produção (ZANINI et al., 1998), embora se referencie a não significância dos valores de porcentagem de suco, acidez e brix e os frutos com casca mais espessa em proporção ao tamanho do fruto (LOVATT et al., 1988). No entanto, alguns relatos são encontrados sobre o efeito do déficit hídrico, alterando a qualidade de frutos, aumentando a concentração de sólidos solúveis totais (SST) e acidez e reduzindo o *ratio* (ZANINI et al., 1998). Os frutos sob forte efeito de estresse hídrico não utilizam a matéria seca acumulada com a mesma eficiência de frutos não estressados, realocando-a como reserva para outras partes do fruto, como casca e, ou, suco, com mais sólidos solúveis (GOELL, 1992).

No período de formação do pomar, o crescimento vegetativo é altamente afetado pelo estresse hídrico, com alguns trabalhos demonstrando, no longo prazo, danos mais expressivos ao crescimento da planta do que dos frutos (LEVY et al., 1978). Sua baixa eficiência no uso da água (2 - 5 kg de fruto m⁻³ de água – frutos com 85% de umidade) (DOORENBOS; KASSAM, 1979), em comparação com

outras plantas C₃, pode gerar inversão da água dos frutos para as folhas (DAVIES; ALBRIGO, 1994), quebrando o peso deles.

As precipitações nas principais regiões produtoras variam de 1.000 a 2.000 mm anuais, com sazonalidade e períodos definidos de seca. Essa quantidade seria suficiente para saciar a dotação hídrica dos citros que gira em torno de 762 a 1.245 mm anuais (ORTOLANI et al., 1991). A grande dificuldade encontrada está na distribuição dessas chuvas, que nem sempre coincide com os períodos de maior requerimento de água pelos citros, sendo necessária para essa reposição a utilização da irrigação, que no país é utilizada como forma complementar na dotação hídrica da planta.

Alguns sistemas são utilizados, porém o método localizado, por apresentar maior eficiência de aplicação de água, é o de maior preferência. Nesse método, destacam-se o gotejamento e a microaspersão com eficiências da grandeza de 90 a 99%. Embora seja técnica relativamente nova na cultura de citros, estudos comparativos na década de 1970 (BARRETO et al., 1976) revelaram benefícios notáveis e incontestáveis por sua atuação desde o início do desenvolvimento, com incrementos na produção da ordem de 48,84 kg/planta com área foliar alcançando 21,94 m² em lavouras irrigadas, em relação às cultivadas em sequeiro (JUNIOR et al., 2005) até na qualidade final dos frutos (MEDINA et al., 2005). Ressalta-se que a resposta à água num referido estágio de crescimento será influenciada diretamente pela sua disponibilidade hídrica anterior (DOORENBOS; KASSAN, 1979).

Alguns autores têm relacionado à irrigação diretamente os estádios de desenvolvimento de frutos, dividindo-os de acordo com o requerimento de água: (i) período de crescimento compensatório rápido, começando com a aplicação da irrigação; (ii) período no qual a taxa de crescimento é próximo à média; e (iii) período de pouco crescimento, levando a irrigações futuras (COHEN; GOELL, 1988).

Uma das maiores dúvidas relacionadas ao cultivo dos citros irrigados é com relação à dinâmica do sistema radicular, por apresentar baixa condutividade hidráulica e sensibilidade extrema às variações da temperatura do solo. Esse comportamento é extremamente dependente das características físicas do solo (textura e estrutura), bem como da genética do porta-enxerto e do teor de água no solo, que atuará na resistência do solo à penetração das raízes (KLEPPER, 1987),

sendo em solos com maior disponibilidade hídrica a extração de água facilitada (SANTOS et al., 2005).

A dinâmica em profundidade efetiva (>80% concentração de raízes), para fins de cálculos de disponibilidade hídrica, é relatada nas mais variadas dimensões, com valores variando de 0,25 m (SANTOS et al., 2002) a 0,60 m (CRUZ et al., 2003; MONTENEGRO, 1960). Tendo como referencial o caule da árvore, radialmente, citam-se valores de extensão radicular de 0,60 m (ALVES JUNIOR et al., 2004), 1,0 m (SANTOS et al., 2002) e 2,0 m (MONTENEGRO, 1960). Logo se observa que estudos realizados com distribuição de raízes em citros são bastante variados e têm apresentado resultados nem sempre concordantes, sendo fundamentais no conhecimento da exploração do volume de solo, permitindo maior exatidão nos cálculos de balanço hídrico para a planta (CRUZ et al., 2005).

Toda essa distribuição radicular é afetada diretamente pelo regime hídrico do solo, observando-se decréscimos da taxa de crescimento das raízes, de laranjeira 'Hamilin', sob regime de 65% de esgotamento de água disponível no solo, ao passo que, quando mantidas a 20 e 45%, estas não determinaram diferenças quanto ao crescimento vegetativo (MARLER; DAVIES, 1990).

Um ponto a ser observado na interação do sistema de irrigação localizada, sistema radicular e estrutura de solo é a formação do bulbo molhado. Na literatura são encontradas recomendações de área molhada de 50% da área total disponível às plantas ou, no mínimo, da área de projeção da copa (ZANINI et al., 1998), 33 - 67% (COELHO et al., 2000).

Logo, o bulbo molhado deve ter dimensão, tal que o armazenamento de água seja suficiente para ofertá-la para dotação hídrica da planta, em quantidade suficiente, obedecendo à variação de seu requerimento nos diversos estádios de desenvolvimento, dentro do turno de rega adequado, permitindo sua nutrição e fixação no solo.

Estudos realizados por Koo e Smajstrla (1984), comparando sistemas de irrigação localizada, revelaram que a irrigação por microaspersão, com 28 - 51% de área molhada, resultou aumento de produtividade da ordem de 65% e gotejamento (5 - 10% área molhada) de 44% em relação à área não irrigada. Goell et al. (1992) relataram que molhamentos de 50 e 70% foram tão eficientes no suprimento de água quanto os de 100%, atribuindo-se esse fato à grande capacidade de adaptação do

sistema radicular que, por efeito compensatório, aumenta o volume de raízes nas áreas molhadas em função da inatividade das raízes na falta de água.

Além da adoção de um sistema de irrigação, o gerenciamento da água aplicada deve ser eficiente para que se evitem a falta e o excesso de água na zona radicular, já que, sob excesso (alagamento), após 24 horas as plantas apresentam sinais de senescência, murcha e abscisão das folhas (JUNIOR et al., 2005).

A laranjeira atua de forma eficaz no controle do estresse hídrico devido à grande resistência ao transporte de água dentro da planta, resultante do somatório do limitado desenvolvimento e baixa condutividade hidráulica do sistema radicular (RODRIGUEZ et al., 1978) e do mecanismo de fechamento estomático eficiente e extremamente sensível a variações da umidade relativa do ar. Essa condição reflete menor potencial de água nas folhas, geralmente insuficiente para criar o diferencial de pressão necessário para o transporte de água no sistema solo-planta-atmosfera, mesmo sendo considerada planta tolerante a longos períodos de déficit hídrico pela atuação de mecanismos eficientes de fechamento estomático que controlam a perda de água (NORDELO; TORRE, 1991). Um profundo conhecimento do manejo de água e de sua repercussão no crescimento, desenvolvimento e produção da planta se faz necessário, uma vez que não existe uma única “lâmina ideal” para a laranjeira maximizar a produção, mas lâminas variáveis e frequências de irrigações distintas durante as diferentes fases de produção e floração até a colheita (BERTONHA, 2004).

O processo que integra os fatores relacionados a essa determinação e variação de água a ser aplicada é a evapotranspiração (ET), um processo controlado por fenômenos físicos e biológicos, sendo esta afetada negativamente pela escassez de água na zona radicular (CASTEL; BUJ, 1990).

Os principais métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) podem ser diretos ou indiretos (PEREIRA et al., 1997), sendo o proposto por Penman-Monteith – FAO 56 considerado “padrão” (ALLEN et al., 1998). Esse é calibrado em condições pré-definidas de cultivo, com o inconveniente de requerer grande quantidade de dados meteorológicos para estimativa. Quando utilizado em condição “não padrão” (campo), procede-se a correções nos valores estimados, evitando erros grosseiros. A correção é feita pela introdução do coeficiente de cultura (K_c), que varia de acordo com a cultura e o respectivo estágio de desenvolvimento (JENSEN et al., 1968), podendo ser calculados ou tabelados (DOORENBOS;

PRUITT, 1977; DOORENBOS; KASSAM, 1979), e o resultado do produto entre a E_{To} e o k_c é chamado de evapotranspiração de cultura (E_{Tc}), podendo assumir valores acima ou abaixo da E_{To} .

Visando à melhora dos valores de E_{Tc} , foi proposto por Allen et al. (1998) um coeficiente de estresse de solo (k_s) que descreve os efeitos do estresse hídrico na evapotranspiração da cultura, levando em consideração o nível de umidade atual do solo ao longo do ciclo de desenvolvimento. Na literatura existem diversas proposições para o cálculo de k_s , sendo o valor 1 normalmente atribuído a irrigações de alta frequência (BERNARDO, 2008), como no caso dos sistemas localizados.

Outro ajuste realizado, uma vez que na irrigação localizada apenas 1/3 a 2/3 da área é irrigada, provocando redução na E_{To} , é feito pelo coeficiente de localização (k_l). Alguns dos modelos propostos (KELLER, 1978; KELLER; BLIESNER, 1990; KELLER; KARMELI, 1975; FERERES, 1981) se baseiam na porcentagem de área sombreada pela cultura em relação à superfície total (PIZARRO, 1990).

Em resumo, o valor de E_{Tc} estimado, levando-se em conta todos os coeficientes, dividido pela eficiência do sistema de irrigação, traduz numericamente as necessidades hídricas das culturas, específicas para cada condição (MANTOVANI et al., 2007).

É comum a utilização de planilhas eletrônicas e, ou, programas computacionais como ferramentas de cálculo de necessidades hídricas, com a vantagem de serem operacionais no fornecimento de resultados de demanda hídrica, permitindo um controle rigoroso do manejo da irrigação.

O IRRIPLUS[®] é um sistema de apoio e tomada de decisão para culturas irrigadas, sendo dividido em módulos voltados para o manejo de lavouras irrigadas; e dispõe de um banco de dados climáticos oriundos da rede de estações do Inmet, informações sobre a planta, o solo e os vários sistemas de irrigação (MANTOVANI, 2007). O programa calcula, em tempo real, o balanço hídrico através da integração dos dados de solo, água, planta, equipamento e clima, gerando as necessidades hídricas das culturas (lâmina de irrigação).

Diante do exposto, este trabalho visou ao entendimento das relações água-planta-ambiente e seu reflexo na produção da laranjeira ‘Pera’ sob o regime hídrico de quatro diferentes lâminas de irrigação, no Norte do Estado de São Paulo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio experimental foi realizado na Estação Experimental de Citricultura de Bebedouro (EECB), no Norte do Estado de São Paulo (latitude 20°56'S, longitude 48°28' W e altitude 573 m), no período de 05/2006 a 09/2007, num pomar de laranjeira 'Pera' sobre tangerina Cleópatra, com aproximadamente 20 anos de idade, espaçadas de 7 x 5 m.

O clima, tipo Aw segundo a classificação climática de Köppen, conforme Rolim et al. (2007), com temperaturas mínima e máxima (média anual) de 17,5 °C e 31 °C e precipitação, média anual, de 1.440 mm.

O solo apresenta classe textural franco-argilo-arenoso, com valores de capacidade de campo, ponto de murcha e densidade da ordem de 18,87%; 9,47%; e 1.010 kg m³ na camada de 0 - 0,30 m; e 21,95; 10,45; e 1.770 kg m³ na camada de 0,30 - 0,60 m.

Os tratamentos T₁, T₂, T₃, T₄ e T₅ foram definidos pelos valores de potencial de água na folha de -1,0; -1,5; -2,0; -2,5; e -3,0 MPa, respectivamente, medidos na antemanhã (≈ 5 h) com câmara de Scholander, nos ramos do terço médio da planta com dois a quatro pares de folhas totalmente desenvolvidas, sempre na mesma face de exposição. Essas medidas foram realizadas semanalmente a partir da primeira quinzena de julho, sendo iniciada a irrigação à medida que eram alcançados os potenciais hídricos foliares preestabelecidos (tratamentos). Devido ao início da ocorrência das chuvas, o último tratamento (T₅) não alcançou o potencial hídrico fixado.

O delineamento foi o inteiramente casualizado, em desencontro, com seis repetições, considerando-se cada árvore como uma unidade experimental, totalizando 30 árvores úteis e 18 na bordadura. Submeteram-se os resultados à análise de variância, comparando os valores médios pelo teste de Tukey a 1%, 5% e 10% de probabilidade e por regressão múltipla, sendo considerada a significância de 30% nos parâmetros β_0 e β_1 e maior coeficiente de determinação (r^2).

Utilizou-se um microaspersor autocompensado por planta com 55 L h^{-1} a 15 mca de pressão de serviço, com 98% de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) (KELLER; KARMELI, 1975).

Uma estação meteorológica automática forneceu os elementos climáticos diários: velocidade do vento, radiação solar, umidade relativa, temperaturas e precipitação, durante os trabalhos.

Os tratamentos foram divididos em cinco subáreas independentes e os cálculos relativos a consumo de água pelos tratamentos, indicando, separadamente, o número de horas de funcionamento do sistema de irrigação para que a lâmina de irrigação fosse repostada de forma correta.

Calculou-se o balanço de água no solo utilizando o software IRRIPLUS[®] e os dados meteorológicos da estação meteorológica automática. Para tanto, foi feito o cadastramento: características do solo, água, equipamento de irrigação, culturas e estação meteorológica. Entre as diversas opções oferecidas pelo software para o cálculo da evapotranspiração de referência, optou-se pelo método-padrão de Penman-Monteith – FAO 56. Utilizaram-se, em seu módulo de configuração de manejo, os coeficientes de estresse hídrico (ks) logarítmico (BERNARDO, 2008), de localização (kl) unitário (FERERES, 1981), visto ser a porcentagem de área molhada 68% e a de cultura (kc) variando de 0,7 - 0,95, de acordo com os estádios de desenvolvimento.

O controle de umidade do solo no cálculo do balanço hídrico pelo IRRIPLUS[®] foi apurado pela determinação da umidade do solo, em amostras periódicas, pelo método-padrão de estufa associado a baterias tensiométricas instaladas no local.

Medições de fotossínteses foram feitas com o auxílio do aparelho Licor, para visualização da taxa de fixação de CO_2 pela planta durante o período de frutificação, para se conhecer o seu comportamento nos tratamentos, mesmo não tendo esse estudo caráter fisiológico.

Foram medidos os parâmetros estruturais de altura de planta (AP) e diâmetro de copa (DC); a área da folha (AF), coletando-se cinco folhas por quadrante da planta e obtendo a área por integração de imagem no software Image-Pro Plus das folhas escaneadas; e o volume da copa (VC), em m³, pela equação $VC = 2/3 * AP * \pi * (DC/2)^2$, em que AP é a altura da planta, em metros; e DC é o diâmetro da copa, em metros (MENDEL, 1956).

Na colheita dos quatro tratamentos, em setembro de 2007, contou-se o número de frutos por planta (NFP); calculou-se a eficiência de produção (IP) – razão entre NFP e o volume de copa (VC) – e a produção, expressa em kg/planta.

Calculou-se o uso eficiente da água (UEA) como a razão entre a ETC (em m³ ha⁻¹) e a produtividade (em kg/ha).

A análise tecnológica dos frutos (qualidade) foi feita ao acaso, tomando-se 15 frutos por repetição (árvore), dos quais se extraiu o suco. Determinaram-se: o **(i)** diâmetro (DF), altura (AF) e massa (MF) do fruto utilizando calha graduada em centímetros e balança digital em gramas; **(ii)** rendimento de suco, expresso em porcentagem, calculada pela equação $\%_{\text{suco}} = (\text{massa suco}/\text{massa da amostra}) \times 100$; **(iii)** sólidos solúveis totais (SST - °Brix), com refratômetro de leitura direta a 20 °C, expresso em porcentagem; **(iv)** pH, utilizando um potenciômetro digital, com eletrodo de membrana de vidro; **(v)** acidez total titulável (ATT), diluindo 20 mL de suco em 100 mL de água destilada e titulando com solução NaOH (0,3125 N) até o pH atingir 8,1, expressa em g de ácido cítrico/100 mL; **(vi)** relação SST/ATT (*ratio*); e **(vii)** índice tecnológico (IT), expresso em kg SST/cx, calculado pela expressão: $IT = (\%_{\text{suco}} * \%_{\text{SST}} \times 40,8)/10000$, em que 40,8 é o “peso” da caixa-padrão industrial de citros. As metodologias seguiram a proposta de Tressler e Joslyn (1961).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização climática do local

Na Figura 1, observa-se o comportamento da variação sazonal das temperaturas máxima, mínima e média e da precipitação no ano de 2006. Verifica-se, nessa figura, a ocorrência de baixas temperaturas nos meses de maio a julho (época de indução de florescimento), com os valores se elevando após esse período. O número de horas de frio ($T_{\min} < 13 \text{ }^{\circ}\text{C}$) totalizou 222 h. Considerando apenas o período de maio a julho/2006, o valor foi de 169 h, o que classifica a região como “moderada” para a indução do florescimento em citros (VALIENTE; ALBRIGO, 2004; RIBEIRO et al., 2006), evidenciando-se a necessidade do estresse hídrico atuante junto com o térmico para forte pressão de florescimento.

Observa-se, ao analisar as precipitações, redução drástica nos volumes no princípio do mês de maio/2006, situação que contribuiu para a adoção dos tratamentos de irrigação já nesse mesmo mês, considerando-se que a última chuva significativa (25,90 mm) ocorreu no mês de abril.

Na Figura 2, observa-se a dimensão do déficit gerado pela distribuição das chuvas em 2006, verificando o início da ocorrência de um déficit acentuado no mês de abril (66 mm), culminando com o valor total, acumulado de maio a julho de 211,85 mm. O valor de déficit hídrico acumulado total foi de 266,14 mm, durante o ano, e a distribuição das chuvas deixa claro que ele foi excelente para estudos de efeito de déficit hídrico na floração de citros.

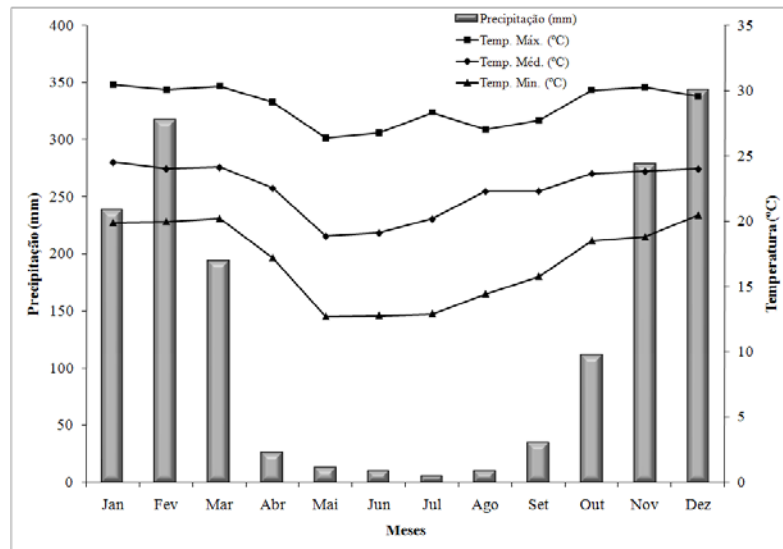


Figura 1 – Variação sazonal das médias mensais de temperatura e precipitação ocorrida no ano de 2006. Bebedouro, SP.

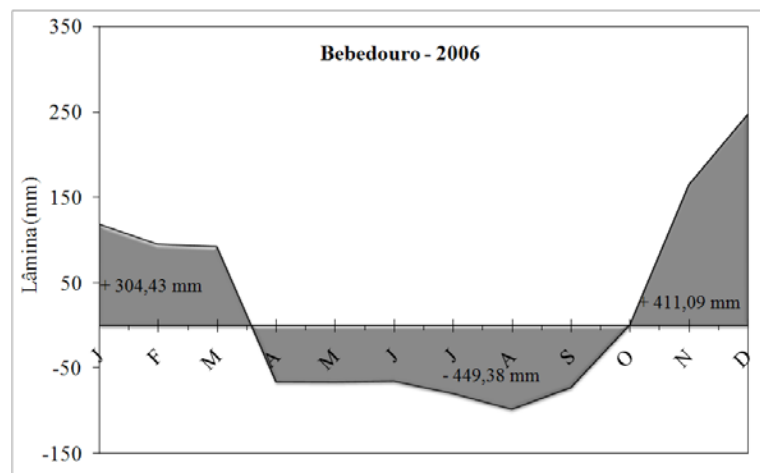


Figura 2 – Variação sazonal do balanço hídrico conforme IRRIPLUS ocorrida no ano de 2006. Bebedouro, SP.

Observa-se, nessa figura, nitidamente que pela retomada das chuvas, no mês de setembro, no mês seguinte praticamente elimina-se o estresse hídrico gerado pela escassez de chuvas nos meses frios.

Com base nessas informações, pode-se inferir que o efeito do estresse hídrico é bem mais expressivo que o térmico para indução de floração em citros nas condições do Norte do Estado e que o uso da irrigação para quebra do repouso vegetativo (estresse) em meados de agosto é fato, bem como sua continuidade nos períodos de enchimento dos frutos nos veranicos comumente observados em setembro, outubro e abril.

Na Figura 3, observa-se o comportamento do déficit de pressão de vapor (DPV) e da umidade relativa do ar (UR). O pico de DPV foi atingido no mês de agosto, decrescendo a partir de setembro, com o aumento da umidade relativa e a temperatura do ar. Esse comportamento caracteriza uma ocorrência de déficit hídrico, no período, atuando diretamente no balanço hídrico.

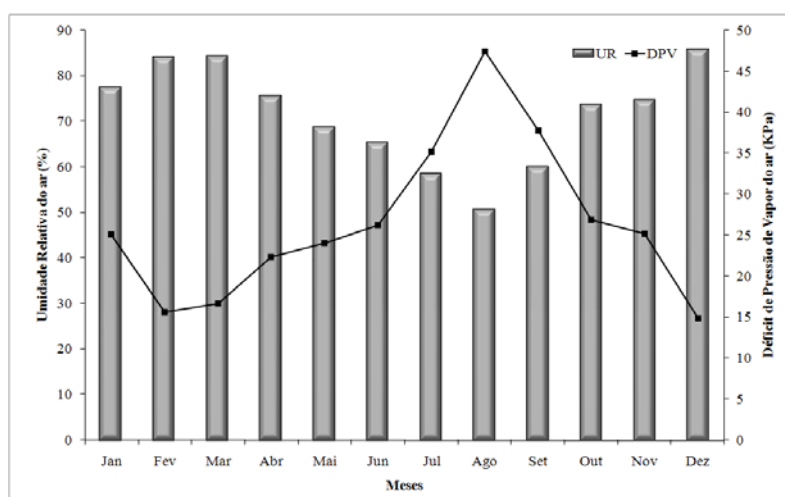


Figura 3 – Variação sazonal do déficit de pressão de vapor da atmosfera (DPV) e da umidade relativa do ar no ano de 2006. Bebedouro, SP.

Pela observação do comportamento climático, enfatizando a associação das baixas temperaturas e o déficit hídrico, ocorridos no período maio-julho, pode-se afirmar que as características requeridas para forte indução da floração foram alcançadas.

Consumo de água pela cultura

Embora a lâmina de 1.780 mm de chuva, registrada durante a condução do experimento (05/2006 – 09/2007), seja suficiente para total dotação hídrica e manutenção do crescimento e desenvolvimento da planta de citros (ORTOLANI et al., 1991), sua distribuição desuniforme exige a intervenção da irrigação no processo.

O consumo total de água (ETc) em T1, T2, T3 e T4 foi de 1.086, 1.056, 978 e 903 mm. Como não alcançou o potencial pré-definido, o T5 não foi passível de avaliação.

Consumos dessa grandeza foram relatados por Ortolani et al. (1991), Yang et al. (2003) e Cruz (2003), em Piracicaba, SP, com variação de 0,23 a 6,42 mm d⁻¹ nos valores de ETc no período de vigência do experimento. Resultados menores de consumo foram encontrados por Cintra et al. (2000), em tabuleiros costeiros, na variedade Pera, sob cinco porta-enxertos distintos, variando de 757 a 945 mm.

O sistema de irrigação foi acionado após o período de estresse (pré-florada), criteriosamente em função do aumento do potencial hídrico de água na folha, sendo a reposição de água feita em caráter complementar, segundo o cálculo do balanço hídrico.

No Quadro 1, são apresentados os valores das lâminas de irrigação aplicadas, por tratamento, bem como a data de início das irrigações (quebra do déficit hídrico).

Quadro 1 – Valor das lâminas de irrigação aplicada por tratamento e variação em relação ao tratamento 1

Tratamentos Impostos	Tensões Foliales (kPa)	Início das Irrigações	Lâmina Aplicada (mm)	Variação em Relação a T1 (%)
T1	-1,0	19/07/2006	805	100
T2	-1,5	03/08/2006	577	72
T3	-2,0	01/09/2006	460	57
T4	-2,5	26/09/2006	297	37

Durante toda a execução do experimento, o software IRRIPLUS[®] processou o balanço de água, gerando informações para tomadas de decisões com relação ao momento e quantidade de água a ser aplicada. Na Figura 5, pode-se observar uma das saídas gráficas do software, em que fica evidenciado com clareza o comportamento do manejo de água no solo, mantendo a umidade sempre próxima à capacidade de campo.

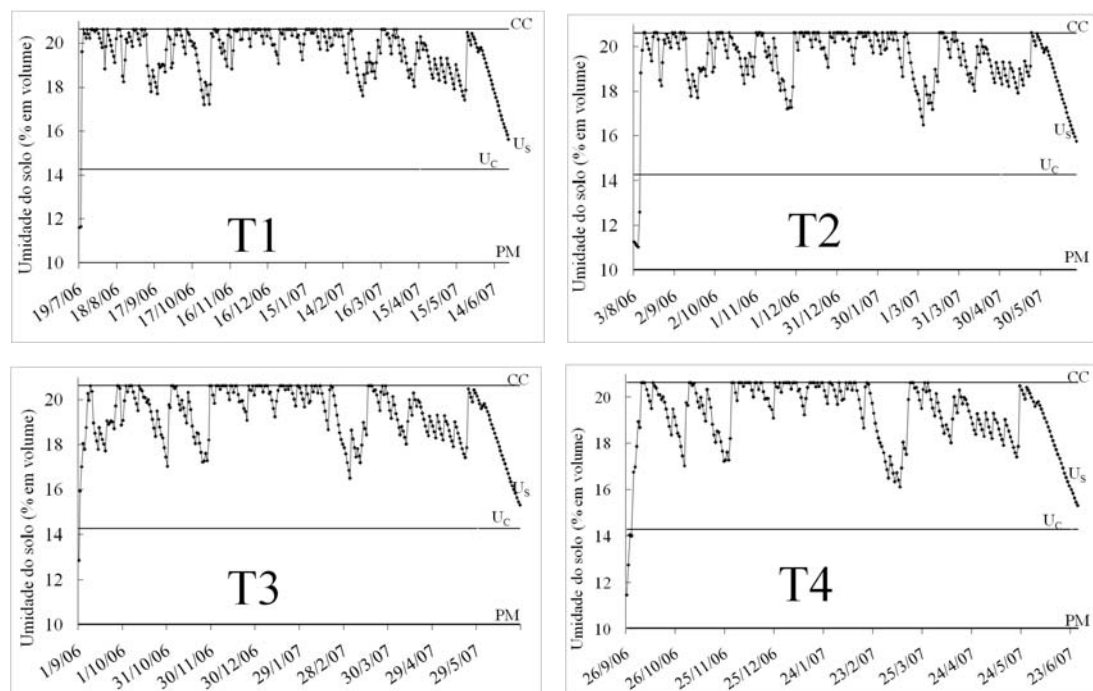


Figura 5 – Evolução da umidade do solo nos tratamentos T1 - T4 durante o ciclo da cultura em relação a CC, PM e fator de disponibilidade.

Observa-se logo após os pontos de umidade mais baixa, que caracterizam pequenas zonas de déficit hídrico, a retomada da umidade do solo pela aplicação de água via irrigação; essas retomadas quase sempre foram devidas a ajustes na umidade do solo via programa. A umidade do solo ficou bem próxima à capacidade de campo, sendo as amplitudes dos déficits hídricos ocorridos não danosas à cultura, por estarem sempre dentro da zona “facilmente disponível” (AFD), definida pelo

fator de depleção de água no solo ($f=0,5$) (ALLEN et al., 1998), que corresponde à utilização de 50% da água disponível no solo.

Pela sensibilidade do sistema radicular dos citros (SPIEGEL-ROY; GOLDSCHIMIDT, 1996), esse manejo de água resulta em maior exploração de volume de solo, pelo maior aprofundamento e expansão lateral de raízes (COELHO et al., 2002). Isso permite o desenvolvimento das raízes pela não exposição a ciclos de déficit hídrico e reumedecimento, melhorando a eficiência de absorção de água pela árvore (BIELORAI, 1982).

Observou-se que esse manejo de irrigação adotado contribuiu para a unificação da colheita, costumeiramente realizada três vezes ao ano no Estado de São Paulo (MEDINA et al., 2003).

Características vegetativas e reprodutivas

No Quadro 2 é apresentado o resumo dos resultados da análise estatística realizada, com o auxílio da ferramenta SAEG[®] para análise qualitativa dos dados.

Observa-se que as médias não diferiram entre si, pelo teste de Tukey a 10% de significância, num experimento realizado em delineamento inteiramente casualizado, para as características: **(i)** produtivas: produção total (PT), massa do fruto (MF), número de frutos por planta (NFP), diâmetro do fruto (DF) e altura do fruto (AF); **(ii)** vegetativas: eficiência de produção (EP), altura de planta (AP), volume (VC) e diâmetro (DC) de copa, área média foliar (AF); e **(iii)** qualidade de fruto: acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis totais (Brix), rendimento de suco (%Suco), índice tecnológico (IT) e *ratio*.

Essa não significância na produção total foi relatada por Silva (2005), e para as características vegetativas esse autor ainda revelou que, embora se observe tendência do aumento do VC em detrimento da menor quantidade de frutos produzidos, concordando com Marler e Davies (1990) e Davies e Zalman (2000), em estudo com redução de lâminas de irrigação de 30 e 50% da ETo, e Smajstrla e Koo (1984), trabalhando com lâminas de 100%, 50% e 25% da ETo, em laranja 'Valência'.

Quadro 2 – Indicadores da análise estatística realizada nos tratamentos das características avaliadas

Fontes de Variação	G.L. ¹	F ²	Tratamentos (Tensões Foliaves, kPa)				CV ³ (%)
			T1 (-1,0)	T2 (-1,5)	T3 (-2,0)	T4 (-2,5)	
Produção total (kg/planta)	3	1.71 ^{NS}	157.15	187.93	167.47	149.02	19.05
Área média de folha (cm ²)	3	6.85 ^{**}	43.09 A	40.39 A	40.83 A	33.13 B	10.27
Uso eficiente – água (kg fruto/m ³ água)	3	12.35 ^{**}	4.13 A	5.08 A	2.65 B	4.71 A	18.00
Eficiência produção. (Núm. fruto/m ³ copa)	3	13.75 ^{NS}	32.59	26.87	35.46	39.46	26.89
Número de frutos por planta	3	1.33 ^{NS}	1063.97	1290.74	1180.50	1122.27	17.66
Diâmetro de copa (m)	3	7.67 ^{**}	3.42 B	4.28 A	3.63 B	3,35 B	7.67
Volume de copa (m ³)	3	12.16 ^{**}	33.03 B	49.54 A	34.02 B	29.85 B	16.90
Altura de planta (m)	3	2.17 ^{NS}	5.37	5.12	4.92	5.04	6.30
Índice tecnológico (kg SS/cx)	3	2.85 ^{***}	2.56 A	2.41A B	2.43A B	2.37 B	4.94
<i>Ratio</i>	3	3.33 [*]	13.20 A	12.03 AB	10.78 B	10.90 B	12.92
Altura de fruto (cm)	3	2.85 ^{***}	6.82 A	6.76 AB	6.65 AB	6.52 B	2.90
Diâmetro de fruto (cm)	3	1.99 ^{NS}	6.35	6.36	6.40	6.17	2.86
Massa do fruto (g)	3	2.38 ^{NS}	147.13	146.37	141.74	132.47	7.55

¹ Graus de liberdade; ² Significância no teste F; e ³ Coeficiente de Variação.

Médias seguidas da mesma letra ou sem letra não diferem entre si, estatisticamente, pelo teste de Tukey a 10%; *Significativo a 5%; **: Significativo a 1%; ***: Significativo a 10%; NS: Não significativo nos níveis de probabilidade considerados.

Observa-se que diferenças estatísticas foram observadas nas características de área média da folha (AF), com piores resultados observados no T4, fato que pode ser atribuído ao efeito do estresse prolongado sobre este, com efeito marcante na expansão foliar; diâmetro de copa (DC) e volume de copa (VC), com superioridade do T2 diante dos demais. Analisando as três características conjuntamente nos tratamentos T1, T3 e T4, observaram-se que este último, mesmo apresentando menor expansão foliar (AF) perante os outros dois, estatisticamente parece haver aumentado o número de folhas, potencializando a arquitetura da planta, conclusão baseada no fato da não diferença estatística entre eles quanto às características de DC, VC e AP.

Relatou-se, na literatura, comportamento inversamente proporcional da massa individual de fruto (MF) perante o número de frutos, em função da competição por fotoassimilados (BUSTAN; GOLDSCHMIDT, 1998), situação observada entre os tratamentos avaliados, já que em nenhuma dessas houve significância.

Em relação ao uso eficiente da água, que leva em consideração a produção total pelo total de água evapotranspirada, observou-se que o pior desempenho, estatisticamente, foi em T3, diante dos demais, destacando-se o T2 com maior valor e o T4 com mais uma particularidade, em que fica evidenciada a grande capacidade da laranjeira em recuperar-se, após longos períodos de déficits hídricos, por mecanismos de ajustes fisiológicos, como a recuperação do potencial de água, da abertura estomática e da condutividade hidráulica das raízes, entre outros (SYVERTSEN; LLOYD, 1994), que permitiram à planta uma produção total eficiente, mesmo sobre uma lâmina de menor de água. O fato de que as folhas em T4 eram menores que nos demais pode ter contribuído para essa regulação estomática, por apresentar menor superfície evapotranspirante, evitando, assim, perda de água excessiva pela planta, porém não afetando a produção de fotoassimilados dela, mantendo condições favoráveis ao desenvolvimento do fruto (CHAVES, 1991).

As avaliações tecnológicas dos frutos, que expressam a qualidade destes, indicam insignificâncias para as características acidez, brix e porcentagem de suco, concordando com Duenhas et al. (2002), que relataram essa situação. Esse resultado já era de se esperar, uma vez que durante o desenvolvimento dos frutos não houve estresse, nos tratamentos irrigados durante todo o tempo, que pudesse destacar seus efeitos nessas características.

Observaram-se, em todos os tratamentos, valores de porcentagem de suco superiores aos atribuídos, na literatura, como mínimo aceitável de 33% (SOLER-AZUAR, 1998), 45% (CEAGESP, 2008) e 52% (VILLAS BÔAS, 2002), variando

de 54,56 a 57,61. A faixa dos valores do brix de 10,45 a 10,92 aproxima-se da encontrada por Villas Bôas (2002), trabalhando com laranja ‘Valência’, em Jaboticabal, SP, e atende às exigências de qualidade de fruto do Ceagesp (2008), que dita valor mínimo comercializável de 10, para laranja ‘Pera’. Esses resultados concordam com os de Silva (2005), que também relatou insignificância no efeito da lâmina de irrigação na diluição dos sólidos solúveis totais (brix).

As significâncias da qualidade dos frutos foram observadas nas características de índice tecnológico e no *ratio*, destacando-se o T1 como superior em ambas, na faixa de 10,78 a 13,20 para o *ratio*, semelhante ao encontrado por Figueiredo (1986), atendendo perfeitamente às exigências de qualidade de fruto do CEAGESP (2008), que admitem valor mínimo de 9,5 para essa característica, em laranja ‘Pera’, em todos os tratamentos. Esse comportamento pode ser atribuído ao menor nível de ATT e alto valor de SST, já que estes compõem a relação que define o *ratio*. O efeito da similaridade entre os valores de *ratio* dos tratamentos 1 e 2 pode, também, estar relacionado com o estágio de desenvolvimento adiantado desses frutos no momento da colheita. O maior valor de IT no T1 pode ser atribuído aos altos níveis de porcentagem de suco e SST no fruto.

Esse panorama traduz a possibilidade de produção com economia de água. Numa análise mais aguçada, pode-se inferir que, em situações específicas de falta de água, uma irrigação, dita “salvação” da lavoura, seria possível, com pouco impacto na produção, a utilização de lâminas menores de irrigação no Norte do Estado de São Paulo, devido à diminuição do consumo de água pelas plantas durante os meses de menor imposição climática à evapotranspiração, como relataram Machado et al. (2002).

Observa-se que, em todas as características, os coeficientes de variação foram relativamente baixos, indicando qualidade na amostragem.

O Quadro 3 resume os resultados das regressões múltiplas geradas, buscando-se avaliar quantitativamente as características estudadas. Considerou-se a significância dos parâmetros beta (β_0 e β_1) num nível de 30%, e escolheram-se os modelos fundamentados no maior valor de R^2 .

Observaram-se nas análises de R^2 valores considerados altos em todos os modelos, com destaque para os que representam a altura de fruto e massa média dos frutos, ficando evidenciado que o modelo de regressão quadrático ajusta, de forma mais precisa, a maioria das características estudadas.

Quadro 3 – Equações e respectivos coeficientes, gerados para cada característica estudada

Fontes de Variação	Equação	R ²
Produção total	PT = $-49,23x^2 + 163,34x + 45,70$	0,83
Área média das folhas	AF = $-4,98x^2 + 11,56x + 35,95$	0,88
Uso eficiente de água	UEA = $151,58 \pm 39,53$	-
Eficiência produtiva	EP = $75,73x^2 - 180,82x^{1/2} + 137,03$	0,83
Número de frutos/planta	NFP = $-1987,69x^2 + 5175,23x^{1/2} + 2110,98$	0,81
Diâmetro da copa	DC = $-8,33x^2 + 21,11x^{1/2} - 9,30$	0,76
Volume da copa	VC = $-154,63x^2 + 387,04x^{1/2} - 197,86$	0,68
Altura da planta	AP = $0,37x^2 - 1,55x + 6,57$	0,96
Índice tecnológico	IT = $0,53x^2 - 1,67x^{1/2} + 3,96$	0,87
Ratio	RATIO = $1,28x^2 - 6,11x + 18,09$	0,97
Acidez	Acidez = $-0,05x^2 + 0,29x + 0,57$	0,94
Brix	Brix = $10,73 \pm 0,22$	-
Porcentagem de suco	%suco = $0,77x^2 - 4,93x + 61,90$	0,94
Altura de frutos	AFT = $-6,67x^2 + 3,20x + 6,86$	1,00
Diâmetro de frutos	DF = $-0,24x^2 + 0,74x + 5,83$	0,87
Massa média dos frutos	PF = $-8,51x^2 + 20,05x + 135,55$	1,00

*Significância a 30% de probabilidade; “x” = tensão de água na folha.

As medições de fotossíntese realizadas revelaram comportamento similar ao descrito por Medina (1999), com sazonalidade entre o período da manhã e o da tarde. Observaram-se valores da ordem de 10 a 11,2 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e 7 a 8 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, nos períodos da manhã e tarde no início do mês de junho, apresentando leve queda no mês de julho (ao decorrer da imposição do estresse), com variações entre 9 e 9,5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ pela manhã e 5,5 e 7,0 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ pela tarde, sendo os valores bem próximos entre os tratamentos, evidenciando-se a estreita relação entre a queda na taxa fotossintética com o fechamento estomático (MEDINA, 2002). Nos meses pós-estresses, observou-se uma retomada nos níveis de fotossíntese, com o início das irrigações, variando de 11 a 12 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, pela manhã. Os menores valores foram medidos no tratamento 4, refletindo a interação entre hormônios (ABA) e estômatos, que sob níveis de estresse se eleva, provocando o fechamento

estomático, e, após retirado o estresse, este decresce, permitindo a abertura, e a maquinaria fotossintética volta à sua normalidade das trocas entre a folha e o ambiente (GOMES et al., 1999).

Todas as medições foram realizadas com $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de irradiação, regulada no medidor Licor. Visto essas medidas terem sido feitas a título de conhecimento do nível de fotossínteses das plantas em estudo, melhor dissertação sobre as interações das componentes fisiológicas na produção de citros, de forma mais apurada, pode ser encontrada em Medina et al. (1999), Medina (2003), Machado et al. (2002) e Machado et al. (2005), entre outros.

4. CONCLUSÃO

Não foram observadas diferenças estatísticas na maioria das características avaliadas.

O modelo de regressão linear múltipla que mais representou as interações entre os tratamentos foi o quadrático.

5. AGRADECIMENTOS

A Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (MCT/CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro; e ao Departamento de Meteorologia Agrícola (DEA/UFV), pela oportunidade.

6. REFERÊNCIAS

ALBRIGO, G. Influências ambientais no desenvolvimento dos frutos cítricos. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS-FISIOLOGIA, 2., 1992, Bebedouro. **Anais...** Campinas, SP: Fundação Cargill, 1992. p. 100-106.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 308 p. (FAO – Irrigation and Drainage, 56).

ALVES JÚNIOR, J.; LOURENÇÃO, M.S.; SILVA, T.J.A. et al. Distribuição do sistema radicular de plantas jovens de lima ácida ‘Tahiti’ sob diferentes níveis de irrigação. **Irriga**, v. 9, n. 3, p. 270-281, 2004.

BAIN, J.M. Morphological, anatomical, and physiological changes in the developing fruit of the “Valência” Orange (*Citrus sinensis* (L) Osbeck). **Aust. J. Bot.**, v. 6, p. 1-24, 1958.

BEN MECHLIA, N.; CARROL, J.J. Agroclimatic modeling for simulation of phenology, yield and quality of crop production. I. Citrus response formulation. **Int. J. Biometeorology**, v. 33, p. 36-51, 1989.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006. 625 p.

BERTONHA, A.; GONÇALVES, A.C.A.; FREITAS, P.S.L.; REZENDE, R. Resposta da laranjeira pêra em níveis de irrigação. **Acta Scientiarum. Agronomy Maringá**, v. 26, n. 2, p. 185-191, 2004.

BIELORAI, H. The effect of partial wetting of the root zone on yield and water use efficiency in a drip and sprinkler-irrigated mature grapefruit grove. **Irrigation Science**, v. 3, p. 89-100, 1982.

BUSTAN, A.; GOLDSCHMIDT, E.E. Estimating the cost of flowering in a grapefruit tree. **Plant and Cell Environment**, Oxford, v. 21, p. 217-224, 1998.

CASTEL, J.R. Response of young clementine citrus trees to drip irrigation. I. Irrigation amount and number of drippers. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 69, n. 3, p. 481-89, 1994.

CEAGESP. **Classificação de laranjas**. Disponível em: <www.ceagesp.gov.br>. Acesso em: abr. 2008. 2008. 2 p.

CHAVES, M.M. Effects of water déficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, v. 42, p. 1-16, 1991.

CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L.; SAAD, A.M. Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 23-38, 2000.

COELHO, E.F.; OLIVEIRA, F.C.; ARAÚJO, E.C.E.; VASCONCELOS, L.F.L. Distribuição de raízes de laranja “Pêra” sob sequeiro e irrigação por microaspersão em solo arenoso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 5, p. 603-611, 2002.

CRUZ, A.C.R. **Consumo de água por uma cultura de citros cultivada em latossolo vermelho-amarelo**. 2003. 92 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2003.

CRUZ, A.C.; LIBARDI, P.L.; CARVALHO, L.A.; ROCHA, G.C. Balanço de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citros. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 29, p. 1-10, 2005.

DOMINGO, R.; RUIZ-SÁNCHEZ, M.C.; SÁNCHEZ-BLANCO, M.J. et al. Water relations, growth and yield of fino lemon trees under regulated deficit irrigation. **Irrigation Science**, v. 16, p. 115-123, 1996.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Trad. por Damasceno, J. F de Medeiros. Campina Grande: UFPB, 1994. (Estudos da FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33).

DOORENBOS J.; PRUITT, W.O. **Necessidades hídricas das culturas**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1997. 204 p. (FAO – Irrigação e Drenagem, 24).

EHRLER, W.L. Cotton leaf temperatures as related to soil water depletion and meteorological factors. **Agronomy Journal**, v. 65, p. 404-409, 1973.

FERERES, E. Papel de la fisiología vegetal en la microirrigación. Recomendaciones para el manejo mejorado. In: PONENCIA EN SEMINARIO LATINOAMERICANO DE MICROIRRIGACIÓN, 4., 1981, Barquisimeto. **Annales...** Barquisimeto, Venezuela, 1981.

FIGUEIREDO, J.O. Variedades – Copa de Citros. In: ENCONTRO PARANAENSE DE CITRICULTURA, 1., 1986, Londrina. **Anais...** Londrina, PR: Iapar, 1986. p. 59-78.

GOLDSCHMIDT, E.E.; KOCH, K.E. Citrus. In: ZAMSKI, E.; SCHAFFER, A.A. (Eds.). **Photoassimilate distribution in plants and crops**. New York: Source-sink Relationships, Marcel Dekker, Inc. 1996. p. 797-823.

GOMES, M.M.A.; MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C.; LAGÔA, A.M.M.A.; MACHADO, M.A. Quantificação do ácido abscísico em laranjeiras “Pêra” infectadas pela *Xylella fastidiosa* e submetidas a deficiência hídrica. **Suma Fitopatológica**, v. 25, n. 1, 1999.

GUARDIOLA, J.L. Frutificação e crescimento. In: DONADIO, L.C. (Coord.). In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS. FISILOGIA, 2., 1992, Bebedouro. **Anais...** Campinas, SP: Fundação Cargill, 1992. p. 1-26.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2008. **Produção agrícola municipal**. Disponível em: <www.ibge.gov.br/sisdra>.

IGLESIAS, D.J.; TADEO, F.R.; PRIMO-MILLO, E.; TALON, M. Fruti set dependence on carbohydrate availability in citrus trees. **Tree Physiology**, Victoria, v. 2, p. 199-204, 2003.

JENSEN, M.E. Water consumption by agricultural plants. In: KOSLOWSKY, T.T. **Water deficits and plant growth**. New York: Academic Press, 1968. v. 2.

JÚNIOR, J.A.; da SILVA, C.R.; RIBEIRO, R.V.; da SILVA, T.J.A.; FOLEGETTI, M.V. Crescimento de plantas jovens de limeira ácida “Tahiti” sob lâminas de irrigação. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, SP, v. 25, n. 1, p. 170-178, jan./abr. 2005.

KELLER, J. **Trickle irrigation**. Colorado: En Soil Conservation Service National Engineering Handbook, 1978. 129 p.

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

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora, California: Rain Bird Sprinkler, 1975. 133 p.

KOO, R.C.J.; SMAJSTRLA, A.G. Effects of trickle irrigation methods and amounts of water applied on citrus yields. **Proceedings of Flórida State Horticultural Science**, v. 97, p. 3-7, 1984.

LOVATT, C.J.; STREETER, S.M.; MINTER, T.C. Phenology of flowering in *Citrus sinensis* L. Osbeck, cv. Washington navel orange. **Proceedings of the International Society of Citriculture**, v. 1, p. 186-190, 1984.

LOVATT, C.J.; ZHENG, Y.; HAKE, K.G. A new look at the Kraus-Kraybill hypothesis and flowering in citrus. In: INTERNATIONAL CITRUS CONGRESS, 6., 1988, Tel Aviv. **Proceedings...** Tel Aviv, 1988. p. 475-483.

MACHADO, E.C.; MEDINA, C.L.; GOMES, M.M.A.; HABERMANN, G. Variação sazonal da fotossíntese, condutância estomática e potencial da água na folha de laranja 'Valência'. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 1, p. 53-58, 2002.

MACHADO, E.C.; SCHMIDT, P.T.; MEDINA, C.L.; RIBEIRO, R.V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1161-1170, dez. 2005.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação – Princípios e métodos**. 2. ed. atual. e ampl. Viçosa, MG: Editora UFV, 2007. 358 p.

MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C.; GOMES, M.M.A. Condutância estomática, transpiração e fotossíntese em laranja 'Valência' sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 11, p. 29-34, 1999.

MEDINA, C.L. Fisiologia da produção. In: MATTOS JR., D.; DE NEGRI, J.D.; FIGUEIREDO, J.O. (Eds.). **Lima ácida Tahiti**. Campinas, SP: Instituto Agrônomo, 2003. p. 67-80.

MEDINA, C.L.; RENA, A.B.; SIQUEIRA, B.R.; MACHADO, E.C. Fisiologia dos citros. In: MATTOS, D. JR.; DE NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU, J. JR. (Eds.). **Citros**. Campinas, SP: Instituto Agrônomo e Fundag Campinas, 2005. p. 147-195.

NORDELO, C.B.; TORRE de la, A.B. **Citricultura Tropical**, 1991.

ORTOLANI, A.; PEDRO JUNIOR, M.J.; ALFONSI, R.R. Agroclimatologia e o cultivo de citros. In: RODRIGUES, O.; VIÉGAS, F.; POMPEU JUNIOR, J.; AMARO, A.A. (Eds.). **Citricultura brasileira**. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1991. p. 153-195.

PAULINO, S.E.P. **Modelos agrometeorológicos para estimação do número de frutos por planta em cultivares de laranja doce na região de Limeira-SP**. 2005. 107 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2005.

PEREIRA, I.A.M. **Época da indução e evocação floral em *Citrus* spp. Efeito do GA3 em seu florescimento**. 1997. 82 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1997.

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión, exudación**. 2. ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1990. 471 p.

RIBEIRO, R.V.; MACHADO, E.C.; BRUNINI, O. Ocorrência de condições ambientais para a indução do Florescimento de laranjeiras no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v. 28, n. 2, p. 247-253, ago. 2006.

RODRIGUEZ, O.; INFORZATO, R.; TEÓFILO SOBRINO, J. Estudo do sistema radicular de três porta-enxertos para citros em viveiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 1, n. 1, p. 23-30, 1978.

ROLIM, Glauco de Souza et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, 2007.

SANTOS, D.B.; COELHO, E.F.; SILVA, T.S.M. et al. Distribuição espacial do sistema radicular do limão ‘Tahiti’ enxertado com citrumelo ‘Swingle’ sob microaspersão no semi-árido Baiano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA RURAL, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Jaboticabal, SP: SBEA, 2002. (CD-Rom).

SILVA, C.R. **Evapotranspiração e desenvolvimento de limeira ácida “Tahiti” na ausência e presença de estresse hídrico**. 2005. 71 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2005.

SPIEGEL ROY, P.; GOLDSCHMIDT, E.E. **Biology of citrus**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 230 p.

SYVERTSEN, J.P.; LLOYD, J.J. Citrus. In: SCHAFFER, B.; ANDERSON, P.C. (Eds.). **Handbook of environmental physiology of fruit crops: sub-tropical and tropical crops**. Boca Raton: CRC Press, 1994. v. 2, p. 65-99.

TORRECILLAS, A.; RUIZ-SÁNCHEZ, M.C.; DOMINGO, R. et al. Regulated deficit irrigation on fino lemon trees. **Acta Horticulturae**, n. 335, p. 205-212, 1993.

VALIENTE, J.I.; ALBRIGO, G. Flower bud induction of sweet orange trees [*Citrus sinensis* (L) Osbeck]: effect of low temperatures, crop load, and bud age. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 129, n. 2, p. 158-164, 2004.

VILLAS BÔAS, R.L.; MORAES, M.H.; ZANINI, J.R.; PAVANI, L.C.; CAMARGO, D.A.; DUENHAS, L.H. Teores de nutrientes na folha, qualidade do suco e massa seca de raízes de laranjeira “Valência” em função da irrigação e fertirrigação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v. 24, n. 1, p. 231-235, 2002.

YANG, L.S.; YANO, T.M.A; LI, X. Evapotranspiration of orange trees in greenhouse lysimeters. **Irrigation Science**, n. 21, p. 145-149, 2003.

CAPÍTULO 3

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_0) PARA AS PRINCIPAIS REGIÕES PRODUTORAS DE CITROS

1. INTRODUÇÃO

Quando os estômatos estão abertos, eles permitem as trocas gasosas entre a planta e a atmosfera de CO_2 , O_2 e vapor de água, sendo este último por transpiração. Essa perda de água é um custo que a planta deve pagar para produzir e deve ser repostada mediante a extração de água do solo pelas raízes. Essa quantidade de água, somada à evaporação a partir da superfície do solo e chamada de evapotranspiração da cultura (ET_c), ou uso consuntivo de água, em $mm\ d^{-1}$, deve ser repostada pela irrigação. De modo geral, não se costumam separar esses componentes, considerando o processo como um todo. É o processo contrário ao da chuva, ou seja, é a retirada de água do solo em função da disponibilidade de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água no solo às plantas (PEREIRA et al., 1997).

N estimativa da ET_c , primeiramente estima-se a evapotranspiração de referência (ET_0), geralmente utilizando um modelo matemático, e o produto desta por um coeficiente de cultura (k_c), integrando as características da cultura variável de acordo com a fase fenológica e o clima local (DOORENBOS; PRUITT, 1977) (equação 1), resulta no valor da ET_c em condições-padrão de cultivo, ou

seja, cultura livre de doença, bem-nutrida, plantada em extensas áreas e sob condições de umidade do solo ótimas, alcançando produção máxima.

$$ET_c = ETo \times kc \quad \text{eq. 1}$$

em que:

ET_c = evapotranspiração de cultura sob condições-padrão, em mm d^{-1} ;

ETo = evapotranspiração de referência, em mm d^{-1} ; e

kc = coeficiente de cultura, adimensional.

A situação de cultivo, em campo, foge das condições especificadas no padrão no cálculo da ET_c , sendo necessária uma correção desta para a nova realidade, através da introdução de um coeficiente de estresse de água (ks), gerando a ET_c “ajustada” (DOORENBOS; PRUITT, 1977). Assim, o cálculo da ET_c receberia mais um componente (equação 2).

$$ET_{c_{adj}} = ETo \times kc \times ks \quad \text{eq. 2}$$

em que:

$ET_{c_{adj}}$ = evapotranspiração de cultura “ajustada”, em mm d^{-1} ;

ETo = evapotranspiração de referência, em mm d^{-1} ;

kc = coeficiente de cultura, adimensional; e

ks = coeficiente de estresse de água, adimensional.

A $ET_{c_{adj}}$ é o alicerce da agricultura irrigada, refletido desde o requerimento máximo de água pela planta durante o ciclo (lâmina de projeto de irrigação) até a quantificação do requerimento diário de água pela planta, que deve ser repostado pelo sistema de irrigação e, ou, precipitação.

Embora a definição seja simples, sua determinação prática exige cuidados e critérios que vão desde a escolha do método a ser utilizado até a certificação do valor encontrado.

Na estimativa da ET_c , os coeficientes de cultura (kc) utilizados são geralmente tabelados e, ou, calculados, proposto pela literatura para vários tipos de cultura e condições de cultivo (DOORENBOS; KASSAM, 1979; DOORENBOS; PRUITT, 1977).

O ponto-chave do processo de cálculo da E_{Tc} está na estimativa da evapotranspiração de referência (E_{To}), por resultar da interação de diversos componentes climáticos (DOORENBOS; PRUITT, 1977). Chang (1971) descreveu a interação dos componentes climáticos envolvidos no processo, sendo de 80:6:14 a relação entre o saldo de radiação, a umidade relativa e a velocidade do vento, evidenciando-se o principal efeito do saldo da radiação solar.

A priori, foi conceituada como evapotranspiração potencial, por Doorenbos e Pruitt (1977), que definiram a evapotranspiração de referência como aquela ocorrida numa superfície gramada com altura de 0,08 a 0,15 m, em crescimento ativo cobrindo todo o solo.

Pela provável diferença entre culturas-padrão de estimativa proposta por alguns autores (JENSEN et al., 1971; JENSEN et al., 1973), Smith e Allen et al. (1992) propuseram um novo conceito para a cultura de referência. A evapotranspiração de referência passou a ser definida como a evapotranspiração promovida por uma cultura hipotética que cobre todo o solo, em crescimento ativo, sem restrição hídrica nem nutricional, com altura de 0,12 m, albedo 23% e resistência da superfície ao transporte de vapor de 70 s m^{-1} .

De acordo com Pereira et al. (1997), os métodos de estimativa da evapotranspiração são agrupados em: (i) *empíricos*, (ii) *aerodinâmico*, (iii) *balanço de energia*, (iv) *combinados (teóricos)* e (v) *correlação dos turbilhões*.

Os modelos de Penman-FAO, Penman-Monteith, FAO-radiação, FAO-Blaney-Criddle, Thornthwaite modificado por Camargo, Hargreaves e Priestley-Taylor, entre outros, são os mais citados entre os modelos teóricos e empíricos e utilizam basicamente os elementos climáticos e, ou, variáveis da cultura (resistências estomática e aerodinâmica) nos cálculos (JENSEN et al., 1990).

Salienta-se para o fato de que a aplicabilidade e confiabilidade do modelo utilizado dependem da qualidade e quantidade de informações de clima disponíveis e de sua precisão fundamentada para dada condição em estudo.

Em 1997, convencionou-se o método de Penman-Monteith – FAO como padrão na determinação da E_{To} , referenciada na proposição de Smith e Allen (1992), por ser esse um método que interage a base física do processo com parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos da planta. No entanto, requerendo grande quantidade de informações climáticas, como temperaturas máxima, mínima e média; umidade relativa do ar; velocidade de vento e radiação solar (SMITH, 1991; ALLEN et al.,

1998), nem sempre disponíveis em quantidade e qualidade na maioria das localidades brasileiras. Dessa forma, a utilização de métodos empíricos apresenta-se como alternativa na estimativa da ETo, por exigir quantidade menor de elementos climáticos, desmitificando o sinônimo de empiricismo – falta de qualidade, embora geralmente necessitem de ajustes locais para a otimização das estimativas de melhor utilização (PEREIRA, 1997).

O método proposto por Hargreaves e Samani (1985) é muito difundido, requerendo, além das temperaturas máxima, mínima e média, a radiação extraterrestre tabelada em função da latitude do local, tendo caráter de superestimar a evapotranspiração mensal, nas diversas regiões do país (SENTELHAS; CAMARGO, 1996; BONOMO et al., 1998; FRANÇA NETO, 2003; DOS REIS, 2007). Foi desenvolvido na Califórnia, em condições semiáridas, a partir de dados de lisímetros gramados (PEREIRA et al., 1997), necessitando, portanto, de um coeficiente de ajuste empírico e fixo para regiões costeiras e outro para regiões continentais.

Segundo Alves Sobrinho et al. (1997), para períodos mensais, no Mato Grosso do Sul, esse método apresentou alta correlação com o método-padrão de estimativas, indicando possibilidade de uso como alternativa na estimativa da ETo e, conseqüentemente, na demanda de água pelas culturas, conforme relataram Faria et al. (2000), em trabalhos realizados no Estado de Minas Gerais, com a cultura do milho. Esses autores ainda relataram que, mesmo nas regiões onde o coeficiente de correlação foi baixo, a interferência dos desvios do valor da ETo não afetaram significativamente o cálculo de consumo de água pela cultura. Mendonça et al. (2003) salientaram que, quando se dispõe somente de dados de temperaturas máxima e mínima, o método de Hargreaves-Samani apresenta adequada precisão para se estimar a ETo na região, sobretudo em períodos superiores a 7 e 10 dias.

Outro método proposto por Blaney-Criddle modificado é apresentado pela FAO, em seu boletim número 24 (DOORENBOS; PRUITT, 1977), mesmo sendo classificado com base apenas na temperatura, média mensal, requer valores de umidade relativa mínima mensal, razão de insolação média mensal e velocidade média diurna do vento (2 m de altura). Frevet et al. (1983) adaptaram o método gerando equações para cálculo de índices que facilitam a utilização da equação. Essa equação tem a tendência de subestimar os valores de ETo (JENSEN et al., 1990; AMATYA et al., 1995), tendo sua aplicabilidade sido, para intervalos menores que

um mês, questionada na literatura (PEREIRA, 1997), sendo necessárias correções quando utilizada em determinações diárias da ETo.

Pelo discutido anteriormente, confirma-se a necessidade da calibração local dos métodos de temperatura para alcançar resultados satisfatórios, conforme Allen et al. (1998).

Do ponto de vista estatístico, a calibração é um método de análise em que, em fase inicial, se determina o valor de uma variável dependente em função de uma variável independente (regressão) e, depois, em uma segunda fase, o valor desta última variável é estimado após conhecer, ou definir, o valor da variável dependente (FRANÇA NETO, 2003). Essa calibração sempre é feita em função do método-padrão de estimativa de ETo, gerando-se coeficientes de ajustes para aproximação entre os valores, e a confiabilidade destes depende da sua estreita correlação com o método-padrão.

É importante considerar a qualidade dos dados meteorológicos utilizados e sua representatividade para que as equações possam estimar adequadamente a ETo, aproximando-se da realidade do local (BONOMO, 1998).

Sem dúvida alguma, nas localidades sem e, ou, com poucas variáveis climatológicas disponíveis, essa metodologia é perfeitamente utilizável na tomada de decisões, servindo de subsídio posteriormente para a determinação do consumo de água por determinada cultura. Não entrando no mérito a lâmina de água requerida pela cultura e a efetivamente aplicada pelo sistema de irrigação, essa lâmina será definida pela razão entre a ETc ajustada pela eficiência do sistema de irrigação.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo a estimativa e comparação da evapotranspiração de referência (ET_0), por meio dos métodos simplificados, Hargreaves e Samani (1985) e Blaney-Criddle – FAO, diante do método de Penman-Monteith – FAO (padrão), para as principais regiões produtoras de citros do Estado de São Paulo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A escolha das regiões utilizadas para este estudo levou em consideração sua importância no cenário produtivo de citros, tanto em expansão quanto em atuação, no Estado de São Paulo. Buscou-se trabalhar com regiões de características diferentes e com maior e menor expressividade em pomares irrigados.

Ribeiro et al. (2006) realizaram trabalho semelhante, estudando a aptidão climática das regiões produtoras do Estado, que serviu de base para a inserção de algumas regiões neste cenário, por se encaixarem dentro do contexto da produção de citros com e sem o uso de irrigação.

Para facilitar a apresentação dos resultados, dividiu-se o Estado de São Paulo ao meio, sendo o divisor “virtual” a cidade de Araraquara, com o estudo assim dividido: Grupo 1: Barretos, Bebedouro, Casa Branca, Jaú, Votuporanga e Jales; e Grupo 2: Araraquara, Itapetininga, Limeira, São João da Boa Vista, Botucatu e Itapeva.

As coordenadas geográficas das cidades representantes das regiões estão listadas no Quadro 1.

Os dados meteorológicos utilizados nas estimativas se basearam numa série histórica de 18 anos inserida no banco de dados climáticos do software IRRIPLUS[®]. Utilizaram-se dados diários de temperaturas máxima, mínima e média, umidade relativa do ar, velocidade de vento, radiação solar e precipitação.

Quadro 1 – Localização, coordenadas geográficas dos locais em estudo

Local	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)	Altitude (Metros)
GRUPO 1			
Barretos	20°33'	48°34'	530
Bebedouro	20°56'	48°28'	573
Casa Branca	21°46'	47°05'	684
Jaú	22°17'	48°33'	552
Votuporanga	20°25'	49°58'	525
Jales	20°16'	50°32'	478
GRUPO 2			
Araraquara	21°47'	48°10'	664
Itapetininga	23°35'	48°03'	656
Limeira	22°33'	47°24'	588
SJBV	21°58'	46°47'	767
Botucatu	22°53'	48°26'	804
Itapeva	20°58'	48°52'	684

No cadastramento, no IRRIPLUS[®], das regiões estudadas, selecionou-se na rede de estações climatológicas do INMET, de todo Brasil, as mais próximas dos locais de estudo, para boa representatividade das condições climáticas.

Na busca de melhor homogeneização dos dados das variáveis agrometeorológicas utilizadas nos cálculos, fez-se verificação minuciosa, sendo eliminadas as informações inconsistentes.

Com o software IRRIPLUS[®], realizaram-se as estimativas de evapotranspiração de referência (ET_o) utilizando os bancos de dados indicados pelo método-padrão de Penman-Monteith parametrizado pela FAO, em 1998 (ALLEN et al., 1998) (equação 1), Hargreaves & Samani (equação 2) e Blaney-Criddle – FAO (equações 3 - 5), para o período de um ano.

$$ET_0 = \left[\frac{0,408(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \right] \quad (\text{eq. 1})$$

em que:

ET_0 = evapotranspiração de referência, mm d^{-1} ;

Rn = saldo de radiação na superfície, $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$;

T = temperatura do ar a 2 m de altura, $^{\circ}\text{C}$;

G = fluxo de calor no solo, $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$;

U_2 = velocidade do vento à altura de 2 m, m s^{-1} ;

e_s = pressão de saturação de vapor, kPa ;

e_a : pressão parcial de vapor do ar, kPa ;

$(e_s - e_a)$ = déficit de pressão de vapor, kPa ;

Δ = declividade da curva de pressão de vapor de saturação, $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$;

γ^* = coeficiente psicrométrico modificado, $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$; e

γ = coeficiente psicrométrico, $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$.

$$ET_0 = 0,0023 Q_o (T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}})^{0,5} (T_{\text{méd}} + 17,8) \quad (\text{eq. 2})$$

em que,

ET_0 = evapotranspiração de referência, mm d^{-1} ;

Q_o = radiação extraterrestre, em mm d^{-1} ;

$T_{\text{máx}}$ = temperatura máxima, em $^{\circ}\text{C}$;

$T_{\text{mín}}$ = temperatura mínima, em $^{\circ}\text{C}$; e

$T_{\text{méd}}$ = temperatura média diária ($0,5 \cdot (T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}})$), em $^{\circ}\text{C}$.

$$ET_0 = a + b p (0,46 T + 8,13) \quad (\text{eq. 3})$$

$$a = 0,0043 UR_{\text{mín}} - \frac{n}{N} - 1,41 \quad (\text{eq. 4})$$

$$b = a_0 + a_1 UR_{\text{mín}} + a_2 \frac{n}{N} + a_3 Ud + a_4 UR_{\text{mín}} \frac{n}{N} + a_5 UR_{\text{mín}} Ud \quad (\text{eq. 5})$$

em que,

ET_0 = evapotranspiração de referência, mm d^{-1} ;

$T_{\text{méd}}$ = temperatura média mensal, em $^{\circ}\text{C}$;

p = porcentagem do total de fotoperíodo mensal sobre o total do fotoperíodo anual (mensal/anual);

a e b = coeficientes de ajuste, adimensional;

UR_{\min} = umidade relativa mínima (%);

n/N = razão de insolação; e

U_d = média da velocidade para o período diurno, em $m\ s^{-1}$.

Os coeficientes da regressão a_j de FREVET obtidos por Cuenca (1982) são: $a_0 = 0,82$, $a_1 = -0,0041$, $a_2 = 1,07$, $a_3 = 0,066$, $a_4 = -0,0060$ e $a_5 = -0,00060$.

Com os dados diários de ETo estimados pelos modelos em estudo, foram ajustadas equações de regressão (equação 6), buscando-se avaliar as relações entre ETo estimada pelos métodos empíricos (HG e BC) diante do método-padrão de estimativas (PM), no período de um ano.

Foram considerados os parâmetros da equação de regressão β_0 e β_1 , coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de correlação (r).

$$y = \beta_0 + \beta_1 x \quad (\text{eq. 6})$$

em que:

x = ETo estimada pelo método-padrão (PM), $mm\ d^{-1}$;

y = ETo estimada para cada um dos outros métodos avaliados (HG/BC), $mm\ d^{-1}$; e

β_0 e β_1 = parâmetros da equação de regressão, adimensional.

Para avaliação do desempenho dos modelos, foi feita a comparação dos valores de ETo obtidos pelos métodos simplificados (HG/BC) perante o padrão (PM), através da estimativa do erro-padrão (EEP), segundo a metodologia proposta por Allen et al. (1986), equação 7:

$$SEE = \left[\frac{\left[\sum_{i=1}^n (Y_{p_i} - Y_{met_i})^2 \right]}{n-1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{eq. 7})$$

em que:

SEE = erro-padrão da estimativa, $mm\ d^{-1}$;

Y_p = ETo estimada pelo método-padrão (PM), $mm\ d^{-1}$;

Y_{met} = ETo estimada pelo método a ser avaliado, $mm\ d^{-1}$;

n = número de observações.

No cálculo do erro-padrão de estimativa ajustado (SEEA), utilizou-se a equação 7, substituindo o valor da ETo estimada pelo método a ser avaliado (y_{met}) pelo recalculado a partir da equação ajustada ($y_{met} = x$).

A classificação do método segundo o desempenho se dá pela tendência do coeficiente linear (β_0) a 0 e angular (β_1) e determinação (R^2) a 1, situação essa mais próxima da ideal, que seria a igualdade entre a média das estimativas e a obtida com o método-padrão, e do menor valor de erro-padrão da estimativa e da estimativa ajustada pela regressão (SEE e SEEA).

Na análise estatística do grau de precisão e exatidão dos métodos, utilizaram-se: o coeficiente de correlação (r); o índice de concordância (d), proposto por Willmott et al. (1985) (equação 8); e o índice de confiança ou desempenho (c) (CAMARGO; SENTELHAS, 1997). O coeficiente de correlação “ r ” determina a precisão do método e indica o grau de dispersão dos dados em relação à média (erro aleatório), classificados segundo a metodologia de Hopkins (2000) (Tabela 1).

Tabela 1 – Classificação de acordo com o coeficiente de correlação (r)

Coeficiente “ r ”	Correlação
0,0-0,1	Muito baixa
0,1-0,3	Baixa
0,3-0,5	Moderada
0,5-0,7	Alta
0,7-0,9	Muito alta
0,9-1,0	Quase perfeita

O índice de concordância (d) (equação 8) determina a exatidão do método, indicando o grau de afastamento dos valores de ETo estimados pelos métodos simplificados, em relação ao método-padrão, variando de 0 a 1 para não-concordância e concordância perfeita entre os valores.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n [(|P_i - \bar{O}|) + (|O_i - \bar{P}|)]^2} \quad (\text{eq. 8})$$

em que:

d = índice de concordância ou ajuste;

P_i = evapotranspiração de referência obtida pelo método considerado, mm d^{-1} ;

O_i = evapotranspiração de referência obtida pelo método-padrão, mm d^{-1} ;

\bar{O} = média dos valores de ET_0 obtidos pelo método-padrão, mm d^{-1} ; e

n = número de observações.

Finalizando com o índice de confiança ou desempenho (c) (Tabela 2), quantifica-se o desempenho do método.

Tabela 2 – Critério de interpretação de desempenho dos métodos de estimativa da ET_0 pelo índice de desempenho

Valor de “c”	Desempenho
$>0,85$	Ótimo
0,76-0,85	Muito bom
0,66-0,75	Bom
0,61-0,65	Mediano
0,51-0,60	Sofrível
0,41-0,50	Mal
$\leq 0,40$	Péssimo

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comportamento das variáveis climáticas temperaturas máxima, mínima e média mensal (°C) e precipitação, nos grupos em estudo, podem ser observado nas Figuras 1 e 2. Salienta-se o fato de que esse comportamento segue praticamente a mesma distribuição em todos os locais, caracterizando verões quentes e úmidos (novembro-fevereiro) e invernos frios e secos (junho-agosto), exceto na região de Itapeva, onde são observadas chuvas durante todos os meses frios do ano.

As médias das temperaturas mínimas variam de 9,55 °C em Itapetininga a 27,29 °C em Barretos, as máximas de 17,41 °C em São João da Boa Vista a 32,44 °C em Bebedouro e as médias de 13,88 °C em Itapetininga a 30,01 °C em Barretos, com precipitações variando de 810,02 mm em Itapetininga a 1.255,50 mm em SJBV.

Essas condições refletem que todas as regiões em estudos possuem aptidão para exploração de citros, por estarem climaticamente dentro da faixa adequada para seu desenvolvimento (DAVIES; ALBRIGO, 1994), por caracterizarem temperaturas mais elevadas até o mês de março, com queda no princípio do mês de abril-maio e baixando em junho-julho, com recuperação nos meses subsequentes.

Nos Quadros 1 e 2 são apresentados os valores médios e máximos de ETo mensalmente, estimados pelos três métodos baseado nos dados históricos de clima do software IRRIPPLUS[®].

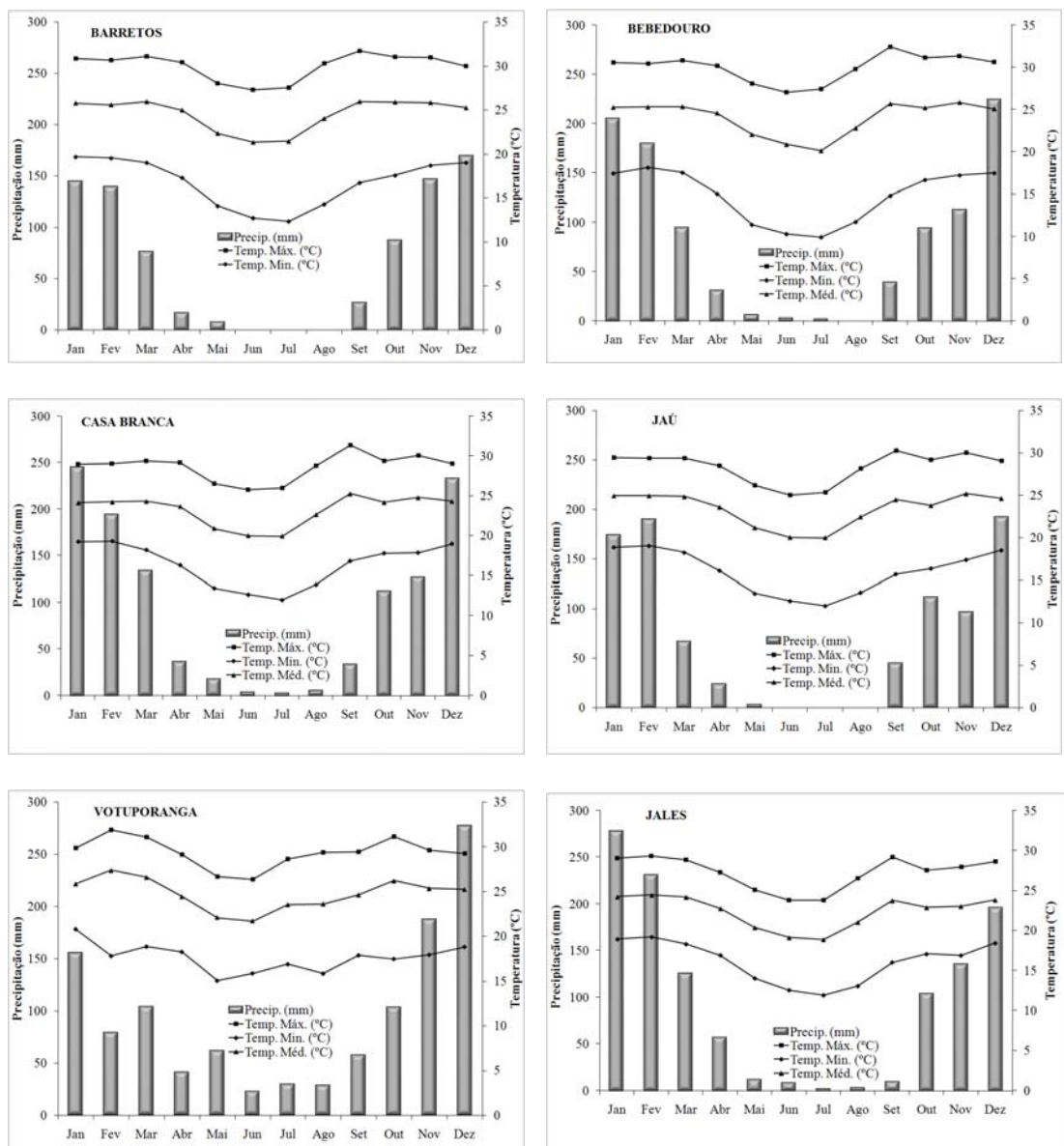


Figura 1 – Temperaturas máxima, mínima, média e precipitações total e média anual das cidades pertencentes ao Grupo 1.

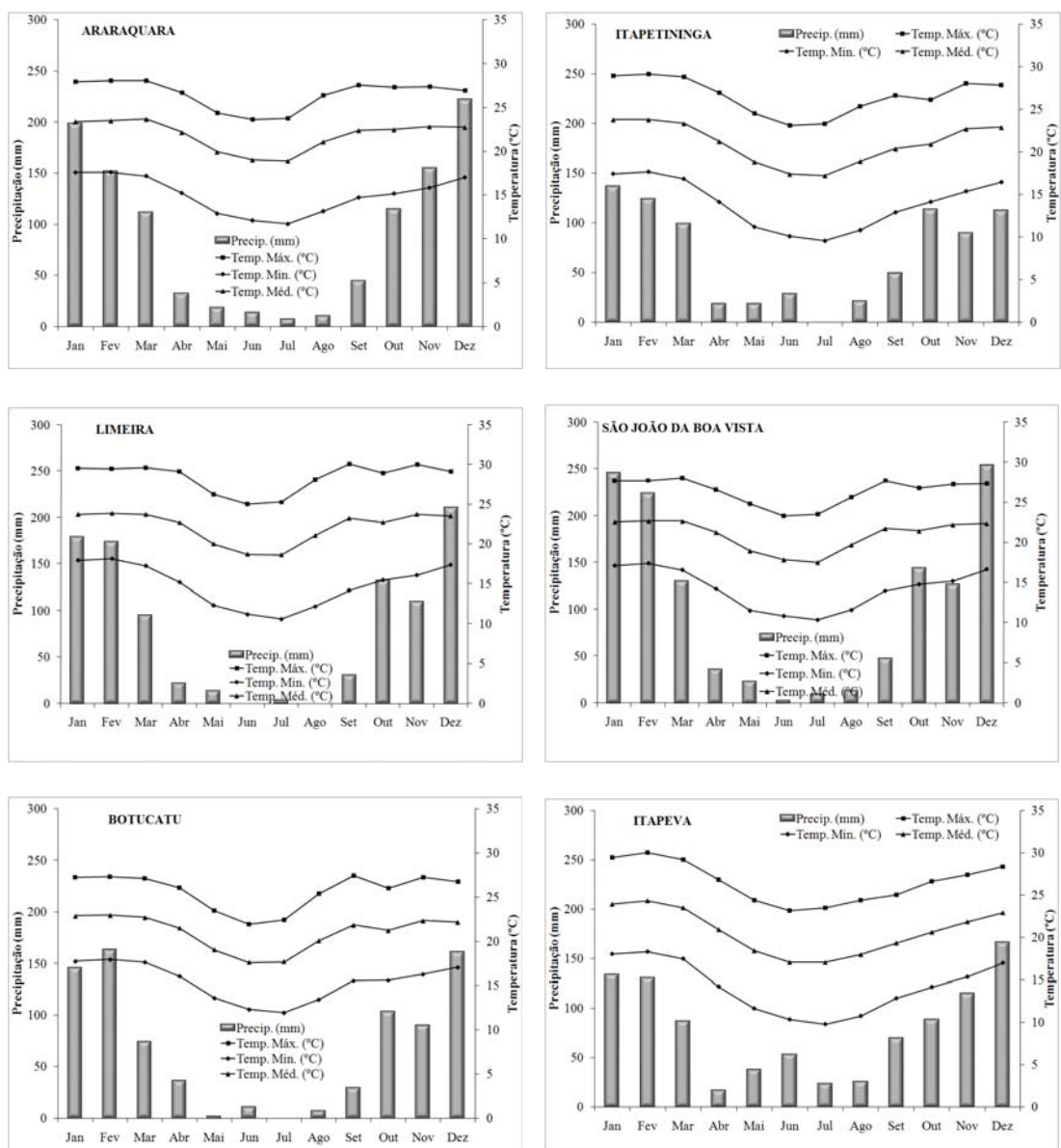


Figura 2 – Temperaturas máxima, mínima e média e precipitações total e média anual das cidades pertencentes ao Grupo 2.

Quadro 1 – Valores médios e máximos de ETo (mm d⁻¹) estimados pelos três métodos analisados: Penman-Monteith (ET_{0-PM}), Blaney-Criddle (ET_{0-BC}) e Hargreaves & Samani (ET_{0-Harg}), no Grupo 1

Localidades																		
Mês	Barretos						Bebedouro						Casa Branca					
	ET _{0-PM}		ET _{0-HG}		ET _{0-BC}		ET _{0-PM}		ET _{0-HG}		ET _{0-BC}		ET _{0-PM}		ET _{0-HG}		ET _{0-BC}	
	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.
Jan.	4,99	5,80	5,81	6,21	3,59	3,66	4,99	5,47	6,23	6,57	3,54	3,72	4,33	5,10	5,25	5,90	3,43	3,62
Fev.	4,82	5,65	5,52	6,02	3,37	3,56	4,87	5,47	5,76	6,27	3,34	3,54	4,15	5,02	5,00	5,45	3,24	3,45
Mar.	4,72	5,30	5,18	5,58	3,14	3,31	4,70	5,17	5,33	5,88	3,08	3,26	4,12	4,82	4,74	5,42	2,98	3,22
Abr.	4,25	4,78	4,36	4,81	2,78	2,99	4,23	4,86	4,61	5,02	2,73	2,92	3,83	4,43	4,12	4,65	2,64	2,84
Mai	3,37	4,03	3,40	3,87	2,31	2,50	3,32	3,75	3,65	4,10	2,27	2,42	2,95	3,42	3,08	3,64	2,15	2,42
Jun.	3,03	3,52	3,00	3,13	2,11	2,18	2,92	3,36	3,14	3,37	2,06	2,15	2,79	3,25	2,65	2,91	1,96	2,02
Jul.	3,53	4,40	3,27	3,75	2,18	2,34	3,12	3,78	3,36	3,66	2,05	2,19	3,25	4,11	2,93	3,27	2,01	2,21
Ago.	4,84	5,85	4,38	5,26	2,61	2,91	4,39	5,35	4,49	5,35	2,49	2,81	4,69	6,42	4,00	5,07	2,46	2,89
Set.	5,60	6,13	5,43	5,82	3,06	3,26	5,58	6,84	5,82	6,67	3,03	3,27	5,73	7,45	5,20	5,79	2,99	3,18
Out.	5,45	6,38	5,89	6,59	3,33	3,53	5,29	6,11	6,02	6,67	3,26	3,49	4,86	6,15	5,24	6,06	3,16	3,36
Nov.	5,45	6,40	6,01	6,59	3,55	3,73	5,66	6,54	6,45	6,94	3,56	3,79	5,22	6,27	5,87	6,70	3,46	3,79
Dez.	4,90	5,46	5,71	6,36	3,59	3,70	5,09	5,71	6,25	6,68	3,58	3,68	4,51	5,21	5,40	6,08	3,52	3,74
Mês	Jaú						Votuporanga						Jales					
	ET _{0-PM}		ET _{0-HG}		ET _{0-BC}		ET _{0-PM}		ET _{0-HG}		ET _{0-BC}		ET _{0-PM}		ET _{0-HG}		ET _{0-BC}	
	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.
Jan.	5,16	6,01	5,60	6,27	3,54	3,73	4,75	5,98	5,21	6,56	3,59	3,79	4,63	4,99	5,32	6,03	3,40	3,61
Fev.	4,88	5,66	5,24	5,98	3,33	3,52	5,87	7,06	6,46	7,28	3,56	3,73	4,61	4,95	5,11	5,62	3,24	3,42
Mar.	4,85	5,42	4,80	5,34	3,04	3,24	4,77	6,05	5,30	6,14	3,21	3,42	4,20	4,58	4,63	5,23	2,96	3,15
Abr.	4,47	5,13	4,00	4,47	2,62	2,87	3,84	5,00	3,92	4,71	2,73	3,04	3,51	3,87	3,69	4,22	2,56	2,77
Mai	3,55	4,16	3,03	3,59	2,16	2,40	3,12	4,85	3,11	4,16	2,29	2,64	2,53	3,11	2,89	3,29	2,13	2,41
Jun.	3,19	3,82	2,55	2,84	1,95	2,08	2,75	3,97	2,57	2,91	2,15	2,36	2,14	2,56	2,50	2,95	1,92	2,05
Jul.	3,75	4,73	2,82	3,30	2,00	2,17	3,51	4,52	3,03	3,62	2,37	2,66	2,38	2,97	2,72	3,24	1,95	2,12
Ago.	5,21	6,3	3,91	4,85	2,43	2,79	4,21	5,19	3,97	5,20	2,57	2,94	3,26	3,88	3,76	4,95	2,33	2,72
Set.	6,18	8,74	5,10	5,99	2,91	3,19	4,62	6,46	4,63	5,67	2,93	3,26	4,00	4,80	4,83	6,02	2,84	3,11
Out.	5,63	7,22	5,46	6,31	3,12	3,40	5,15	6,49	5,97	7,01	3,36	3,75	4,42	4,95	4,84	5,46	3,00	3,20
Nov.	6,14	7,85	6,06	6,96	3,52	3,82	4,91	5,93	5,78	6,52	3,49	3,75	4,74	5,40	5,32	6,25	3,23	3,66
Dez.	5,31	6,10	5,59	6,21	3,57	3,77	4,75	6,85	5,57	6,66	3,59	3,87	4,50	5,07	5,32	6,29	3,42	3,65

Quadro 2 – Valores médios e máximos de ETo (mm d⁻¹) estimados pelos três métodos analisados: Penman-Monteith (ETo-PM), Blaney-Cridle (ETo-BC) e Hargreaves & Samani (ETo-Harg), no Grupo 2

Localidades																		
Mês	Araraquara						Itapetininga						Limeira					
	ETo-PM		ETo-HG		ETo-BC		ETo-PM		ETo-HG		ETo-BC		ETo-PM		ETo-HG		ETo-BC	
	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.
Jan.	4,60	5,26	5,32	5,57	3,35	3,44	4,49	5,58	5,72	6,72	3,44	3,68	4,44	5,26	5,69	6,51	3,40	3,60
Fev.	4,60	5,03	5,09	5,43	3,15	3,30	4,28	5,26	5,38	6,29	3,22	3,42	4,36	5,16	5,34	6,31	3,21	3,35
Mar.	4,40	5,00	4,63	5,24	2,91	3,09	3,90	4,61	4,77	5,23	2,88	3,07	3,94	4,75	4,91	5,49	2,92	3,14
Abr.	3,89	4,39	3,73	4,18	2,49	2,68	3,08	3,69	3,76	4,16	2,38	2,67	3,40	4,12	4,13	4,62	2,53	2,75
Mai	3,15	3,55	2,82	3,18	2,05	2,23	2,16	2,66	2,82	3,30	1,91	2,13	2,51	2,87	3,05	3,62	2,05	2,31
Jun.	2,75	3,27	2,42	2,61	1,87	1,92	1,72	2,12	2,33	2,68	1,67	1,80	2,13	2,82	2,57	2,87	1,82	1,94
Jul.	3,21	3,74	2,64	3,12	1,91	2,12	1,97	2,51	2,57	3,11	1,72	1,94	2,43	3,07	2,83	3,31	1,87	2,05
Ago.	4,43	5,33	3,62	4,29	2,31	2,62	2,84	3,45	3,47	4,17	2,07	2,38	3,49	4,47	3,92	5,01	2,30	2,75
Set.	5,00	6,17	4,56	5,03	2,70	2,88	3,50	4,41	4,41	5,33	2,48	2,74	4,33	5,62	5,15	6,08	2,78	3,02
Out.	4,99	5,90	5,15	5,64	2,97	3,17	3,88	4,86	4,92	5,45	2,82	3,07	4,14	5,30	5,45	6,23	3,01	3,24
Nov.	4,90	5,85	5,45	5,84	3,24	3,46	4,63	5,91	5,74	6,81	3,27	3,56	4,96	6,00	6,15	7,16	3,36	3,71
Dez.	4,44	5,23	5,17	5,45	3,33	3,45	4,46	5,05	5,63	6,19	3,40	3,63	4,33	5,83	5,75	6,64	3,45	3,74

Mês	São João da Boa Vista						Botucatu						Itapeva					
	ETo-PM		ETo-HG		ETo-BC		ETo-PM		ETo-HG		ETo-BC		ETo-PM		ETo-HG		ETo-BC	
	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.
Jan.	4,19	5,23	5,27	5,80	3,25	3,42	4,03	5,18	5,06	5,73	3,31	4,03	4,63	5,59	5,72	6,50	3,46	3,63
Fev.	4,06	4,98	4,97	5,60	3,07	3,26	3,95	4,96	4,75	5,53	3,11	3,95	4,59	5,34	5,50	5,99	3,28	3,48
Mar.	3,83	4,4	4,62	5,11	2,80	2,96	3,59	4,44	4,19	4,83	2,81	3,59	3,97	4,84	4,71	5,60	2,90	3,13
Abr.	3,31	3,74	3,79	4,25	2,40	2,62	2,87	3,85	3,38	3,86	2,41	2,87	3,12	3,94	3,67	4,21	2,34	2,60
Mai	2,46	3,07	2,95	3,48	1,96	2,20	1,91	2,28	2,49	2,99	1,95	1,91	2,08	2,46	2,70	3,12	1,87	2,09
Jun.	2,16	2,52	2,43	2,67	1,76	1,83	1,51	1,86	2,07	2,35	1,72	1,51	1,65	1,88	2,27	2,55	1,64	1,75
Jul.	2,45	3,07	2,64	3,00	1,79	1,96	1,74	2,65	2,32	2,72	1,78	1,74	1,96	2,55	2,53	3,19	1,70	1,93
Ago.	3,45	4,16	3,59	4,44	2,18	2,44	2,32	3,14	3,29	4,14	2,20	2,32	2,67	3,16	3,24	3,90	1,98	2,18
Set.	4,19	5,17	4,64	5,37	2,63	2,85	2,96	3,82	4,29	4,87	2,64	2,96	3,32	3,9	4,03	4,62	2,38	2,61
Out.	4,00	4,94	4,99	5,83	2,86	3,08	3,18	4,28	4,61	5,37	2,85	3,18	4,12	4,93	4,99	6,23	2,80	3,20
Nov.	4,51	5,70	5,51	6,22	3,17	3,37	3,85	5,37	5,28	6,06	3,21	3,85	4,55	5,00	5,50	6,09	3,18	3,46
Dez.	4,41	4,91	5,32	5,90	3,30	3,43	3,87	5,17	5,07	5,77	3,30	3,87	4,52	5,25	5,63	6,12	3,42	3,57

O menor valor de ETo estimado foi de 1,51 mm d⁻¹, no mês de junho em Botucatu, e o maior valor (8,74 mm d⁻¹) em Jaú, no mês de setembro, ambos estimados pelo método de Penman-Monteith – FAO.

O comportamento da evapotranspiração seguiu a distribuição de chuvas, como esperado, apresentando níveis maiores nos meses de setembro a abril e menores de maio a agosto.

Nas Figuras 3 a 4 estão representadas as regressões lineares e respectivas equações, que permitem analisar, de forma quantitativa, o comportamento dos métodos comparados. Os métodos estão separados e divididos por região de estudo, sempre relacionados com o padrão Penman-Monteith – FAO.

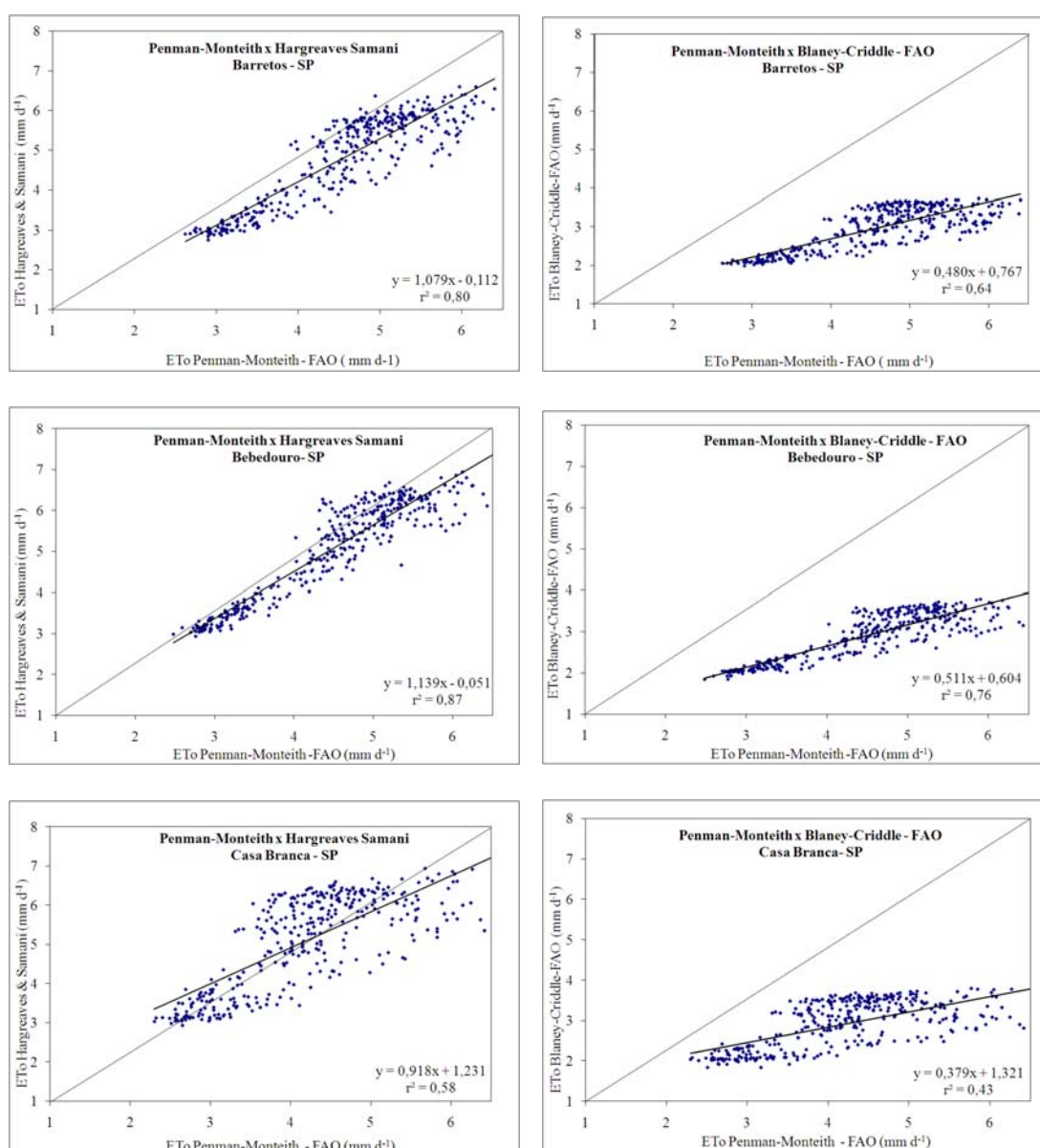


Figura 3 – Correlações entre os valores de ET₀, em mm d⁻¹, estimados por Penman-Monteith (PM), Hargreaves & Samani (HS) e Blaney-Criddle (BC-FAO), no Grupo 1. Continua...

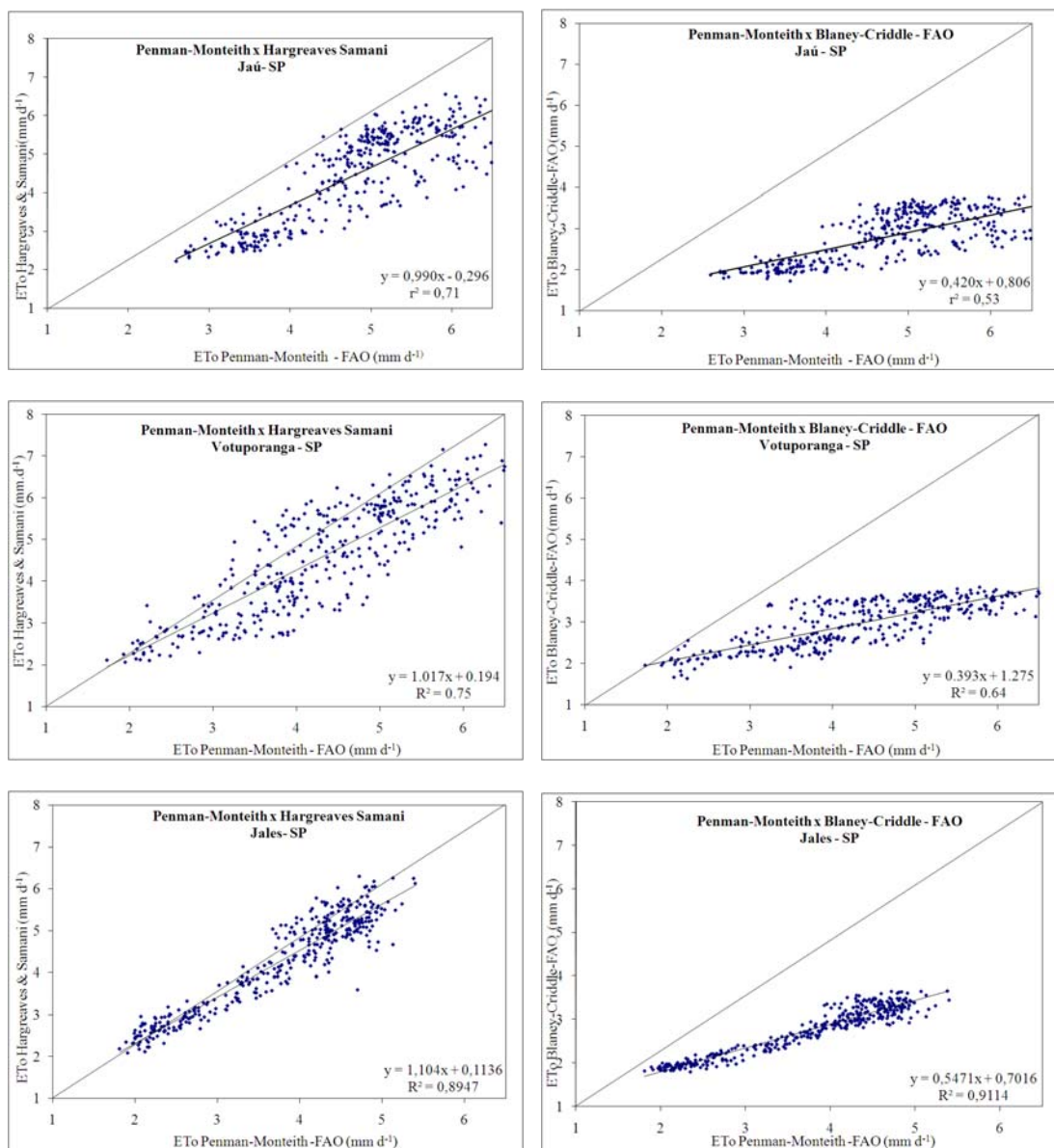


Figura 3 – Continuação... Correlações entre os valores de ETo, em mm d^{-1} , estimados por Penman-Monteith (PM), Hargreaves & Samani (HS) e Blaney-Criddle (BC-FAO), no Grupo 1.

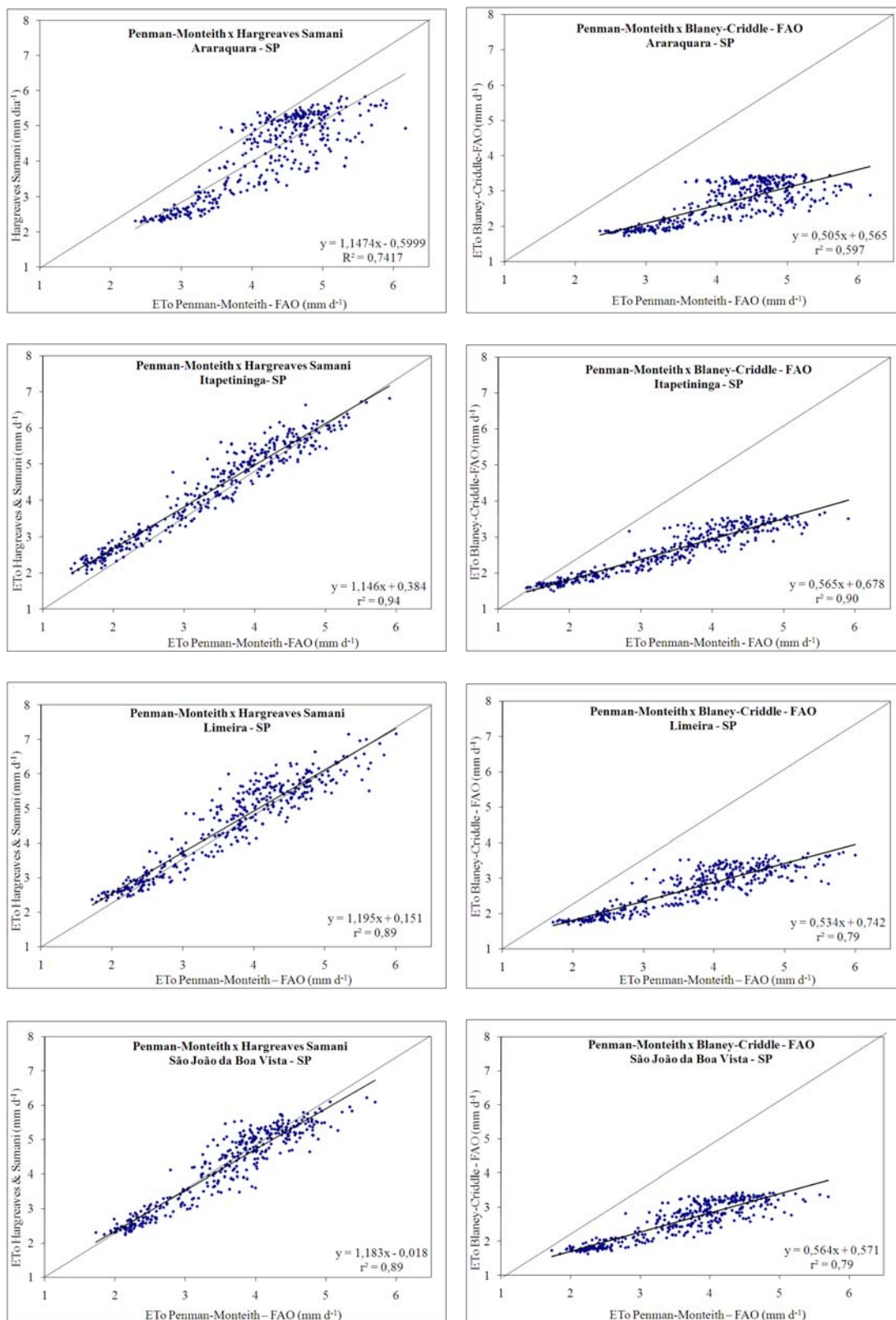


Figura 4 – Correlações entre os valores de ETo, em mm d⁻¹, estimados por Penman-Monteith (PM), Hargreaves & Samani (HS) e Blaney-Criddle (BC-FAO), no Grupo 2. Continua...

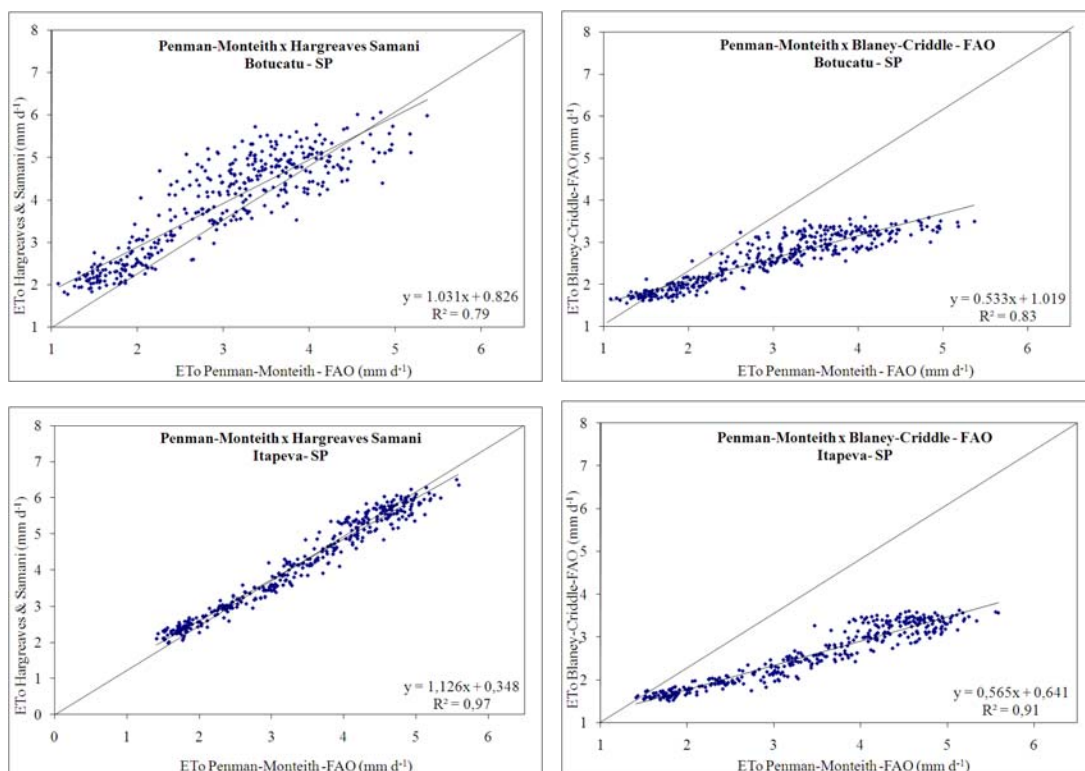


Figura 4 – Continuação... Correlações entre os valores de ETo, em mm d⁻¹, estimados por Penman-Monteith (PM), Hargreaves & Samani (HS) e Blaney-Criddle (BC-FAO), no grupo 2.

Nos Quadros 3 e 4, apresentam-se os valores médios anuais de ETo estimados pelos três métodos, a porcentagem de variação dos dois métodos comparados com o padrão, a estimativa do erro-padrão, os parâmetros da equação de regressão (β_0 , β_1), o coeficiente de determinação (r^2), o coeficiente de correlação (r), a estimativa do erro-padrão (EEP), o índice de concordância (d) e o índice de confiança ou desempenho (c) das regiões em estudo, no Norte do Estado de São Paulo.

Analisando os dados, observou-se que a tendência de superestimativa do método de Hargreaves & Samani, em comparação com Penman-Monteith, é marcante, e integra a gama de literatura que relata esse comportamento (BONOMO et al., 1998; FARIA, 2000; MENDONÇA, 2003; FRANÇA NETO, 2003; TAGLIAFERRE, 2006), alcançando valor máximo de 31% em Botucatu e mínimo de 0,40% em Araraquara. A exceção foi a região de Jaú, onde o último método subestimou o padrão em 7,1%, concordando com Oliveira et al. (2005), em estudos realizados em Goiânia, GO; Dos Reis et al. (2007); Tagliaferre (2006), em comparações com a região de Viçosa, MG; e Mendonça et al. (2003), na região do Norte Fluminense, RJ.

Quadro 3 – Evapotranspiração média diária do período, mm d⁻¹ (1); porcentagem em relação ao método-padrão (PM) (2); erro-padrão de estimativa em relação ao método-padrão, mm d⁻¹ (3); coeficientes da equação de regressão ajustada (4) e (5); coeficiente de determinação da regressão (6); erro-padrão de estimação em relação à regressão, mm d⁻¹ (7); índice de concordância, adimensional (8); índice de confiança (9); e coeficiente de correlação (10), no Grupo 1

Método	ET _o (1)	% (2)	SEE (3)	β_0 (4)	β_1 (5)	r^2 (6)	SEEd (7)	d (8)	c (9)	r (10)
BARRETOS										
PM - FAO	4,58	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-
HG	4,83	105,50	0,55	-0,11	1,08	0,80	0,45	0,91	0,78	0,89
BC	2,97	64,81	1,71	0,77	0,48	0,64	0,68	0,54	0,42	0,77
BEBEDOURO										
PM - FAO	4,51	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-
HG	5,09	112,87	1,32	-0,05	1,14	0,87	0,37	0,89	0,83	0,93
BC	2,91	64,60	1,70	0,60	0,38	0,76	0,54	0,57	0,50	0,87
CASA BRANCA										
PM - FAO	4,20	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-
HG	5,09	121,20	1,18	1,23	0,92	0,58	0,84	0,73	0,55	0,76
BC	2,91	69,40	1,49	1,32	0,38	0,43	1,13	0,57	0,37	0,65
JAÚ										
PM - FAO	4,85	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-
HG	4,51	92,90	0,73	-0,30	0,99	0,71	0,65	0,89	0,76	0,85
BC	2,85	58,70	2,13	0,81	0,42	0,53	0,97	0,50	0,37	0,73
VOTUPORANGA										
PM - FAO	4,35	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-
HG	4,62	106,20	0,72	0,19	1,02	0,75	0,65	0,91	0,79	0,87
BC	2,99	68,60	1,56	1,28	0,39	0,64	2,46	0,60	0,48	0,80
JALES										
PM - FAO	3,70	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-
HG	4,58	113,40	1,22	0,11	1,10	0,89	0,33	0,91	0,86	0,95
BC	2,72	73,50	1,13	0,70	0,55	0,91	0,30	0,70	0,67	0,95

Quadro 4 – Evapotranspiração média diária do período, mm d⁻¹ (1); porcentagem em relação ao método-padrão (PM) (2); erro-padrão de estimativa em relação ao método-padrão, mm d⁻¹ (3); coeficientes da equação de regressão ajustada (4) e (5); coeficiente de determinação da regressão (6); erro-padrão de estimação em relação à regressão, mm d⁻¹ (7); índice de concordância, adimensional (8); índice de confiança (9); e coeficiente de correlação (10), no Grupo 2

Método	ET _o (1)	% (2)	SEE (3)	β_0 (4)	β_1 (5)	r^2 (6)	SEEA (7)	d (8)	c (9)	r (10)
ARARAQUARA										
PM - FAO	4,20	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-
HG	4,21	100,40	0,55	-0,60	1,15	0,74	0,49	0,91	0,78	0,86
BC	2,69	64,10	1,71	0,56	0,50	0,60	0,70	0,54	0,42	0,77
ITAPETININGA										
PM - FAO	3,41	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-
HG	4,29	125,90	0,95	0,38	1,15	0,94	0,27	0,86	0,83	0,97
BC	2,60	76,50	0,95	0,68	0,56	0,90	0,38	0,76	0,71	0,94
LIMEIRA										
PM - FAO	3,70	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-
HG	4,58	123,60	0,99	0,15	1,20	0,89	0,35	0,83	0,78	0,94
BC	2,72	73,60	1,11	0,74	0,53	0,79	0,51	0,69	0,61	0,89
SÃO JOÃO DA BOA VISTA										
PM - FAO	3,58	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-
HG	4,22	117,80	0,75	-0,02	1,18	0,89	0,31	0,87	0,82	0,94
BC	2,60	72,40	1,09	0,57	0,56	0,79	0,45	0,69	0,61	0,89
BOTUCATU										
PM - FAO	2,98	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-
HG	3,90	130,80	1,06	0,83	1,03	0,79	0,51	0,79	0,70	0,89
BC	2,61	87,50	0,64	1,02	0,53	0,83	1,08	0,84	0,76	0,91
ITAPEVA										
PM - FAO	3,70	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-
HG	4,58	122,70	1,51	0,35	1,13	0,96	0,21	0,89	0,87	0,98
BC	2,72	73,30	1,08	0,64	0,56	0,91	0,35	0,77	0,74	0,96

Em contrapartida, o método de Blaney-Criddle – FAO, quando comparado com o Penman-Monteith, tendeu à subestimativa dos valores de ETo no período considerado, com maior discrepância de valores na região de Jaú (41%) e menor em Botucatu (12,5%). Tal comportamento também foi observado por Bonomo et al. (1998) e França Neto (2003), na região da Zona da Mata mineira. Isso embora Oliveira et al. (2005) relatassem, em trabalho realizado em Goiás; e Dos Reis (2007), no Espírito Santo, tendência à pequena superestimativa desse método em relação ao padrão.

O SEE dá pesos iguais às variações absolutas entre os valores estimados pelas variáveis independente e dependente, indicando como cada método estimou os valores de ETo, em determinado período, na cada localidade (JENSEN et al., 1990). Essa variação foi de 0,64 a 2,13 mm d⁻¹ nas regiões de Botucatu e Jaú, estimadas por Blaney-Criddle – FAO; e de 0,55 a 1,51 mm d⁻¹ nas regiões de Araraquara/Barretos e Itapeva, estimadas por Hargreaves & Samani, respectivamente. Logo, o método de HG apresentou-se com menor erro, embora se tenha observado a característica de superestimar a ETo.

Avaliando os parâmetros da regressão, observou-se uma superioridade do método HG em relação a BC, com β_0 tendendo a zero ($\mu=0,18$) e β_1 à unidade ($\mu=1,09$) na maioria das localidades, exceto na região de Casa Branca. Tal comportamento se repetiu na avaliação do r^2 , com extremos de 0,96 em Itapeva e 0,58 em Casa Branca. Esses valores estão bem acima dos observados nas estimativas por BC, que ficaram em torno de 0,91 em Jales e Itapeva e 0,43 em Casa Branca.

Embora o r^2 não permitisse qualitativamente definir a magnitude das diferenças entre os métodos, observou-se notória superioridade de HG diante de BC. Bonomo (1999) salientou que valores baixos de r^2 indicam a necessidade de ajustes regionais nos métodos a serem utilizados, bem como aumento no período de observação (> 10 dias) acarreta progressivo aumento nos coeficientes de determinação (r^2) (MENDONÇA et al., 2003).

Ao analisar o SEEA, que representa variação média dos valores de evapotranspiração de referência estimados pelos diferentes métodos e corrigidos pelos coeficientes da regressão linear, em relação aos valores obtidos pelo método-padrão Penman-Monteith, como era de se esperar, observou-se a mesma tendência do SEE, com variação nos valores de SEEA estimados por Blaney-Criddle – FAO de

0,38 a 2,46 mm d⁻¹, nas regiões de Itapetininga e Votuporanga, e por Hargreaves & Samani, da ordem de 0,21 a 0,84 mm d⁻¹, em Itapeva e Casa Branca.

No contraste do SEE com o SEEA, notou-se que, na maioria das regiões, ocorreu decréscimo nos desvios com o ajuste realizado pelos coeficientes da regressão quando se utilizava o método de Hargreaves & Samani, indicando melhoria nas estimativas pós-ajuste. Já o método de Blaney-Criddle – FAO acarretou acréscimo nos valores das regiões de Casa Branca, Itapetininga, Botucatu e Votuporanga, indicando cuidado na utilização desse método, mesmo com ajustes, nessas localidades.

Observou-se que a diferença gerada entre SEE e SEEA é pouco expressiva nas regiões de Araraquara, Barretos, Votuporanga e Jaú, próximo a 0,04 mm d⁻¹, indicando boa representatividade da ETo por esse método, mesmo sem ajuste.

O método de Blaney-Criddle – FAO apresentou diferença de 0,03 mm d⁻¹, entre SEE e SEEA, na região de Limeira, o que pode indicar esse método como bom quantificador do consumo de água pela ETo local, mesmo tendo sido observada a característica de subestimação. Vale ressaltar que nesse método o número de variáveis meteorológicas requeridas é maior que em Hargreaves & Samani (PEREIRA et al., 1997). As correções mais expressivas para Hargreaves & Samani foram requeridas na região de Itapeva ($\Delta = 1,30$ mm d⁻¹) e para Blaney-Criddle – FAO ($\Delta = 0,83$) mm d⁻¹, em Jales.

Analisando os índices de desempenho estatístico, observou-se que o método de Hargreaves & Samani apresentou maior exatidão ($d=0,91$) nas regiões de Barretos, Votuporanga, Jales, Araraquara ($d=0,91$) e menor ($d=0,73$) em Casa Branca.

Os valores desse índice para Blaney-Criddle foram maiores em Botucatu ($d=0,84$) e menores em Jaú ($d=0,50$).

O coeficiente de correlação (r) apresentou classificação $> 0,5$ (“alta”) em todas as regiões e métodos avaliados, indicando estreita correlação entre esses e o padrão, com destaque “quase perfeito” nas regiões de Jales, Botucatu e Itapeva para Blaney-Criddle – FAO, bem como em Bebedouro, Jales, Itapetininga, São João da Boa Vista e Itapeva, para Hargreaves & Samani.

Os valores do índice de confiança/desempenho (c) calculado pelo método Blaney-Criddle – FAO indicaram desempenho catastrófico deste nas regiões do Grupo 1, com valores variando de 0,37 a 0,48 (“péssimo/mau”), e na região de

Araraquara (Grupo 2), com 0,42. Resultados esses diferentes dos encontrados por Camargo e Sentelhas (1997), nas avaliações no Estado de São Paulo, onde esse método foi classificado como “bom”, porém concordantes nas demais regiões do Grupo 2, com índices maiores, chegando a alcançar a classificação de “Muito bom”, com maior valor (0,76) em Botucatu bem próximo ao relatado por esses autores.

Para Hargreaves & Samani, o índice de confiança foi classificado em “Muito bom”, em grande parte das regiões avaliadas, semelhante ao relatado por Conceição (2003) para o Noroeste do Estado de São Paulo e Camargo e Sentelhas (1997) para três localidades desse mesmo Estado, e classificação “Ótima” em Jales e Itapeva. Nessas duas regiões, os índices de avaliação indicaram correlações fortes e boa precisão pelos dois métodos em estudo, concordando com estudos realizados por Conceição (2005), no Rio Grande do Sul. A exceção desse comportamento foi a região de Casa Branca, com $c = 0,55$, considerado “sofrível”.

Em síntese, observou-se que o método de Hargreaves & Samani apresentou altos índices de precisão “r”, de desempenho “c” e exatidão “d” próximo da unidade, caracterizando concordância quase perfeita na maioria das regiões em estudo, exceto em Casa Branca. Tal fato evidencia ser esse um método adequado para a estimativa da ETo nessas localidades, requerendo para uso em algumas delas o “ajuste” pela inserção dos valores de β_0 e β_1 para correção e melhora da “performance” das estimativas.

O método de Blaney-Criddle – FAO apresentou possibilidade de uso nas regiões de Jales, Botucatu e Itapeva, onde a análise conjunta dos índices e valores de estimativas apresentou melhor desempenho.

A região de Casa Branca apresentou restrição total aos dois métodos avaliados, não sendo recomendado o seu uso em estimativas de valores de ETo nessa localidade.

Nas Figuras de 5 e 6, representa-se graficamente o comportamento da ETo estimada pelos três métodos. É bem nítida a visualização da melhora do comportamento dos valores de pós-ajuste realizado pela inserção dos parâmetros da regressão. Apresenta-se, lado a lado, o comportamento antes e pós-ajuste, verificando que em determinadas regiões este se aproxima dos valores do método-padrão, o que torna praticamente impossível distingui-los.

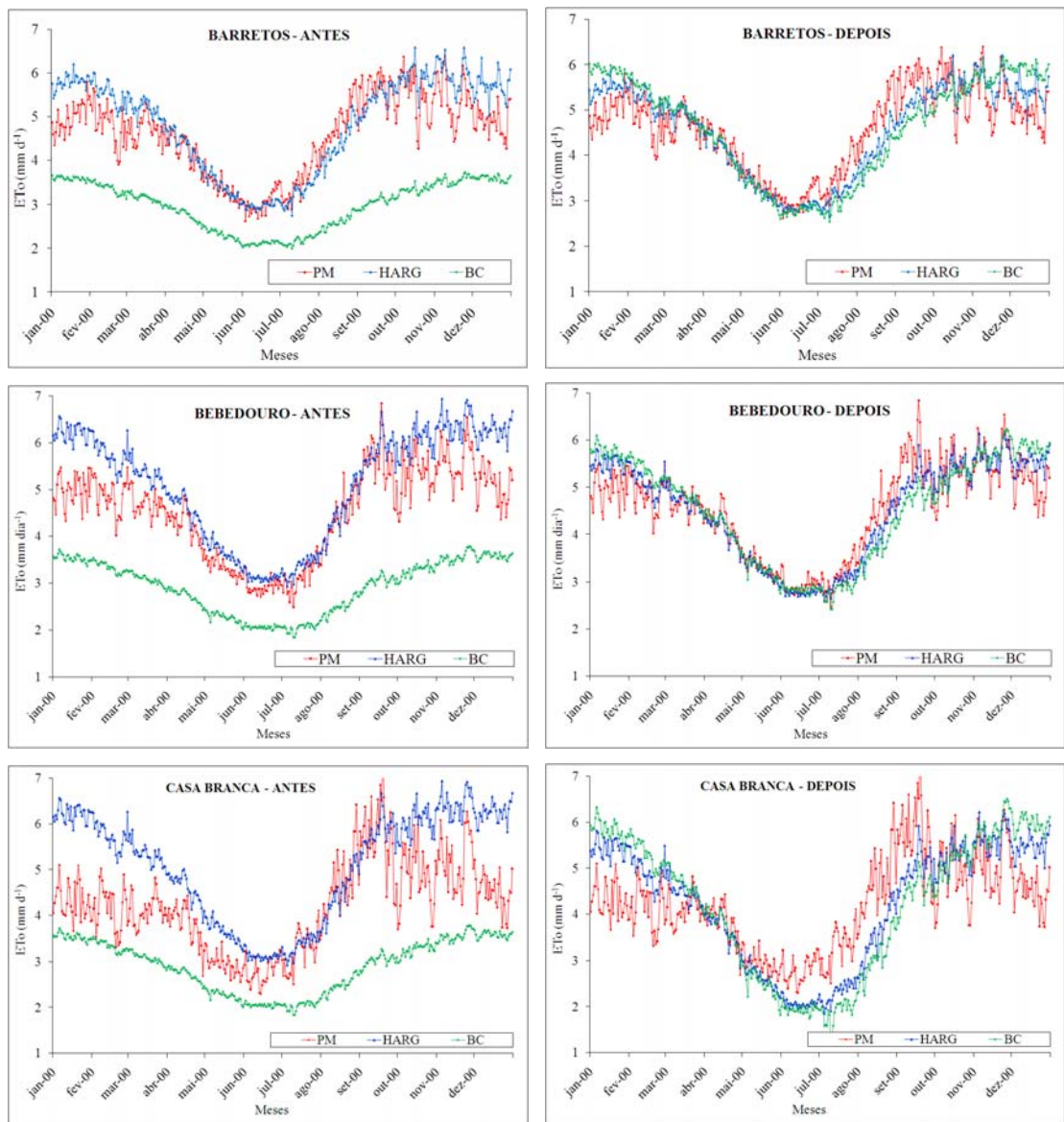


Figura 5 – Comparação dos valores diários de ETo (mm d^{-1}) estimados por Penman-Montheit (PM), Hargreaves & Samani (HS) e Blaney-Criddle (BC-FAO), antes/após o ajuste, no Grupo 1. Continua...

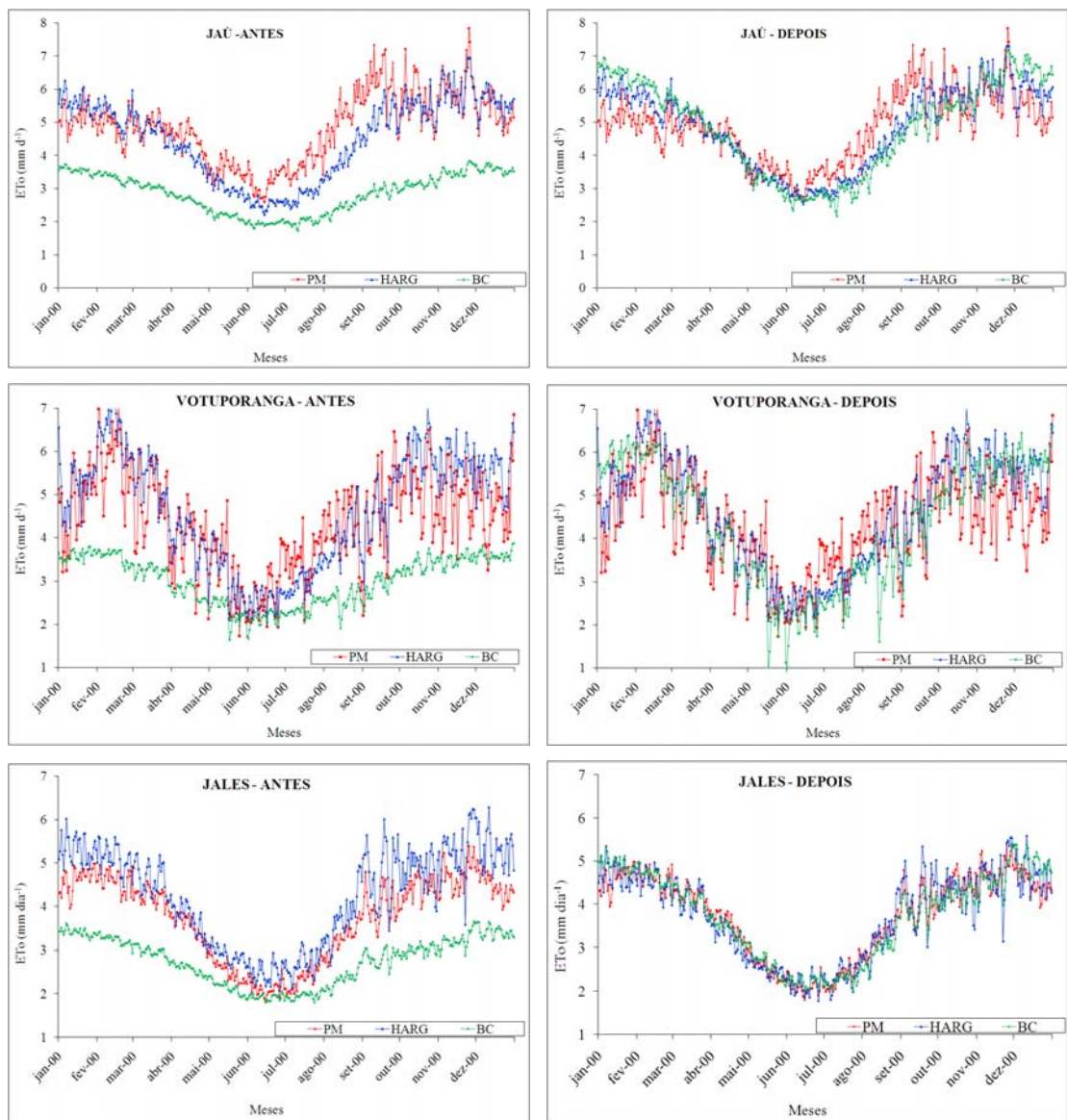


Figura 5 – Continuação... Comparação dos valores diários de ET_0 ($mm\ d^{-1}$) estimados por Penman-Montheit (PM), Hargreaves & Samani (HS) e Blaney-Criddle (BC-FAO), antes/após o ajuste, no Grupo 1.

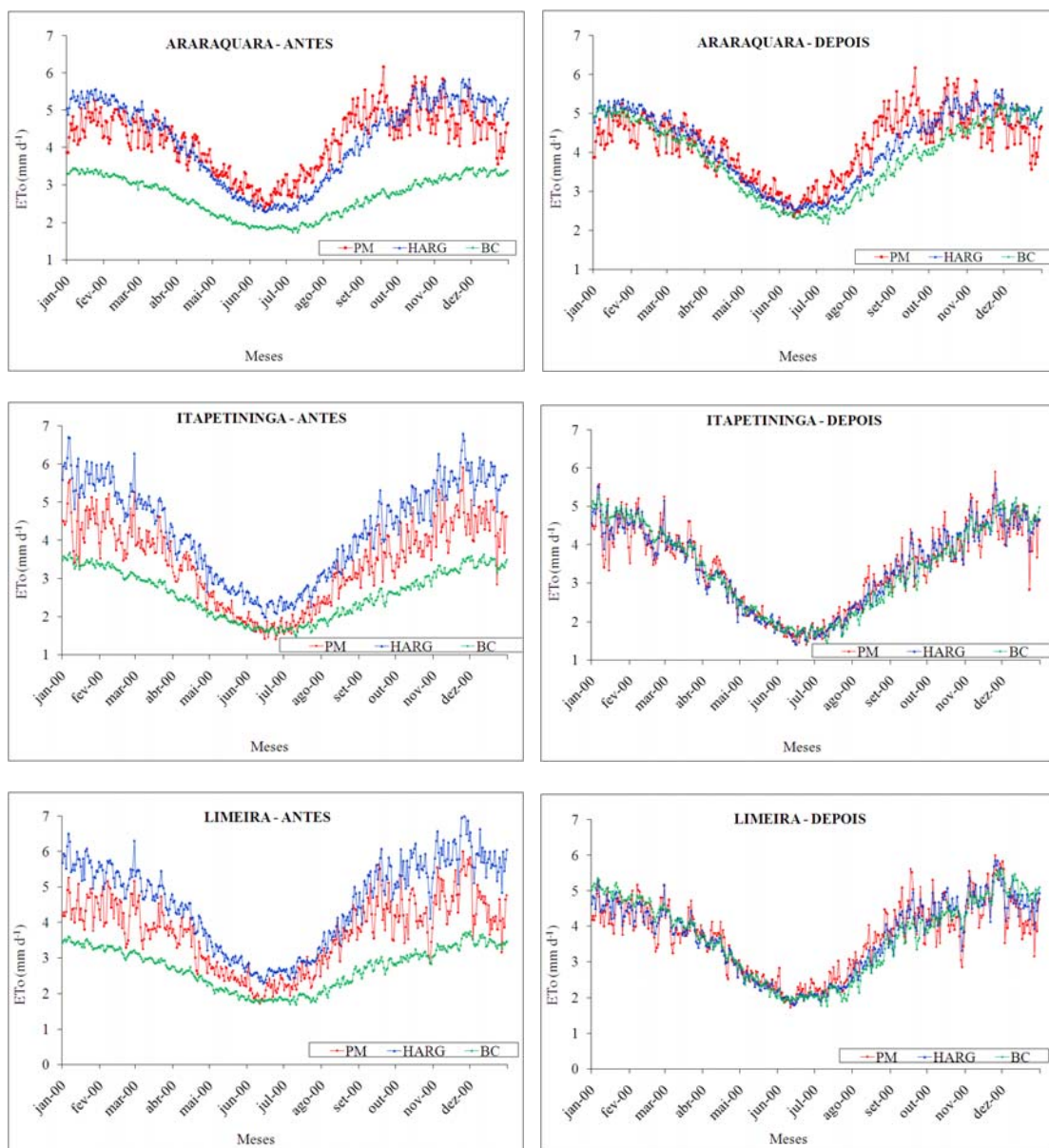


Figura 6 – Comparação dos valores diários de ETo (mm d⁻¹) estimados por Penman-Montheit (PM), Hargreaves & Samani (HS) e Blaney-Criddle (BC-FAO), antes/após o ajuste, no Grupo 2. Continua...

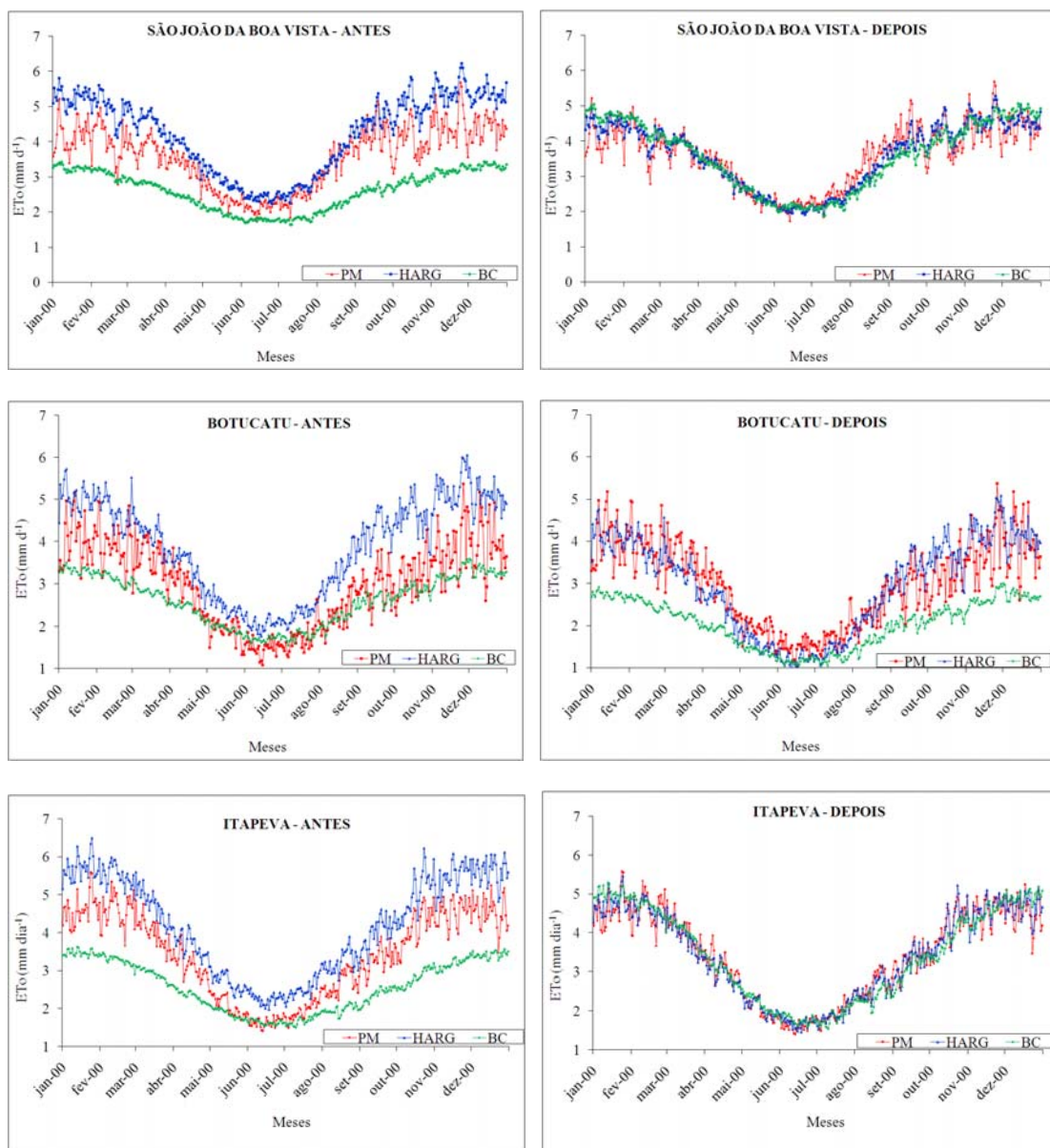


Figura 6 – Continuação... Comparação dos valores diários de ET_0 (mm d^{-1}) estimados por Penman-Montheit (PM), Hargreaves & Samani (HS) e Blaney-Criddle (BC-FAO), antes/após o ajuste, no Grupo 2.

Nas Figuras 7 e 8, pode ser observado, graficamente, o comportamento da ET_0 estimada pelos métodos em estudo, em médias mensais durante o ano. Esse tipo de observação é pertinente para a melhor visualização da qualidade dos métodos diante das variações das condições climáticas ao longo do ano.

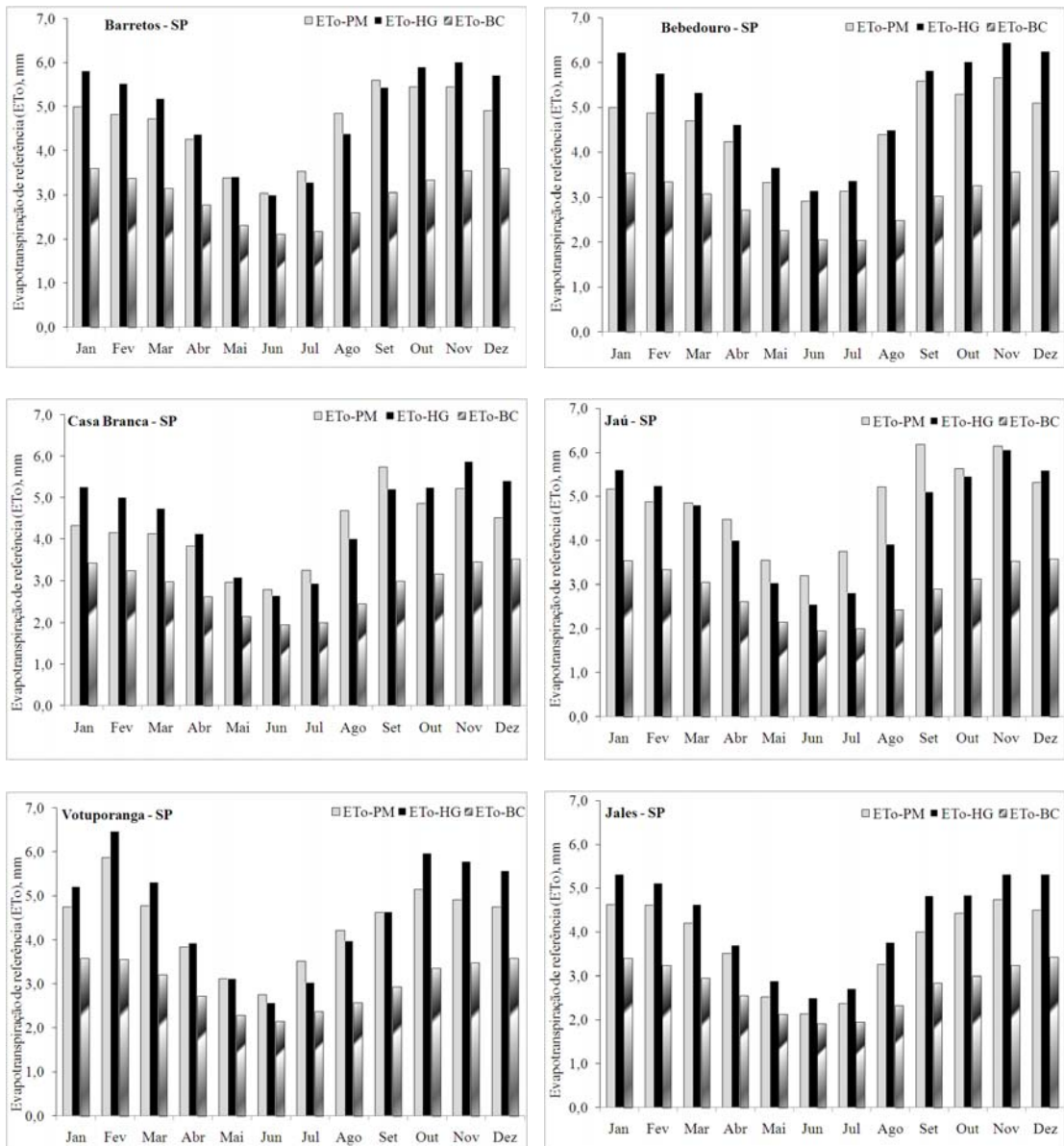


Figura 7 – Comportamento da ETo e média mensal (mm) estimados pelos métodos de Penman-Montheit (PM), Hargreaves & Samani (HS) e Blaney-Criddle – FAO (BC), no Grupo 1.

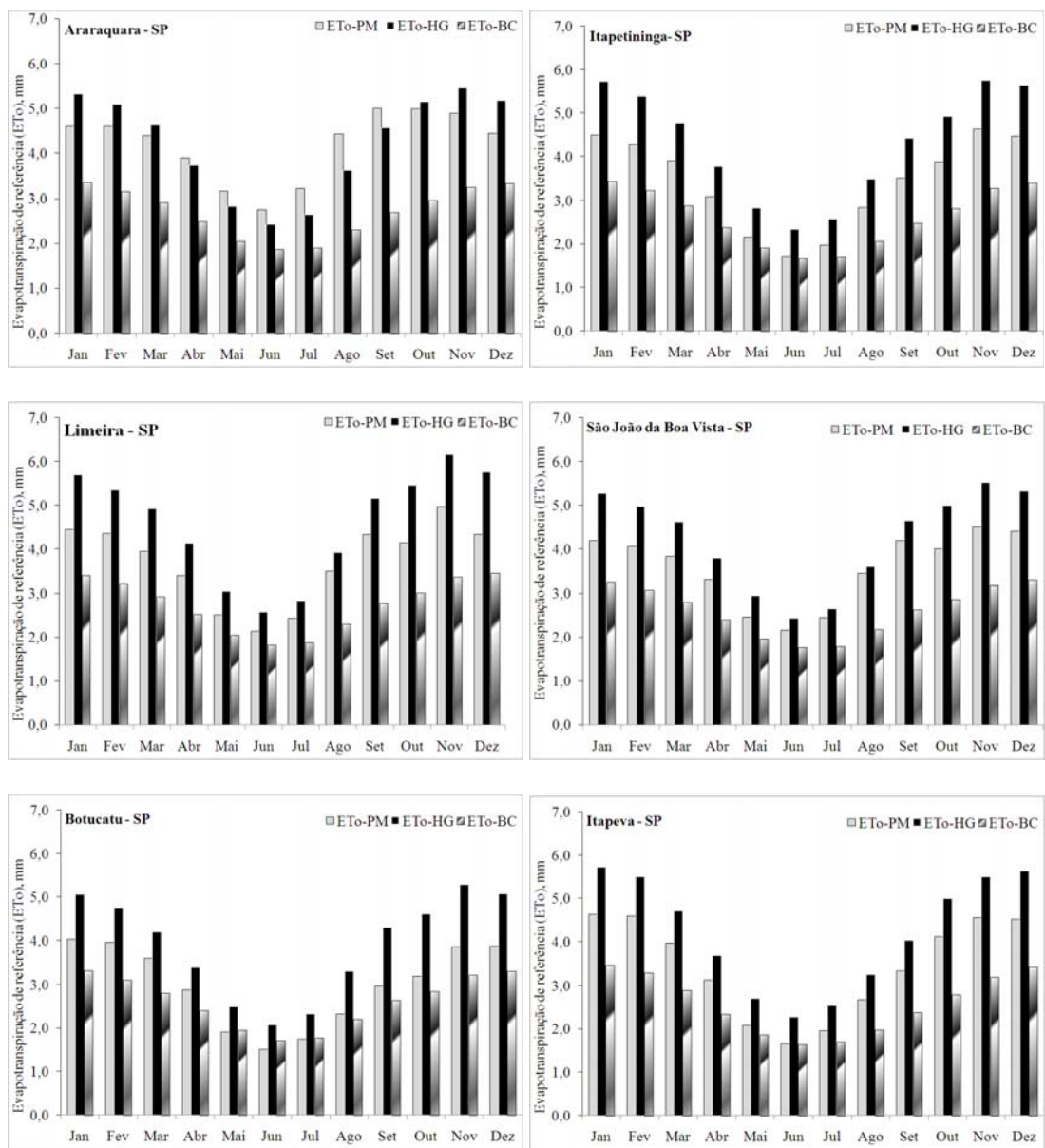


Figura 8 – Comportamento da ETo e média mensal (mm) estimados pelos métodos de Penman-Montheit (PM), Hargreaves & Samani (HS) e Blaney-Criddle – FAO (BC), no Grupo 2.

Uma análise mensal do comportamento da ETo estimada por Hargreaves & Samani em relação ao método-padrão evidencia a superestimativa dos valores durante todo o ano nas regiões de Bebedouro, Itapetininga, Limeira, São João, Botucatu, Itapeva e Jales, ressaltando-se que nas outras regiões ocorrem alternâncias entre esse método e o padrão. Outra observação importante é que nos meses de outubro a março aquele tende a superestimar o padrão em todas as regiões estudadas;

nos meses de junho-julho (frios), subestima o padrão nas regiões de Araraquara, Casa Branca, Jaú e Votuporanga.

As maiores diferenças entre os valores estimados por Hargreaves & Samani e pelo padrão são observadas nos meses quentes do ano e nas regiões de Itapetininga, Limeira, São João e Botucatu.

Jaú é a região que apresenta menores amplitudes entre HG e PM, com comportamento com superestimativas de dezembro a fevereiro, queda brusca e subestimativas nos meses frios, retomando os valores gradativamente em agosto.

Limeira e São João da Boa Vista apresentam-se bem semelhantes à Casa Branca, porém com superestimativa de HG durante todo os períodos do ano e redução na amplitude dos meses mais frios.

Análises no comportamento mensal da ETo estimada por Blaney-Criddle – FAO, diante do método-padrão, permitem perceber que em todas as regiões o comportamento foi o mesmo, salvo alteração de grandeza de valores de ETo. Apresentam valores elevados nos meses quentes (outubro a março) e menores nos frios (abril a setembro). Em Itapetininga e Botucatu, o valor estimado por BC superestimou o valor-padrão nos meses mais frios.

Observa-se, portanto, que as variações acontecem, e, mesmo que um método seja referenciado pelo período de um ano, ele não indica que seja o melhor na época em que se necessita das irrigações em citros. Deve-se atentar para o fato de que métodos simplificados não são indicados para períodos diários de estimativas (PEREIRA et al., 1997), sendo mais representativos para valores mensais.

4. CONCLUSÃO

Houve tendência de superestimativa dos valores de ETo por Hargreaves-Samani (1985), exceto na região de Jaú.

Valores subestimados foram atribuídos à metodologia proposta por Blaney-Criddle – FAO para todas as regiões estudadas.

No comportamento mensal da ETo, verificou-se que os três métodos apresentaram a mesma distribuição; Hargreaves-Samani (1985), maior amplitude em relação a PM nos meses mais quentes e chuvosos do ano, para cima; e Blaney-Criddle – FAO, para baixo. Nos meses mais frios, a amplitude diminuiu significativamente entre os três métodos estudados.

Nos meses de maior demanda hídrica em citros, que vai de setembro a novembro, com alguns veranicos em abril, o método de Hargreaves-Samani (1985) apresentou-se como excelente alternativa na estimativa de consumo de água como componente do balanço hídrico, podendo ser recomendado, com os devidos ajustes, para fins de manejo e planejamento da irrigação nas regiões estudadas.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (MCT/CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro; e ao Departamento de Meteorologia Agrícola (DEA/UFV), pela acolhida.

6. REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; PRUITT, W.O. Rational use of the FAO Blaney-Criddle formula. **Journal Irrigation and Drainage ASCE**, v. 112(IR2), p. 139-155, 1986.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for computing crop water requeriments**. Rome: FAO, 1998. 308 p. (FAO – Irrigation and Drainage, 56).

ALVES SOBRINHO, T.; BONOMO, R.; MANTOVANI, E.C.; SEDIYAMA, G.C. Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) para Dourados e Ponta Porã, Mato Grosso do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25., 1996, Bauru. **Resumos...** Bauru, SP: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1996. (CD-Rom).

AMATYA, D.M.; SKAGGS, R.W.; GREGORY, J.D. Comparison of methos for estimating REF-ET. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 121, n. 6, p. 427-435, 1995.

BONOMO, R.; MANTOVANI, E.C.; SEDIYAMA, G.C. Estudo comparativo de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) para regiões cafeeiras do Triângulo e Noroeste de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas, MG, 1998. v. 1, p. 307-309.

BONOMO, R. **Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais**. 1999. 224 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CONCEIÇÃO, M.A.F. Estimativa da evapotranspiração de referência com base na temperatura do ar para as condições do Baixo Rio Grande, SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 229-236, 2003.

CONCEIÇÃO, M.A.F.; MANDELLI, F. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em Bento Gonçalves, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 2, p. 303-307, 2005.

CHANG, J. **Climate and agriculture**. 2. ed. Chicago: Aldine Publishing Company, 1971. 296 p.

CUENCA, R.H.; NICHOLSON, M.T. Application of Penman equation wind function. **Journal Irrig. and Drain. Eng.**, ASCE, v.108, p. 13-23, 1982.

DAVIES, F.S.; ALBRIGO, L.G. **Cítricos**. Zaragoza: Acribia, 1994. 284 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Roma: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Necessidades hídricas das culturas**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1997. 204 p. (FAO – Irrigação e Drenagem, 24).

DOS REIS, E.F.; BRAGANÇA, R.; GARCIA, G. de O.; PEZZOPANE, J.E.M.; TAGLIAFERRE, C. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do estado do espírito santo no período seco. **Idesia** (Chile), v. 25, n. 3, Septiembre-Diciembre, 2007.

FARIA, R.A.; de CARVALHO, D.F.; RIBEIRO, A.; de OLIVEIRA, M.A.A. Influência do método de estimativa da evapotranspiração de referência na demanda de irrigação suplementar para o milho (*Zea mays* L.), na bacia do Rio Verde Grande (MG). **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 24, p. 187-196, dez., 2000. (Edição Especial).

FRANÇA NETO, A.C.F. **Análise de métodos simplificados de estimativa da eto e da sensibilidade das variáveis do cálculo da lâmina de irrigação para a cultura do café**. 2003. 82 f. Tese (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

FREVERT, D.R.; HILL, R.W.; BRAATEN, B.C. Estimation of FAO evapotranspiration coefficients. **Journal of Irrig. And Drain. ENG. ASCE**, v. 109, p. 265-270, 1983.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. **Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature**. Chicago: Amer. Soc. Agric. Eng. Meeteng, 1985. (Paper 85 -2517).

HOPKINS, W.G. **Correlation coefficient**. Disponível em: <<http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>>. Acesso em: 22 jan. 2007.

JENSEN, M.E. (Ed.). **Consumptive use of water and irrigation water requirements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1973.

JENSEN, M.E.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1990. 332 p.

MENDONÇA, J.C.; SOUSA, E.F.; BERNARDO, S.; DIAS, G.P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>.

MENDONÇA, J.C.; SOUSA, E.F.; BERNARDO, S.; DIAS, G.P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.

OLIVEIRA, R.Z.; de OLIVEIRA, L.F.C.; WEHR, T.R.; BORGES, L.B.; BONOMO, R.. Comparação de metodologias de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Goiânia, GO. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 21, n. 3, p. 19-27, 2005.

PEREIRA, A.R.; VILA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz. São Paulo: FEALQ, 1997. 183 p.

RIBEIRO, R.V.; MACHADO, E.C.; BRUNINI, O. Ocorrência de condições ambientais para a indução do Florescimento de laranjeiras no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v. 28, n. 2, p. 247-253, ago. 2006.

SENTELHAS, P.C.; CAMARGO, A.P. Equação para a estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, baseada no método de Hargreaves 1974. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 77-81, 1996.

SMITH, M. **Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements**. Rome, Italy: Land and Water Development Division of Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1991. 21 p.

SMITH, M.; ALLEN, R.; PEREIRA, L. Revised FAO methodology for crop water requirements. In: CAMP, C.R.; SADLER, E.J.; YODER, R.E. (Eds.). **Evapotranspiration and irrigation scheduling**. San Antonio: American Society of Agricultural Engineers, 1992. p. 116-123.

TAGLIAFERRE, C. **Desempenho do Irrigamêtro[®] e de dois minievaporímetros para estimativa**. 2006. 99 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

WILLMOTT, C.J.; CKLESON, S.G.; DAVIES, R.E. Statistics for evaluation and comparisons of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.

CAPÍTULO 4

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS COMPONENTES DA EQUAÇÃO DE HARGREAVES-SAMANI (1985) PARA A REGIÃO DE BEBEDOURO, SP

1. INTRODUÇÃO

Em razão da escassez e até mesmo da baixa qualidade dos dados meteorológicos disponíveis nas principais regiões do país, a utilização de metodologias científicas que requerem muitas variáveis meteorológicas para estimar a evapotranspiração de referência (ET_o) é comprometida. Por consequência, possíveis erros de estimativa podem comprometer todo o sistema produtivo, gerando déficits ou excesso de água que afetariam negativamente a produtividade final.

Deve-se ter em mente que a utilização de metodologia de cálculo é apenas a ferramenta que irá relacionar e interagir os parâmetros inseridos nela. Logo, a introdução de dados errôneos pode gerar incertezas que refletirão em execução de tarefas com impacto desviado do seu real objetivo.

O aumento da rede de estações meteorológicas no país gera tranquilidade no que tange à medição e fornecimento de dados de clima, em quantidade e qualidade satisfatórias. No entanto, isso preocupa pela forma com que são coletados, o manuseio e transferência desses para “banco de dados” regionais e, ou, nacionais. Assim, a obtenção de dados meteorológicos *in loco* é uma forma de diminuir os erros relativos à regionalização climática. Segundo Ley et al. (1994ab), a calibração dos

sensores de medida das estações meteorológicas automáticas podem ser tais que comprometam a qualidade da informação gerada pelos métodos de estimativa, situação piorada quando as medidas são feitas em estações convencionais, pois os erros somam-se em instrumentais e humanos (observador).

Erros de determinação de evapotranspiração ou uso consuntivo de água, devido à utilização de dados climáticos incertos, resultarão em irrigações malfeitas, com excesso ou déficit de água, acarretando em danos e perdas ao sistema solo, água e planta, além das perdas monetárias geradas. Dessa forma, os critérios de escolha dos dados meteorológicos utilizados para estimar o consumo de água pelas plantas devem ser tão minuciosos quanto a definição da metodologia de estimativa desse consumo, tendo em mente que, independentemente do método escolhido, nenhum deles é aplicável sob todas as condições (BERTUZZI et al., 1994).

Literaturas como Jensen et al. (1990) e Pereira et al. (1997) descrevem minuciosamente os processos e procedimentos envolvidos na determinação da evapotranspiração, bem como a aplicabilidade de cada metodologia.

O método-padrão de estimativa da ETo proposto pela FAO trata-se de uma equação que, baseada numa condição “padrão”, integra o processo físico de perda de água a parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos da planta (SMITH, 1991; ALLEN et al., 1998 – FAO Irrigation and Drainage Paper 56). Embora considerada padrão, tem seu uso restrito por requerer grande quantidade de informações climáticas, como temperaturas máxima, mínima e média; umidade relativa do ar; e velocidade de vento e radiação solar, nem sempre disponíveis ou de qualidade duvidosa.

Na busca de solucionar o inconveniente de excesso de dados requeridos, a utilização de métodos empíricos é uma alternativa válida para estimativa da ETo, porém geralmente necessitam de menos dados climáticos, gerando valores condizentes com as realidades do local. O método proposto por Hargreaves e Samani (1985) apresenta-se como uma dessas alternativas, por requerer somente dados de temperaturas máxima, mínima e média e radiação extraterrestre (tabelada em função da latitude local), sendo muito difundido e aceito para tal finalidade. Apresenta menores valores de erro de estimativas de ETo quando comparado com o método-padrão, embora sejam relatadas tendências de superestimar os valores de evapotranspiração mensal nas diversas regiões do país (SENTELHAS; CAMARGO, 1996; BONOMO et al., 1998; FRANÇA NETO, 2003).

A calibração desse método se resume, assim, estatisticamente na determinação, em primeira instância, do valor de uma variável dependente em função de outra independente (regressão), e posteriormente o valor desta última variável é estimado após se conhecer, ou definir, o valor da variável dependente (FRANÇA NETO, 2003). O método-padrão é utilizado para tal finalidade, gerando coeficientes de ajustes para aproximação dos valores, e a confiabilidade destes é testada em função da correlação com o método-padrão.

Após a definição dos parâmetros de calibração da equação e aliado à ocorrência de possíveis erros dos dados meteorológicos utilizados para determinação da ETo, Mello (1998) recomendou a realização de uma análise de sensibilidade, visando à explicitação da influência e dimensão desta, dos distintos componente da equação de estimativa. Dessa, forma gera-se um coeficiente de sensibilidade de qualquer variável dependente a qualquer variável independente da equação, permitindo conhecer qual o efeito do erro no resultado final. McCuen (1973), citado por Mello (1998), englobou sensibilidade como uma referência à taxa de variação em um fator com respeito à variação em um ou mais fatores, o que implica um quociente de duas diferenciais.

De acordo com Beven (1979), um dos objetivos fundamentais de uma análise de sensibilidade é mostrar claramente qual alcance de precisão é requerido para a introdução de uma variável ou de um componente no modelo e, por conseguinte, onde deverá ser feito o maior esforço na calibração deste, uma vez que cada componente tem grau diferenciado de influência sobre ele.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo principal analisar a sensibilidade dos parâmetros de temperaturas máxima, mínima e média da equação proposta por Hargreaves e Samani (1985). Considerou-se somente a influência da variação das temperaturas máxima e mínima, mantendo a radiação solar extraterrestre em função da latitude e longitude do local.

Como objetivo específico foi estudada a sensibilidade dos valores de ETo às variações de temperaturas anuais e nos meses quentes e frios do ano, simulando-se um “erro” na leitura dessa temperatura no local.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A região escolhida para a realização das simulações foi a de Bebedouro (latitude 20°53'16"S, longitude 48°28'11" W, altitude de 601 m), clima do tipo Aw. Segundo a classificação climática de Köppen, modificada por Rolim et al. (2007), apresenta temperaturas mínima e máxima médias anuais de 17,5 °C e 31 °C e precipitação de 1.440 mm, respectivamente.

Essa consideração levou em conta a importância dessa região no cenário produtivo citrícola do Estado de São Paulo e por abrigar a Estação Experimental de Citricultura de Bebedouro (EECB), importante referencial nas pesquisas citrícolas do Estado.

Bebedouro caracteriza-se por apresentar temperaturas muito baixas durante os meses de junho-julho (época de indução de florada em laranjeira) e aumentos bruscos de temperatura associados à ocorrência de déficits hídricos. E a escassez de precipitações nesses períodos promove baixo pegamento de frutos de setembro-novembro e forte abscisão de frutos nos meses posteriores.

A utilização da irrigação é técnica bastante utilizada na região pelos citricultores, buscando eliminar déficits hídricos nos períodos de pegamento e enchimento de frutos.

Alguns pesquisadores têm feito alusão à aptidão climática da região (RIBEIRO et al., 2006), porém estudos interagindo com a irrigação ainda são escassos.

Na realização das estimativas, utilizaram-se dados meteorológicos diários de temperaturas máxima, mínima e média, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar contidos no banco de dados do software IRRIPLUS[®], das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), numa série histórica de 20 anos de registro. Utilizaram-se também os mesmos dados, porém coletados numa estação meteorológica automática, marca Campbell[®], instalada na EECB, que posteriormente foram cadastrados no software IRRIPLUS[®].

Com o auxílio do software IRRIPLUS[®], estimou-se a evapotranspiração de referência (ET₀), baseada no banco de dados climáticos, pelo método de Penman-Monteith – FAO (ALLEN et al., 1998) (equação 1) e de Hargreaves e Samani (1985) (equação 2).

$$ET_0 = \left[\frac{0,408(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \right] \quad (\text{eq. 1})$$

em que:

ET₀ = evapotranspiração de referência, mm d⁻¹;

Rn = saldo de radiação na superfície, MJ m⁻²d⁻¹;

T = temperatura do ar a 2 m de altura, °C;

G = fluxo de calor no solo, MJ m⁻²d⁻¹;

U₂ = velocidade do vento à altura de 2 m, m s⁻¹;

e_s = pressão de saturação de vapor, kPa;

e_a = pressão de vapor atual do ar, kPa;

(e_s – e_a) = déficit de pressão de vapor, kPa;

Δ = declividade da curva de pressão de vapor de saturação, kPa °C⁻¹;

γ* = eficiente psicrométrico modificado, kPa°C⁻¹; e

$$ET_0 = 0,0023 Q_o (T_{máx} - T_{mín})^{0,5} (T_{méd} + 17,8). \quad (\text{eq. 2})$$

em que:

ET₀ = evapotranspiração de referência, mm d⁻¹;

Q_o = radiação extraterrestre, em mm d⁻¹;

T_{máx} = temperatura máxima, em °C;

T_{mín} = temperatura mínima, em °C; e

T_{méd} = temperatura média diária (0,5*(T_{máx} + T_{mín})), em °C.

Os cálculos foram realizados acrescentando e, ou, subtraindo cinco por cento (5%) nas temperaturas máxima ($T_{\text{máx}}$) e mínima ($T_{\text{mín}}$), simulando um possível “erro de leitura” dessas variáveis e sua representatividade nos valores de ETo. O estudo simulou situações de determinação direta da ETo, por Penman-Monteith – FAO 56 e Hargreaves-Samani (1985), sem alterações, e outras oito possíveis combinações de variação das temperaturas máximas e mínimas, assim como se segue:

- | | |
|---|--|
| ✓ PM: Penman-Monteith – FAO; | ✓ S4: $\rightarrow T_{\text{máx}}$ e $\downarrow T_{\text{mín}}$ |
| ✓ S0: $\rightarrow T_{\text{máx}}$ e $\rightarrow T_{\text{mín}}$ | ✓ S5: $\uparrow T_{\text{máx}}$ e $\uparrow T_{\text{mín}}$ |
| ✓ S1: $\uparrow T_{\text{máx}}$ e $\rightarrow T_{\text{mín}}$ | ✓ S6: $\downarrow T_{\text{máx}}$ e $\downarrow T_{\text{mín}}$ |
| ✓ S2: $\downarrow T_{\text{máx}}$ e $\rightarrow T_{\text{mín}}$ | ✓ S7: $\uparrow T_{\text{máx}}$ e $\downarrow T_{\text{mín}}$ |
| ✓ S3: $\rightarrow T_{\text{máx}}$ e $\uparrow T_{\text{mín}}$ | ✓ S8: $\downarrow T_{\text{máx}}$ e $\uparrow T_{\text{mín}}$ |

Compararam-se os valores estimados de ETo por Hargreaves Samani (1985), através das distintas combinações com os estimados por Penman-Monteith – FAO 56, avaliando a sensibilidade deles através da análise do comportamento, desvio-padrão de médias e coeficiente de variação entre os valores.

Buscando avaliar qualitativamente as estimativas de ETo, realizaram-se regressões lineares dos valores estimados de ETo, em função do método-padrão de estimativas, gerando-se os coeficientes linear (β_0) e angular (β_1) e o respectivo r^2 .

Calcularam-se o erro-padrão de estimativa (SEE) e o erro-padrão de estimativa ajustado (SEEA), conforme proposto por Jensen et al. (1990), modificado por Mantovani (1993).

O critério de definição hierárquico das estimativas ETo baseou-se nos valores de estimativa do SEE e SEEA, no maior valor do coeficiente de determinação (r^2) e da proximidade do parâmetro β_0 de zero e β_1 e r^2 de 1. Calculou-se a precisão segundo o valor do coeficiente de determinação, que indica o grau em que a regressão explica a soma do quadrado total e do índice de concordância (“d”) que expressa a aproximação dos valores de ETo estimados pelas combinações aos estimados pelo padrão, conforme proposto por Willmott et al. (1985), com valores variando de 0 (sem concordância) e 1 (concordância perfeita).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 1 são apresentados valores de temperaturas máximas, mínimas e médias extraídas do banco de dados climatológicos do software IRRIPLUS[®], na região de Bebedouro, dispostos sem e com as alterações/combinções já apresentadas anteriormente.

Nos meses mais quentes (verão), as temperaturas máximas muito elevadas, somadas ao déficit hídrico, afetam negativamente a produção de citros nessa região. Avaliando as temperaturas mínimas, evidenciou-se que quedas bruscas nos meses de inverno são pertinentes para auxílio no processo de indução floral em citros. Ocorre retomada das temperaturas a partir do mês de setembro/outubro, período de pós-florescimento, coincidindo com período de exigência em água pela árvore, visando ao pegamento de frutos.

No Quadro 2, listam-se as médias mensais da ETo determinadas pelos métodos comparados, estando a variação dos valores de ETo na faixa de 2,92 a 7,48 mm mensais para S7 e PM.

Analisando as combinações do método de Hargreaves-Samani (1985), observou-se a tendência a superestimativas em relação ao padrão. A S8 apresentou menor valor diferença relativa (1,81 mm) e a S7 maior valor (22,82 mm), em comparação com o método de Penmam-Monteith – FAO.

Conclui-se que o acréscimo de cinco por cento na temperatura máxima refletiu nas maiores discrepâncias, em comparação com o método-padrão, fato verificado no S1, S5 e S7, com superestimativas de 20,86; 18,67; e 22,82%, respectivamente.

Quadro 1 – Valores mensais de temperaturas máximas, mínimas e médias anuais, considerando-se as diversas combinações realizadas para o estudo, na cidade de Bebedouro, SP, em °C

Meses		Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
S0	Máx.	32,06	31,77	32,01	32,36	30,06	30,10	27,76	30,97	30,30	36,14	32,58	31,79	
	→T _{máx}	Mín.	18,50	18,69	18,03	14,91	13,12	12,61	10,59	14,51	16,43	19,25	18,57	19,59
	→T _{mín}	Méd.	25,28	25,23	25,02	23,64	21,59	21,35	19,18	22,74	23,37	27,70	25,57	25,69
S1	Máx.	33,66	33,35	33,61	33,98	31,57	31,61	29,15	32,52	31,82	37,94	34,21	33,38	
	↑T _{máx}	Mín.	18,50	18,69	18,03	14,91	13,12	12,61	10,59	14,51	16,43	19,25	18,57	19,59
	→T _{mín}	Méd.	26,08	26,02	25,82	24,45	22,34	22,11	19,87	23,52	24,12	28,60	26,39	26,49
S2	Máx.	30,46	30,18	30,41	30,75	28,56	28,60	26,37	29,42	28,79	34,33	30,95	30,20	
	↓T _{máx}	Mín.	18,50	18,69	18,03	14,91	13,12	12,61	10,59	14,51	16,43	19,25	18,57	19,59
	→T _{mín}	Méd.	24,48	24,43	24,22	22,83	20,84	20,60	18,48	21,97	22,61	26,79	24,76	24,90
S3	Máx.	32,06	31,77	32,01	32,36	30,06	30,10	27,76	30,97	30,30	36,14	32,58	31,79	
	→T _{máx}	Mín.	19,43	19,62	18,93	15,66	13,77	13,24	11,12	15,24	17,25	20,22	19,50	20,57
	↑T _{mín}	Méd.	25,74	25,69	25,47	24,01	21,92	21,67	19,44	23,10	23,78	28,18	26,04	26,18
S4	Máx.	32,06	31,77	32,01	32,36	30,06	30,10	27,76	30,97	30,30	36,14	32,58	31,79	
	→T _{máx}	Mín.	17,58	17,76	17,13	14,17	12,46	11,98	10,06	13,79	15,61	18,29	17,64	18,61
	↓T _{mín}	Méd.	24,82	24,76	24,57	23,27	21,26	21,04	18,91	22,38	22,95	27,21	25,11	25,20
S5	Máx.	33,66	33,35	33,61	33,98	31,57	31,61	29,15	32,52	31,82	37,94	34,21	33,38	
	↑T _{máx}	Mín.	19,43	19,62	18,93	15,66	13,77	13,24	11,12	15,24	17,25	20,22	19,50	20,57
	↑T _{mín}	Méd.	26,54	26,49	26,27	24,82	22,67	22,42	20,14	23,88	24,53	29,08	26,85	26,97
S6	Máx.	30,46	30,18	30,41	30,75	28,56	28,60	26,37	29,42	28,79	34,33	30,95	30,20	
	↓T _{máx}	Mín.	17,58	17,76	17,13	14,17	12,46	11,98	10,06	13,79	15,61	18,29	17,64	18,61
	↓T _{mín}	Méd.	24,02	23,97	23,77	22,46	20,51	20,29	18,22	21,60	22,20	26,31	24,29	24,41
S7	Máx.	33,66	33,35	33,61	33,98	31,57	31,61	29,15	32,52	31,82	37,94	34,21	33,38	
	↑T _{máx}	Mín.	17,58	17,76	17,13	14,17	12,46	11,98	10,06	13,79	15,61	18,29	17,64	18,61
	↓T _{mín}	Méd.	25,62	25,55	25,37	24,07	22,01	21,79	19,61	23,15	23,71	28,12	25,92	26,00
S8	Máx.	30,46	30,18	30,41	30,75	28,56	28,60	26,37	29,42	28,79	34,33	30,95	30,20	
	↓T _{máx}	Mín.	19,43	19,62	18,93	15,66	13,77	13,24	11,12	15,24	17,25	20,22	19,50	20,57
	↑T _{mín}	Méd.	24,94	24,90	24,67	23,20	21,17	20,92	18,75	22,33	23,02	27,27	25,22	25,39

Quadro 2 – Valores das médias mensais da ETo determinadas pelos métodos* comparados, em mm, para Bebedouro, SP

Meses	PM	S0	S1*	S2**	S3**	S4**	S5**	S6**	S7**	S8**
	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média
Janeiro	4,99	6,30	6,80	5,8	6,14	6,45	6,65	5,96	6,93	5,62
Fevereiro	4,87	5,90	6,37	5,42	5,74	6,04	6,22	5,58	6,5	5,24
Março	4,70	5,42	5,83	5,00	5,29	5,53	5,71	5,13	5,94	4,86
Abril	4,23	4,83	5,15	4,51	4,77	4,89	5,09	4,58	5,21	4,44
Maiο	3,32	3,64	3,87	3,4	3,59	3,68	3,83	3,45	3,91	3,36
Junho	2,92	3,24	3,44	3,03	3,20	3,27	3,41	3,07	3,47	2,99
Julho	3,12	3,22	3,42	3,03	3,19	3,25	3,39	3,06	3,44	2,99
Agosto	4,39	4,22	4,51	3,91	4,14	4,28	4,44	3,99	4,56	4,00
Setembro	5,58	4,88	5,25	4,52	4,78	4,98	5,15	4,62	5,34	4,39
Outubro	5,29	6,86	7,37	6,35	6,73	6,98	7,24	6,48	7,48	6,20
Novembro	5,66	6,37	6,86	5,87	6,21	6,51	6,72	6,02	6,99	5,70
Dezembro	5,09	6,09	6,59	5,56	5,90	6,26	6,42	5,76	6,75	5,35
Média - PM	4,51	5,08	5,46	4,70	4,97	5,18	5,36	4,81	5,54	4,60
Dif. relativa	%	12,57	20,86	4,14	10,19	14,7	18,67	6,54	22,82	1,81
Dif. lâmina	-	0,57	0,94	0,19	0,46	0,66	0,84	0,30	1,03	0,08
Desvio-padrão	0,94	1,28	1,40	1,15	1,23	1,32	1,35	1,20	1,44	1,09
Coef. variação	20,89	25,10	25,60	24,52	24,65	25,53	25,19	24,98	25,97	23,66

PM: Penman-Monteith – FAO; * Haregreaves- Samani (1985) sem alterações; e ** com alterações.

Quando o acréscimo era sobre a temperatura mínima, verificou-se que a superestimativa em relação ao padrão era menor (S3), reduzindo a proporção quando $T_{m\acute{a}x}$ se reduzia conjuntamente (S6).

Quando se compara S6 com S8, observa-se o peso da influência de $T_{m\acute{a}x}$ em $T_{m\acute{i}n}$, provavelmente por efeito da temperatura média.

Houve baixa variação de lâminas, considerando-se que, comumente, em irrigações de campo erros de aplicação de água de 1 mm são praticamente desprezíveis.

Na Figura 1, representa-se graficamente o comportamento das análises diante do desvio-padrão das estimativas e o respectivo coeficiente de variação. O menor valor do desvio-padrão ocorre em Penman-Monteith, com 0,94, e o máximo em S7, onde novamente se nota o peso do componente $T_{m\acute{a}x}$ na superestimativa dos valores de ETo.

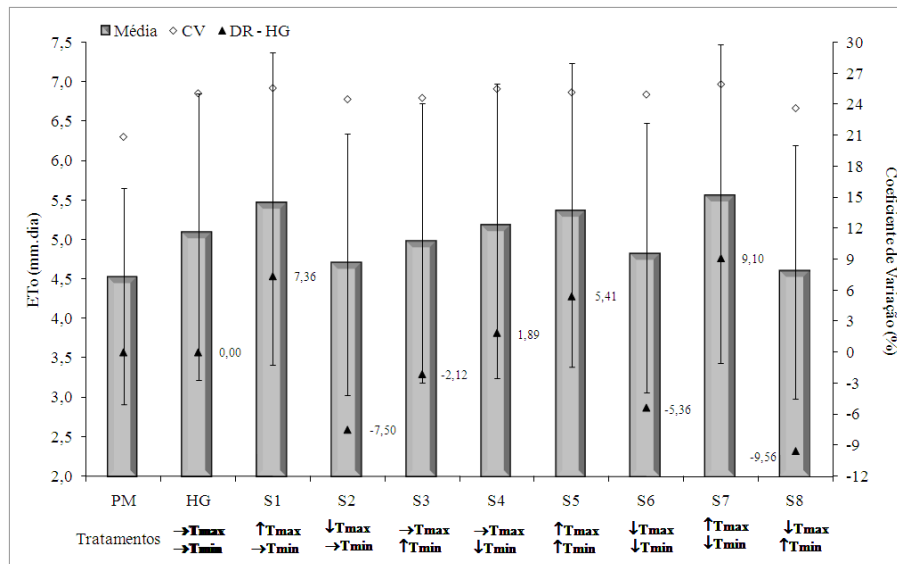


Figura 1 – Representação gráfica do comportamento dos valores de ETo pelas comparações entre os métodos estudados. Bebedouro, SP.

O coeficiente de variação apresentou-se alto em todas as estimativas, sendo o menor valor encontrado em PM e o maior em S7, refletindo a condição apresentada para o desvio-padrão de médias.

O Quadro 3 traz o resumo das análises de regressão realizadas, para fins de avaliação qualitativa das estimativas de ETo das simulações perante o padrão.

Observou-se correlação praticamente igual dos valores estimados pelas combinações. Conforme esperado, Hargreaves-Samani (1985) superestimou em 12,60% o padrão (PM), sem qualquer alteração (S1), situação essa extensiva ao restante das simulações. Também, observaram-se maior valor de correlação em S7 e boa aproximação de β_0 a 0 e β_1 a 1, embora “d” não tenha sido o maior.

O SEE dá pesos iguais às variações absolutas entre os valores estimados pela variável independente e os pela variável dependente, indicando como cada método estimou os valores de ETo, em determinado período, em cada simulação realizada (JENSEN et al., 1990). No Quadro 3, a variação de SEE foi de 1,27 a 1,88 mm d⁻¹, para S8 e S7, com os valores intermediários bem próximos entre si. Nos valores de SEEd, percebe-se melhora após as correções, exceto em S2 e S8, em que a correção não surtiu eficiência na diminuição do erro. A maior correção proporcionada pelo ajuste foi de 0,56 mm d⁻¹ em S7 e a menor, 0,03 mm d⁻¹ em S6.

Quadro 3 – Evapotranspiração média mensal das simulações realizadas, mm d^{-1} ; (2) porcentagem em relação ao método-padrão (PM); (3) erro-padrão de estimativa em relação ao método-padrão, mm d^{-1} ; (4) e (5) coeficientes da equação de regressão ajustada; (6) coeficiente de determinação da regressão; (7) erro-padrão de estimação em relação à regressão, mm d^{-1} ; e (8) índice de concordância, adimensional

Método	ETo	%	SEE	a	b	r^2	SEEd	d
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
Simulações								
PM – FAO	4,51	100,00	-	-	-	-	-	-
S0	5,01	112,60	1,54	0,32	1,054	0,51	1,36	0,76
S1	5,45	120,80	1,81	0,231	1,157	0,53	1,33	0,69
S2	4,70	104,10	1,33	0,417	0,948	0,49	1,65	0,80
S3	4,97	110,20	1,48	0,415	1,009	0,49	1,42	0,77
S4	5,18	114,70	1,60	0,236	1,095	0,53	1,33	0,75
S5	5,35	118,70	1,73	0,320	1,115	0,51	1,36	0,71
S6	4,81	106,50	1,38	0,320	0,994	0,51	1,35	0,80
S7	5,54	122,80	1,88	0,156	1,193	0,54	1,32	0,68
S8	4,60	101,90	1,27	0,498	0,908	0,48	1,40	0,81

Buscando esmiuçar possíveis diferenças no comportamento das estimativas de ETo pelas simulações, separaram-se as análises dos meses quente e frios do ano. No Quadro 4 são apresentados os valores de ETo estimados pelos métodos em comparação, nos meses quentes (outubro a março). Os maiores e menores valores de ETo observados foram de 7,48 e 4,70 mm mensais em S7 e PM, respectivamente.

Conforme o esperado nos meses mais quentes do ano, a ETo média foi superior à estimada com a média total anual, com menor variação em PM ($0,59 \text{ mm mês}^{-1}$) e maior em S7 ($1,22 \text{ mm mês}^{-1}$), evidenciando-se neste último caso forte influência da $T_{\text{máx}}$ na estimativa de ETo. Nestes, houve menor valor de desvio dos valores de ETo quando comparados com a simulação baseada na média total anual e, por consequência, menores valores de coeficiente de variação. Isso é esperado, já que nesses meses as temperaturas médias são bem parecidas.

Em todos os meses quentes do ano, S7 apresentou valores superiores aos de PM, com diferenças variando de 1,24 mm no mês de março e maior, 2,19 mm, no mês de outubro. A variação da porcentagem de superestimativa de S7 em relação a PM alcança extremos de 20% em novembro a 30% em outubro.

Quadro 4 – Valores médios de ETo dos meses quentes do ano, determinados pelos métodos Penman-Monteith – FAO 56 e Hargreaves-Samani (1985) sem e com alterações, em mm mês⁻¹. Bebedouro, SP

Meses	PM	S0	S1*	S2**	S3**	S4**	S5**	S6**	S7**	S8**
	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média
Outubro	5,29	6,86	7,37	6,35	6,73	6,98	7,24	6,48	7,48	6,20
Novembro	5,66	6,37	6,86	5,87	6,21	6,51	6,72	6,02	6,99	5,70
Dezembro	5,09	6,09	6,59	5,56	5,90	6,26	6,42	5,76	6,75	5,35
Janeiro	4,99	6,30	6,80	5,80	6,14	6,45	6,65	5,96	6,93	5,62
Fevereiro	4,87	5,90	6,37	5,42	5,74	6,04	6,22	5,58	6,50	5,24
Março	4,70	5,42	5,83	5,00	5,29	5,53	5,71	5,13	5,94	4,86
Média – PM	5,10	6,16	6,64	5,67	6,00	6,30	6,49	5,82	6,77	5,50
Dif. relativa	-	20,72	30,13	11,11	17,68	23,43	27,32	14,15	32,65	7,75
Dif. lâmina	-	1,06	1,54	0,57	0,90	1,20	1,39	0,72	1,67	0,40
Desvio-padrão	0,34	0,48	0,52	0,46	0,49	0,49	0,52	0,45	0,52	0,46
Coef. variação	6,65	7,87	7,80	8,06	8,09	7,75	7,93	7,81	7,65	8,32

PM: Penman-Monteith – FAO; * Haregreaves – Samani (1985) sem alterações; e ** com alterações.

Quando se compararam as simulações entre si, permaneceu a superioridade de S7 e destacou-se S8 como a de menor variação, já evidenciado pelo coeficiente de variação desta, com variações de valores de ETo bem próximos entre os meses quentes, com picos de subestimativas da ordem de 17,11% a 20,74% no mês de dezembro.

Na Figura 2, verifica-se a semelhança com a Figura 1 no comportamento dos valores de ETo nos meses mais quentes do ano, salvo as superestimativas ocorridas em cada simulação. Nessa figura, o comportamento dos desvios fica evidenciado na barra de erro de cada simulação, bem como a sinuosidade apresentada pelo coeficiente de variação.

No Quadro 5 estão listados os valores de ETo estimados pelos métodos em comparação, nos meses frios do ano (abril a setembro). O maior e o menor valor de ETo foram de 5,58 e 2,92 mm/mês, estimados por PM.

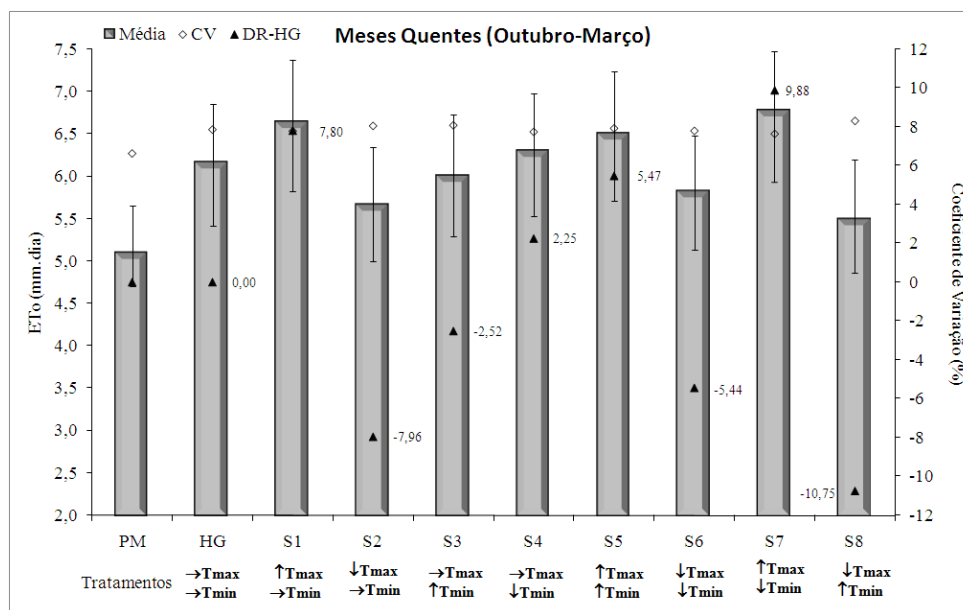


Figura 2 – Representação gráfica do comportamento dos valores de ETo estimados pelos métodos comparados, nos meses mais quentes do ano. Bebedouro, SP.

Quadro 5 – Valores médios de ETo nos meses mais frios do ano, determinados pelos métodos* comparados, em mm. Bebedouro, SP

Meses	PM	S0	S1*	S2**	S3**	S4**	S5**	S6**	S7**	S8**
	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média
Abril	4,23	4,83	5,15	4,51	4,77	4,89	5,09	4,58	5,21	4,44
Maio	3,32	3,64	3,87	3,40	3,59	3,68	3,83	3,45	3,91	3,36
Junho	2,92	3,24	3,44	3,03	3,20	3,27	3,41	3,07	3,47	2,99
Julho	3,12	3,22	3,42	3,03	3,19	3,25	3,39	3,06	3,44	2,99
Agosto	4,39	4,22	4,51	3,91	4,14	4,28	4,44	3,99	4,56	4,00
Setembro	5,58	4,88	5,25	4,52	4,78	4,98	5,15	4,62	5,34	4,39
Média – PM	3,93	4,01	4,27	3,73	3,95	4,06	4,22	3,80	4,32	3,70
Dif. relativa	%	1,99	8,83	-4,92	0,47	3,35	7,43	-3,35	10,06	-5,90
Dif. lâmina	-	0,08	0,35	-0,19	0,02	0,13	0,29	-0,13	0,39	-0,23
Desvio-padrão	-	0,08	0,35	-0,19	0,02	0,13	0,29	-0,13	0,39	-0,23
Coef. variação	3,93	4,01	4,27	3,73	3,95	4,06	4,22	3,8	4,32	3,70

PM: Penman-Monteith – FAO; * Haregreaves – Samani (1985) sem alterações; e ** com alterações.

Nos meses mais frios do ano, a ETo foi inferior à estimada com a média total anual total, com menor variação em PM (0,59 mm/mês) e maior em S7 (1,22 mm/mês), evidenciando-se neste último caso forte influência da $T_{\text{máx}}$ na estimativa de ETo.

Percebeu-se menor valor de desvio entre os valores quando comparada a simulação com médias totais anuais e, por consequência, menores valores de coeficiente de variação.

Semelhantemente ao ocorrido nos meses quentes, a superioridade do S7 nos meses frios, em relação a PM, é evidente, com diferenças de 0,45 mm no mês de julho e 21,33 mm em setembro. Essa variação resultou em porcentagens de 13,08 e 21,33% a menos no valor de ETo estimado.

Pode-se atribuir esse valor alto observado em setembro à característica de transição entre climas nesse período. Nos meses de maio a julho, foram observadas as menores variações de lâminas.

Quando se comparam os valores estimados somente por HG, tem-se que os máximos ainda são observados em S7 e os mínimos em S8, exceto no mês de agosto, quando T2 com valor 3,91 mm foi menor que S8, com 4,00 mm. As porcentagens de variação foram menores do que as encontradas na comparação com PM, variando de 13,08% em julho a 17,79% em setembro.

Na Figura 3, representa-se o comportamento da ETo nos meses mais frios do ano, e percebe-se que esse foi idêntico ao observado na Figura 1, salvo as superestimativas ocorridas em cada simulação. Nessa figura, o comportamento dos desvios fica evidenciado na barra de erro de cada simulação, bem como a sinuosidade apresentada pelo coeficiente de variação.

Quando se comparam os meses frios (Figura 3) com os quentes (Figura 2), observaram-se o mesmo comportamento dos valores de ETo entre as simulações e, conforme esperado, valores de ETo média máxima e mínima 25 e 38% menores, evidenciando o efeito da temperatura máxima na estimativa dos valores de ETo por Hargreaves-Samani (1985). Os desvios e o coeficiente de variação entre os valores de ETo também foram menores entre os períodos.

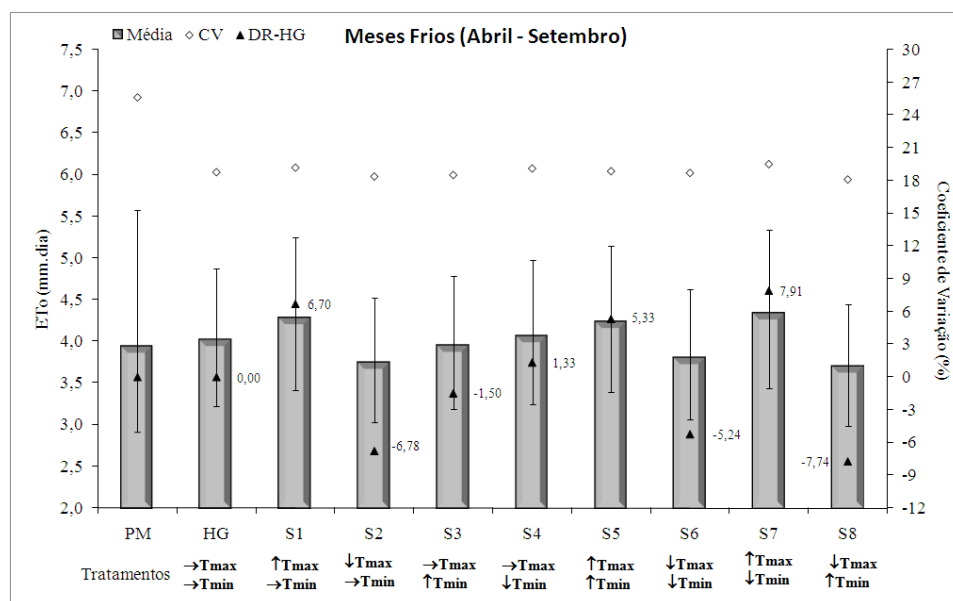


Figura 3 – Representação gráfica do comportamento dos valores de ETo estimados pelos métodos comparados, nos meses mais frios do ano. Bebedouro, SP.

4. CONCLUSÃO

O método de Hargreaves-Samani (1985) tendeu à superestimativa dos valores mensais de ETo em 12,5%, em comparação com o método-padrão de Penman-Monteith – FAO 56, assim como todas as possíveis combinações de alteração nas temperaturas máxima e mínima, na região de Bebedouro, SP.

A variação de 5% nas temperaturas máximas e mínimas não infere em erros grosseiros nas estimativas de ETo por Hargreaves-Samani (1985), com valores não ultrapassando a casa dos 6 mm mês⁻¹, média mensal, situação não observada em dados medidos na região de Bebedouro, SP.

O acréscimo de cinco por cento na temperatura máxima refletiu nas maiores discrepância nos valores estimados de ETo perante o método-padrão, com percentuais de estimativas da ordem de 18,7 a 22,8%. Já na temperatura mínima esse acréscimo reflete a superestimativa menor em relação ao padrão.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (MCT/CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro; e ao Departamento de Meteorologia Agrícola (DEA/UFV), pela oportunidade.

6. REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for computing crop water requeriments**. Rome: FAO, 1998. 308 p. (FAO – Irrigation and Drainage, 56).

BERTUZZI, P.; BRUCLER, L.; BAY, D.; CHANZY, A. Sampling satrategies for soil water content to estimate evapotranspiration. **Irrigation Science**, v. 14, p. 105-115, 1994.

BEVEN, K. A sensitivity analyses of the Penman-Monteith actual evapotranspiration e estimates. **Journal of Hydrology**, v. 44, p. 169-190, 1979.

BONOMO, R.; MANTOVANI, E.C.; SEDIYAMA, G.C. Estudo comparativo de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) para regiões cafeeiras do Triângulo e Noroeste de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas, MG, 1998. v. 1, p. 307-309.

FRANÇA NETO, A.C.F. **Análise de métodos simplificados de estimativa da eto e da sensibilidade das variáveis do cálculo da lâmina de irrigação para a cultura do café**. 2003. 82 f. Tese (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. **Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature**. Chicago: Amer. Soc. Agric. Eng. Meeteng, 1985. (Paper 85 -2517).

JENSEN, M.E.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. **Evapotranspiration and irrigation water requeriments**. New York: ASCE, 1990. 332 p.

LEY, T.W.; HILL, R.W.; JENSEN, D.T. Errors in Penman-Wright alfafa reference evapotranspiration estimates: I. Model sensitivity analyses. **Transaction of ASAE**, v. 37, n. 6, p. 1853-1861, 1994a.

LEY, T.W.; HILL, R.W.; JENSEN, D.T. Errors in Penman-Wright alfafa reference evapotranspiration estimates: II. Effects of weather sensor measurement variability. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v. 37, n. 6, p. 1863-1870, 1994b.

MANTOVANI, E.C. **Desarrollo y evaluación de modelos para el manejo del riego: estimación de la evapotranspiración y efectos de la uniformidad de aplicación del riego sobre la producción de los cultivos**. 1993. 184 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – ETSIA/Córdoba, Córdoba, Argentina, 1003.

McCUEN, R. The role of sensitivity analysis in hidrologic modeling. **Journal of Hydrology**, v. 18, p. 37-53, 1973.

MELLO, J.P. **Análise de sensibilidade dos componentes da equação de Penman-Monteith-FAO**. 1998. 79 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1998.

PEREIRA, A.R.; VILA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz**. São Paulo: FEALQ, 1997. 183 p.

RIBEIRO, R.V.; MACHADO, E.C.; BRUNINI, O. Ocorrência de condições ambientais para a indução do Florescimento de laranjeiras no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v. 28, n. 2, p. 247-253, ago. 2006.

ROLIM, Glauco de Souza et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, 2007.

SMITH, M. **Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements**. Rome, Italy: Land and Water Development Division of Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1991. 21 p.

SMITH, M.; ALLEN, R.; PEREIRA, L. Revised FAO methodology for crop water requirements. In: CAMP, C.R.; SADLER, E.J.; YODER, R.E. (Eds.). **Evapotranspiration and irrigation scheduling**. San Antonio: American Society of Agricultural Engineers, 1992. p. 116-123.

WILLMOTT, C.J.; CKLESON, S.G.; DAVIES, R.E. Statistics for evaluation and comparisons of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.

APÊNDICE

APÊNDICE

DIAGNÓSTICO EM PROPRIEDADES PRODUTORAS DE CITROS IRRIGADOS NO NORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

1. INTRODUÇÃO

A citricultura brasileira, nos últimos anos, ganhou expressividade no contexto mundial, ocupando, atualmente, o primeiro lugar em produção. A evolução tecnológica gerou incrementos na produtividade da ordem de 287 caixas de 40,8 kg ha⁻¹ no ano de 2006 em relação à década de 1960, com redução de área de 151.000 ha nesse mesmo período. O Estado de São Paulo é o maior produtor da Federação, respondendo por 80,5% do total produzido, com média 25 t ha⁻¹ ano⁻¹ (IBGE, 2007). No Estado, destacam-se como as maiores produtoras as cidades de Itápolis, Bebedouro e Olímpia, região Norte paulista (IBGE, 2008).

Atribui-se parte do sucesso no setor a excelente adaptabilidade da laranjeira a diversidades climáticas, geradas principalmente pelo melhor entendimento das relações entre a água, o solo, a planta e o ambiente. Esse tipo de interação permite a escolha de variedades mais adequadas, combinações copa x porta-enxertos adequados, tratos culturais específicos e utilização de tecnologia avançada, priorizando o aumento da produtividade.

Embora tenha sua maior exploração fundamentada no sequeiro, a irrigação vem-se apresentando como técnica necessária para utilização na ocorrência de déficits hídricos, comuns nessas regiões.

Com necessidades hídricas na faixa de 762 a 1.245 mm anuais (ORTOLANI et al., 1991), o requerimento hídrico variável, na maioria das vezes, não coincide com a ocorrência de volume precipitado satisfatório nessas regiões, acarretando o déficit hídrico, que por sua vez irão afetar negativamente a maioria dos processos fisiológicos da planta, principalmente em sua fase de formação, com danos mais expressivos no crescimento da planta do que dos frutos (LEVY et al., 1978) e na frutificação, reduzindo o tamanho dos frutos (DAVIES; ALBRIGO, 1994), culminando em perdas de enfolhamento da árvore e na produção final (ZANINI et al., 1998).

A necessidade da ocorrência de um déficit hídrico associado a baixas temperaturas se faz, no entanto, necessária para a indução do processo de florescimento (GUARDIOLA, 1992), não devendo estender-se para a fase de florescimento (DOORENBOS; KASSAM, 1979), já que neste é determinada a quantidade de flores produzidas.

A adoção de sistemas de irrigação que permitam o manejo de água é cada vez mais requerida pelos citricultores. Embora seja técnica considerada nova nos pomares paulistas, relatos de uso na década de 1960 inferem nas vantagens de ganhos com a adoção dessa técnica. Em 1976, o IAC sintetizou em seu Boletim Técnico nº 35 dados referentes à produtividade média (cinco safras) da laranjeira 'Natal', cultivada em Latossolo Roxo, em Ribeirão Preto, com e sem irrigação, concluindo que, além do aumento no número de frutos (56%), existe aumento no tamanho deles (70%) pelo uso da irrigação. Nos anos de 1980, observou-se o início de um crescimento expressivo do uso (FAVETTA, 1998), destacando-se como ferramenta eficiente no aumento da produção e rentabilidade das propriedades.

Os incrementos na produtividade são citados em inúmeros trabalhos sobre o tema que concordam quanto aos benefícios e expõem valores de aumento na produção que variam de 65% (VIEIRA, 1991) a 100%. No Estado de São Paulo são encontrados valores de 2,2 caixas pé⁻¹ em relação a 1,96 caixa pé⁻¹ em áreas com e sem uso de irrigação (IEA-APTA, 2008). Zanini e Pavani (1998), em experimento com três variedades de laranja, dois porta-enxertos e dois sistemas de aplicação de água – gotejamento e microaspersão – em avaliação de três safras consecutivas

(plantas de 4, 5 e 6 anos), obtiveram produtividades médias de 3,21 cx pé⁻¹ contra 2,27 cx pé⁻¹ em pomares com e sem irrigação.

Levantamento realizado pelo Instituto de Economia Agrícola de São Paulo indica que 12,1% da área do Estado é irrigada, destacando-se a crescente utilização desta como forma de sustentabilidade da produção (IEA-APTA, 2008).

Observa-se, dessa forma, que no desafio na produção de laranja é fundamental o uso da água, seja esta oriunda da irrigação ou da chuva, uma vez que a espécie apresenta baixa eficiência de uso de água, com 2 - 5 kg de frutos produzidos por metro cúbico de água aplicada (85% de umidade no fruto) (DOORENBOS; KASSAN, 1979). Dados como esses colocam a agricultura como principal consumidora de água (61,2%) diante dos setores urbano (20,8%) e industrial (18%).

Uma forma de amenizar tais montantes seria a adoção de sistemas de irrigação que evitassem perdas excessivas na condução, distribuição e aplicação, fugindo da tradicional relação 15:15:30 (CHRISTOFIDIS, 2002a).

Nesse contexto, destacam-se os sistemas de aplicação localizada, como o gotejamento e a microaspersão, com eficiências de aplicação de água de 95 a 98% (BERNARDO, 2008).

Nesses sistemas devem ser observadas as características de bulbo molhado formado pelas irrigações frequentes e pouco intensivas, característica dos sistemas localizados. Recomenda-se que esse bulbo molhado esteja na faixa de 33 - 67% (COELHO et al., 2000), ou seja, com valores próximos a 50% da área total disponível às plantas ou, no mínimo, à área de projeção da copa (ZANINI et al., 1998). Em resumo, para cada caso esse bulbo deve ter uma estrutura tal que seja suficiente para o armazenamento e fornecimento de água para a dotação hídrica da árvore.

Os dados de eficiência e formação do bulbo molhado são importantes no conceito de agricultura sustentável, uma vez que são utilizados para definir as lâminas diárias a serem repostas pelo sistema (lâmina bruta), visando atender às necessidades hídricas das culturas (lâmina líquida).

O cálculo da lâmina líquida é iniciado pela estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) pelos métodos propostos por Penman & Monteith – FAO 56 (ALLEN et al., 1998) ou pelos métodos simplificados (PEREIRA, 1997). Esse é posteriormente ajustado para as condições de cultivo não padrão pela introdução do coeficiente de cultura (k_c), que varia em razão da cultura e respectivos estádios de

desenvolvimento (JENSEN et al., 1968), podendo ser estimado ou tabelado (DOORENBOS; PRUITT, 1977; DOORENBOS; KASSAN, 1979). O produto desses dois parâmetros é chamado de evapotranspiração de cultura (ET_c).

Outros coeficientes também são incorporados às estimativas visando a uma melhoria no desempenho e exatidão dos resultados; logo, a introdução dos coeficientes de estresse de solo (k_s) (ALLEN et al., 1998) computa o comportamento da umidade atual do solo na estimativa da ET_c, ficando próximo da unidade para irrigações de alta frequência, como nos sistemas localizados e do coeficiente de localização (k_l) que ajusta a estimativa segundo a forma de molhamento, de 1/3 a 2/3 da área irrigada, reduzindo a ET_o (KELLER, 1978; KELLER; BLIESNER, 1990; KELLER; KARMELI, 1975; FERERES, 1981), baseando-se na porcentagem de área molhada ou sombreada pela cultura em relação à superfície total (PIZARRO, 1990).

Logo, ET_c, ou uso consuntivo de água, é o produto da ET_o pelos coeficientes apresentados. Essa também pode ser chamada de lâmina bruta de irrigação, que dividida pela eficiência do sistema de irrigação resulta na lâmina líquida, que representa a real quantidade de água a ser aplicada pelo sistema de irrigação (MANTOVANI et al., 2007).

Em condições de campo, os efeitos da eficiência do sistema de irrigação na maioria das vezes são negligenciados, partindo-se de valores tabelados (BERNARDO, 2008) e assumindo que estes sejam constantes ao longo de toda a vida útil do equipamento e nas mesmas condições de trabalho.

O novo conceito de “gerenciamento” da irrigação traz implícito todos esses conceitos associados para o bem comum da reposição eficiente de água para a planta, mantendo-a em condições favoráveis, hidricamente, para seu desenvolvimento.

A eficiência de irrigação se divide em dois módulos (KELLER; BLIESNER, 1990): Ea_1 : que trata da uniformidade de aplicação de água pelo sistema; Ea_2 : que representa as perdas por evaporação e arraste, de ocorrência durante a aplicação de água pelo sistema. As perdas ocorridas após a aplicação foram desconsideradas. Assim, pode-se observar que um sistema eficiente em sua totalidade é aquele em que as perdas durante a aplicação são pequenas e a uniformidade de aplicação, maior.

Em campo, essa eficiência é calculada com base em coleta de dados de vazão e pressão dos emissores, observações visuais, disposição do sistema de irrigação, velocidade do vento, umidade de solo, tempo de irrigação e uniformidade de aplicação do sistema (MERRIAM; KELLER, 1978).

A uniformidade de aplicação é um dos principais parâmetros para se avaliar um sistema de irrigação (BERNARDO, 2008), interferindo diretamente na produtividade das culturas (SOARES et al., 1993), e seu comportamento é extremamente influenciado pela ausência ou inadequada manutenção do equipamento. Isso gera um erro no volume de água aplicada, geralmente por excesso, aumento do custo de produção e maior pressão de doenças, entre outros efeitos. Logo, a qualidade da irrigação é reflexo de sua uniformidade de aplicação.

A qualidade da irrigação fundamenta-se em pilares básicos como a qualidade de equipamento, do projeto e da mão-de-obra. No primeiro caso, as indústrias do ramo de irrigação têm atuado de forma marcante, desenvolvendo e, ou, adaptando sistemas de irrigação cada vez mais modernos, de acordo com nossas condições; o segundo ponto é de mais fácil controle, uma vez que geralmente é feito por técnicos competentes e com o devido conhecimento na área; o maior problema está no terceiro ponto, onde, após a fase de projeto, compra e instalação, o operacional do dia a dia é quase sempre negligenciado e posto como não importante.

Com base nesses questionamentos, buscou-se, neste estudo, elucidar, de forma clara e direta, a real qualidade da irrigação dos pomares da região Norte do Estado de São Paulo, definindo índices de eficiência de uso da água e inferindo sobre as possibilidades de melhora dos procedimentos de aplicação, com vistas a uma exploração irrigada sustentável.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho de campo foi realizado no período de maio a agosto de 2007, na região Norte paulista, em fazendas produtoras de citros irrigados. A determinação das propriedades participantes foi feita, selecionando-se produtores cadastrados em cooperativas regionais, associações, empresas de consultoria e casa da agricultura e da Estação Experimental de Citricultura de Bebedouro (EECB).

Foram feitos contatos com mais de 100 produtores irrigantes na região, não sendo aceitos os convites pela maioria deles. A principal justificativa seria a de que eles ainda estavam-se iniciando no uso da irrigação em citros e que não teriam nada a acrescentar aos outros. Assim, um módulo final se resumiu à seleção de 20 propriedades, conhecidas e tradicionais na região, divididas, em função da área irrigada, em dois grupos: G1 – até 52 ha e G2 – superior a 53 ha.

Inicialmente, o interesse seria por propriedades que utilizavam somente a irrigação localizada, sendo esse critério alterado, considerando-se as que utilizavam aspersão por autopropelido, para alcançar o “score” de propriedades no estudo.

A avaliação foi dividida em três etapas, sendo realizada na primeira uma caracterização técnica relativa aos equipamentos de irrigação, constando de avaliações de uniformidade e eficiência de aplicação de água. Na segunda etapa foram tratados os aspectos socioeconômicos do manejo da irrigação, no que tange à tomada de decisão da irrigação e respectivos equipamentos de apoio. Nesta, avaliaram-se todo o conhecimento e, ou, as metodologias, equipamentos e

tecnologias utilizados na propriedade, para tomada de decisão diária da lâmina de água a ser aplicada, através de um questionário dividido em módulos.

Num terceiro momento foram colocados à disposição dos produtores os conhecimentos técnicos do visitante, a apresentação das várias possibilidades e, ou, equipamentos para auxílio na tomada de decisão no momento da irrigação, instituindo os novos conceitos de “gerenciamento da irrigação”, a importância da agricultura irrigada e os benefícios alcançados com melhor monitoramento e qualidade na irrigação. Logo, essa etapa teve atuação com características de “extensão rural” propriamente dita e foi priorizada, uma vez que a carência desse tipo de informação é grande, principalmente entre os produtores do G1, que não contavam com assessorias externas para irrigação.

Para avaliação da uniformidade de distribuição de água, utilizou-se a metodologia proposta por Keller e Karmeli (1975), modificada por Denículi et al. (1980), coletando-se o volume de água aplicado pelos emissores durante 3 min, em oito pontos (início, 1/7; 2/7; 3/7; 4/7; 5/7; 6/7; e final), aleatórios, ao longo da linha lateral e em quatro pontos (início, 1/3, 2/3 e final) ao longo da linha de derivação, conforme esquema ilustrativo da Figura 1.

Mediu-se a pressão de trabalho do sistema, com manômetro Bourdon (glicerinado) graduado em 0 a 6 bar, pontualmente nos finais das linhas laterais.

O coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) foi determinado segundo a metodologia proposta por Keller e Karmeli (1975).

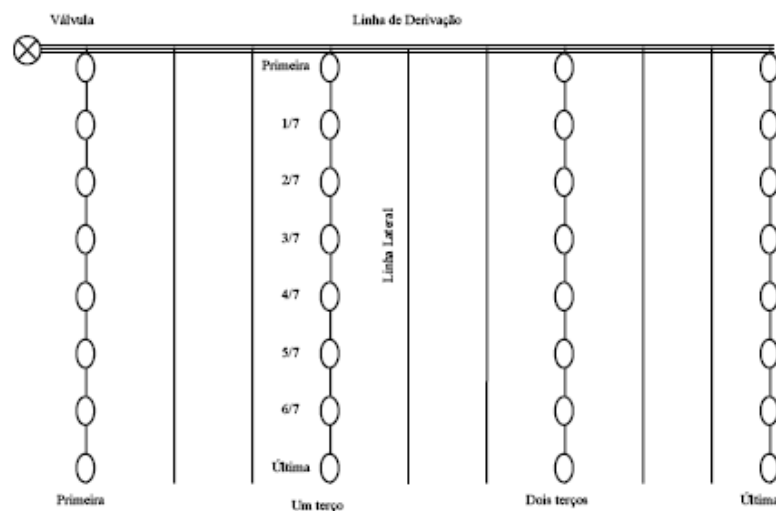


Figura 1 – Esquema de coleta do volume dos emissores para cálculo da sua vazão.

O questionário aplicado buscou caracterizar a dinâmica diária, o conhecimento do pessoal de campo e quais os níveis de comprometimento da propriedade irrigante com o meio ambiente e as questões sociais. Primeiramente, foi feito um cadastramento, em que dados específicos foram coletados para diferenciação das propriedades e melhor conhecimento das atividades básicas ali desenvolvidas e o destino principal dos produtos comercializados. Os módulos abordados seguidamente foram:

A – Conhecimentos básicos.

C – Conhecimentos específicos sobre o sistema de irrigação.

D – Gerenciamento da irrigação.

E – Ambiental com foco na irrigação.

F – Econômico – Serviços de terceiros.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As propriedades avaliadas apresentaram similaridades. As frutas são entregues preferencialmente para indústrias esmagadoras, com quantidade ínfima destinada à comercialização de frutos de mesa. As porcentagens dos sistemas avaliados foram de 45% nos sistemas de gotejamento linha simples e microaspersão, 15% no gotejamento linha dupla e 10% na aspersão por autopropelido.

Todos os sistemas eram relativamente novos, com idade média de 5 anos de uso, com variação no CUC de 88,5 a 96,4% nos sistemas localizados avaliados. Devido à época de realização do estudo, em algumas propriedades, principalmente as pertencentes ao G2, não foi possível a avaliação do sistema em campo, uma vez que os bombeamentos estavam desligados; colocá-los em funcionamento resultaria no pagamento de demanda de energia contratada à concessionária de energia elétrica do Estado. Os sistemas do G1 não apresentavam características de autocompensação nos emissores, situação observada em alguns sistemas do G2. No entanto, foi possível explorar mais os anseios dos produtores e, ou, técnicos de campo, auxiliando-os nas dúvidas diárias e analisando melhor os cenários em estudo.

As propriedades menores apresentaram sistemas mais simples (Figura 1A), quando comparados com os sistemas do G2 (Figura 1B), com as semelhanças de bons cuidados e manutenções periódicas.

Para efeito de discussão, nas perguntas realizadas foram abordadas as comparações entre os dois grupos avaliados.

A



B



Figura 1 – Detalhe de cavaletes utilizados nos sistemas

O Quadro 1 resume os percentuais das respostas realizadas dentro do módulo

A - conhecimento básico. Abrangendo os seguintes questionamentos:

1. *Você sabe o que significa “Eficiência de aplicação de água”?*
2. *Você sabe como determinar a eficiência e a uniformidade dos sistemas de irrigação?*
3. *Você sabe como calcular a intensidade de aplicação do sistema de irrigação?*
4. *Você sabe calcular o tempo de funcionamento do seu sistema para aplicar determinada lâmina?*
5. *Você sabe como medir a pressão de serviço do sistema de irrigação?*
6. *Você sabe medir a vazão aplicada por um emissor?*
7. *Você sabe calcular o volume de água por planta a partir da lâmina aplicada pelo emissor?*
8. *Você sabe medir a área molhada pelo emissor?*
9. *Você sabe o que significa o termo: “Manejo de irrigação”?*
10. *Você conhece equipamentos que realizam manejo em qual via?: () SOLO () PLANTA () CLIMA*

A primeira pergunta questiona o conhecimento do conceito sobre eficiência de aplicação de água, observando-se que nos dois grupos 70% dos entrevistados souberam explicar o que significava o termo, fato confirmado pelo percentual bem próximo na questão 2, que tratava da determinação da eficiência e uniformidade em campo.

Quadro 1 – Resumo dos questionamentos realizados no módulo A – Conhecimentos básicos sobre irrigação, para produtores do Norte do Estado de São Paulo

Grupos/Quest.		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Sim	70	40	40	60	90	100	70	90	80
	Não	30	60	60	40	10	0	30	10	20
2	Sim	70	50	60	70	100	90	60	90	40
	Não	30	50	40	30	0	10	40	10	60

Na questão 3, que trata do cálculo da intensidade de aplicação do sistema, os percentuais também se equivaleram, e os entrevistados demonstraram domínio sobre o assunto e o cálculo utilizado para determinação, relacionando a vazão do emissor com a área de solo explorada, o mesmo sendo observado na questão 4, em que houve alguns que, mesmo não definindo tecnicamente, souberam responder.

Quase há unanimidade na porcentagem das questões 5 e 6, o que reflete a preocupação dos entrevistados com funcionamento perfeito do sistema em campo, sendo aqueles que responderam negativamente o foi somente por ocorrência de não saberem as unidades do manômetro utilizado.

A questão 7 já causou alguns embaraços, evidenciando-se em ambos os grupos as dificuldades de realizar os cálculos de aplicação de água, ao contrário do colocado nas questões anteriores.

A questão 8 demonstra a preocupação do conhecimento do sistema, observado nas questões 5 e 7.

A questão 9 deixa claro que os termos utilizados tecnicamente podem estar sendo interpretados de forma errada, e possíveis insucessos de incursões de empresas do ramo de manejo de irrigação podem estar relacionados a essa incompatibilidade de termos e definições, uma vez que, depois de explicado aos entrevistados o que isso significava, eles diziam saber da importância e necessidade, mas não com essa denominação.

Na totalidade dos equipamentos utilizados para manejo de irrigação de citros, os mais conhecidos são os de solo, principalmente o tensiômetro, com percentual de 90% em ambos os grupos, embora seu uso se restrinja a alguns produtores, conforme comentado no decorrer das discussões.

No Quadro 2 são apresentados os percentuais referentes ao módulo B, que trata do conhecimento sobre as variantes do sistema de irrigação instalado, contemplando os seguintes questionamentos:

1. Qual a fonte de energia do bombeamento? () Elétrica () Diesel
2. Utiliza a fertirrigação?
3. Aplica algum resíduo agroindustrial na lavoura via água de irrigação?
4. Qual a forma de injeção dos produtos? () Injetor () sucção da bomba () bomba injetora
5. Qual a periodicidade de manutenção preventiva no sistema de irrigação?
6. O sistema de irrigação é: () manual () automatizado () Semiautomatizado
7. A propriedade possui manômetro para checagem de pressão?

Quadro 2 – Resumo dos questionamentos realizados no módulo B – Conhecimentos sobre o sistema de irrigação, para produtores do Norte do Estado de São Paulo

Quest.	1		2		3		4			5		6			7	
	D	E	Sim	Não	Sim	Não	I	SB	BI	A	M	M	A	AS	Sim	Não
G1	0	100	50	50	20	80	10	20	40	90	10	40	40	20	60	40
G2	10	100	50	50	20	80	20	0	70	100	0	10	90	0	100	0

Observa-se que unidades de bombeamento elétrico são priorizadas, e isso pode ser atribuído ao elevado custo da utilização de combustíveis, bem com a legislação ambiental vigente no Estado, que atua com rigor na prevenção da poluição do ambiente.

Na questão 2, observa-se uma divisão em relação à utilização da fertirrigação, refletindo o que realmente é discutido entre produtores, que ficam no limiar dos benefícios entre a aplicação convencional e a via água de irrigação. A questão número 3 completa a 2 e obedece à mesma tendência.

A questão 4 demonstra a aceitação e tendência do sistema de injeção através de bombas injetoras de aço inox, permitindo, assim, maior controle da vazão aplicada e melhor uniformidade de distribuição do fertilizante. A injeção de produtos via sucção da bomba de irrigação foi observada somente nos produtores menores, em que a principal justificativa para isso seria a eliminação de uma unidade de bombeamento (injetora), o que acarretaria acréscimo nos gastos com energia elétrica.

Na questão 5, fica evidente que as manutenções realizadas nos sistemas são antes do funcionamento do sistema na safra, ressaltando-se que, no caso dos citros, este ficou parado durante aproximadamente 2 – 3 meses, por ocasião da necessidade de ocorrência do estresse hídrico, importante para o florescimento nessa região.

Como era de se esperar na questão 6, que trata da automatização do sistema, observa-se que no Grupo 2 quase 100% desses são automatizados, o que permite melhor controle das operações e otimização da mão-de-obra. Já nos produtores do Grupo 1 se observou tendência da migração dos sistemas manuais para os semi-automáticos, com um futuro bem próximo na total automatização. Esse comportamento vem-se modificando, principalmente, pelos custos mais acessíveis de controladores mais simples e voltados para operacionalizar o dia a dia do sistema em pequenas e médias propriedades citrícolas irrigantes.

E a última questão, 7, deste módulo trata da utilização do manômetro na propriedade e, da mesma forma que na questão 6, observa-se tendência à adoção da prática do uso de manômetros nas propriedades menores; proporcionalmente, os 40% que não utilizavam eram produtores muito pequenos que se enquadravam nesse grupo. A principal justificativa seria a de não saber manusear o equipamento, bem como a grande ocorrência de quebras observadas em campo.

O módulo C trata dos aspectos relativos ao novo conceito de “gerenciamento de irrigação”, abordando principalmente as arestas de uso, satisfação e qualificação de produtos e profissionais disponibilizados no mercado, abordando os seguintes questionamentos:

1. *Acredita nos benefícios do manejo da irrigação?*
2. *Utiliza algum método de manejo de irrigação?*
3. *Está satisfeito com o método utilizado?*
4. *Porque não utiliza um monitoramento? () Falta de conhecimento () Incertezas*
5. *Já obtive insucesso com algum sistema de monitoramento de água?*
6. *O sistema utilizado foi eficiente na economia de água e energia?*
7. *Houve diferença negativa entre os benefícios vendidos e os alcançados?*
8. *Como conheceu o sistema de monitoramento? () Empresa/Cooperativa () Pesquisa*
9. *Como qualifica os serviços prestados nessa área?: () Ruim () Regular () Bom () Muito bom () Não se aplica*
10. *Na região tem acesso a esse tipo de prestação de serviços?*
11. *O custo pago pelo serviço é um ponto negativo na relação custo x benefício?*
12. *Seria interessante disponibilidade na cooperativa desse tipo de prestação de serviço?*
13. *Qual deveria ser a periodicidade das consultorias?: () Semanal () Quinzenal () Mensal*

14. Seria bom abordar esse tema mais vezes em seminários e, ou, workshops sobre citricultura?
15. Há satisfação com os resultados de pesquisas divulgados na área?
16. Qual seria um modo mais rápido de divulgação de trabalhos?: () Áreas pilotos () Cent. Pesq./Ext.
17. A confecção de boletins para compartilhar resultados na área seria interessante?
18. Estudaria um material como esse?
19. Se obtivesse sucesso em sua propriedade com o monitoramento, disponibilizaria os dados para outros produtores?
20. Qual o grau de instrução dos funcionários que lidam com o sistema? () Técnico () Engenheiro () Sem formação

O Quadro 3 traz um resumo dos percentuais dos resultados dos questionamentos abordados dentro desse tema e linha de avaliação.

Quadro 3 – Resumo dos questionamentos realizados no módulo C – Aspectos sobre o gerenciamento da irrigação, para produtores do Norte do Estado de São Paulo

Quest.	1		2		3		4			5		6		7	
	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	D	I	AP	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não
G1	80	20	30	70	20	20	10	60	10	30	60	20	20	20	20
G2	100	0	50	50	40	10	0	50	0	40	60	40	0	30	30

Quest.	8		9					10		11		12		13		
	E/C	P	R	RE	B	MB	NA	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	S	Q	M
G1	90	10	20	30	50	0	0	80	20	10	90	100	0	30	10	60
G2	100	0	0	20	80	0	0	70	30	0	100	100	0	10	60	30

Quest.	14		15		16		17		18		19		20			
	Sim	Não	Sim	Não	AP	EPE	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	TA	TI	EA	SF
G1	100	0	40	60	90	10	100	0	100	10	100	0	0	0	0	100
G2	100	0	80	20	90	10	100	0	100	0	100	0	60	0	50	40

Observa-se, na questão 1, que a maioria dos entrevistados acreditava nos benefícios da adoção de um sistema de gerenciamento de irrigação em citros, sendo as propriedades do G2 com maior percentual de uso, fato atribuído a tendências com a preocupação na redução de custos, principalmente com energia elétrica, reforçada pelo contentamento com o uso do método (questão 3). O G1 demonstra nítida desconfiança (questão 4) em relação aos métodos e, ou, metodologias disponibilizadas para aplicação em manejo de irrigação, resultando num alto índice de percentual em função da incerteza de utilização de uma metodologia para tal.

Chama-se a atenção para os resultados da questão 5, que trata de insucessos relativos ao uso de sistemas de manejo de irrigação, o que provavelmente reflete diretamente na escolha, aquisição e uso dessas metodologias por parte de outros produtores. Esse comportamento negativo foi observado em mais da metade dos entrevistados nos dois grupos.

A questão 6 reflete os sucessos na economia de energia, principalmente no G2, uma vez que no G1 quase ninguém utilizou metodologia de manejo, conforme questão 2. A questão 7 vem complementar a 6, denunciando que nem sempre os benefícios “vendidos e, ou, atribuídos” ao uso de determinada metodologia refletem os benefícios esperados, levando, muitas vezes, ao descrédito desta.

A questão 8 reflete a importância da assistência da cooperativa local nessa subárea da irrigação, organizando-se melhor, trabalhando ao lado do produtor e, principalmente, viabilizando alternativas e formas para disponibilizar o uso de técnicas de baixo custo e simples para uso direto nas propriedades, respeitando-se à dimensão e anseio de cada uma. O papel de empresas do ramo também é fundamental na criação de linhas de assistência a produtores de qualquer porte, adequando-se às consultorias de acordo com a necessidade da situação.

A questão 9 trata justamente da visão dos entrevistados em relação aos serviços prestados na área, sendo classificados como “Bom” nos dois grupos, salientando-se que a ocorrência de “ruim” aconteceu no G1, o que chama a atenção para uma classe de produtores que precisam ser mais bem assessorados no manejo da irrigação. Essa situação é reforçada pela questão 10, em que os entrevistados salientaram ter disponíveis sistemas de manejo na região, ficando a pergunta: Por que não os utilizam, então?, provavelmente pela falta de acompanhamento eficiente, uma vez que pagar pela consultoria não é considerado pelos produtores ponto negativo (questão 11). A disponibilidade desse trabalho na cooperativa, através de parcerias e,

ou, convênios com empresas privadas, tem aceitação unânime dos entrevistados (questão 12), com programas de assessorias mensais para os produtores pequenos e médios e quinzenais para os maiores, tendência aí demonstrada segundo a proporcionalidade de área entre os grupos (questão 13).

A forma de abordagem desse tema em eventos voltados a produtores teve 100% de aceitação nos dois grupos. Vale ressaltar que seria interessante uma nova estratégia para tratar do assunto, com sensibilidade e estratificando o nível técnico dos participantes, uma vez que os resultados de uma mesma metodologia serão diferentes para cada condição empregada; essa estratificação fica clara na questão 15, em que os integrantes do G1 citaram as divulgações como negativas nos eventos ocorridos. A instalação de áreas-piloto, de demonstração e acompanhamento de metodologias aplicáveis à região foi questionada, mostrando-se a maioria dos integrantes dos grupos avaliados (questão 16), receptiva a esse ponto de divulgação de resultados e seus resultados, foram divulgados em boletins técnicos periódicos (questão 17), em que foi possível estudar o assunto e filtrar, por indivíduo, aquele que melhor se encaixasse em suas expectativas (questão 18), podendo ser posteriormente discutido com o consultor de seu sistema de gerenciamento.

Observa-se, na questão 19, que a montagem de um sistema eficiente de assessoria nessa área, associado à formação de áreas-piloto, confecção de materiais, geraria resultados que poderiam ser compartilhados entre os usuários dessa estrutura, criando uma rede de ajuda mútua e facilitando a compreensão do manejo diário nesse campo da produção agrícola.

Observa-se, pela questão 20, que atitudes como essa seriam proveitosas, gerando treinamentos e capacitação de mão-de-obra no campo, alterando o cenário atual, de extrema carência de profissionais especializados na linha de frente, e conduzindo os sistemas irrigados.

Atitudes como essas poderiam melhorar a qualidade de serviço e, por consequência, a remuneração desses técnicos que, por sua vez, auxiliariam eficazmente a geração de resultados no uso de tecnologias de manejo de irrigação.

No Quadro 4 estão apresentados os resultados dos questionamentos sobre os aspectos ambientais do sistema de irrigação, cujo enfoque é conhecer melhor a preocupação ambiental e as medidas preventivas tomadas contra agressões ao meio ambiente, para as perguntas que se seguem:

1. A propriedade possui outorga de água para irrigação?
2. Quem realizou o processo de outorga? () Consultor () Produtor
3. Qual sua principal fonte de água para irrigação? () Reservatório () Curso d'água () Poço
4. Possui análise de qualidade da água para irrigação?
5. Existe alguma limitação ao uso da água por ser má qualidade?
6. Possui algum sistema de tratamento de água?
7. Tem algum levantamento sobre a lixiviação de nutrientes?
8. Realiza algum trabalho de preservação das nascentes da fazenda?
9. A fazenda possui área de preservação permanente (reserva legal)?
10. A localização do bombeamento obedece à distância mínima recomendada em relação à fonte de água?
11. Os funcionários da propriedade têm consciência do impacto ambiental gerado por erros no manuseio de produtos químicos via água de irrigação?
12. Os funcionários utilizam equipamentos de proteção individual na preparação de produtos químicos para injeção no sistema de irrigação?
13. A fazenda possui alguma forma de instrução (escrita) de funcionários para a importância da preservação ambiental?
14. A mão-de-obra para serviços diários da fazenda é oriunda da região?
15. Coleta dados meteorológicos? Quais? () Precipitação () Radiação Solar () Umidade relativa () Velocidade do vento () Temperatura () ETo () Tanque CA

Quadro 4 – Resumo dos questionamentos realizados no módulo D – Aspectos ambientais do sistema de irrigação, para produtores do Norte do Estado de São Paulo

Quest.	1		2		3			4		5		6		7		8	
	Sim	Não	C	P	R	CD	PÇ	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não
G1	60	40	60	0	0	30	70	50	50	50	50	0	100	0	100	70	30
G2	100	0	100	0	40	20	60	70	30	40	60	20	80	10	90	90	10

Quest.	9		10		11		12		13		14		15				
	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	P	T	UR	TCA	ETo
G1	60	40	80	20	80	20	40	60	20	80	90	10	100	10	0	0	0
G2	90	10	100	0	90	10	90	10	50	50	100	0	100	60	40	10	10

Observa-se, na análise do quadro que as proporções de propriedades com outorga para uso da água são menores no G1 (questão 1). Esse fato pode ser atribuído, em parte, a baixos volumes de captação de água para irrigação, baixa disponibilidade hídrica dos mananciais, a ser ofertada pelo órgão regulador e, em alguns casos, falta de comprometimento dos usuários em obter essa autorização. No entanto, 100% dos integrantes do G1 possuem autorização, provavelmente por se tratar de maiores volumes captados de água para irrigação. Os processos de obtenção de outorga de água na região tem sido feito com o auxílio de consultores (questão 2), fato que revela forte tendência na prestação desse tipo de serviço por profissionais liberais. Os órgãos são bem rígidos nas propostas e exigências para esse tipo de procedimento, e o uso da mão-de-obra de profissionais externos para essa obtenção é uma forma de agilizar e atender às exigências ambientais.

Observa-se, pelas características hidrológicas do local, um uso mais acentuado de águas subterrâneas (questão 3) pelos integrantes de ambos os grupos. Esse tipo de captação é bem mais exigente na obtenção da licença, requerendo, além dos trâmites normais, a construção de estruturas de captação segundo normas específicas para tal.

Na questão 4, fica clara a preocupação dos produtores do G2 com a qualidade da água para irrigação, principalmente quando do uso da irrigação localizada. Já no G1 esse percentual se divide proporcionalmente.

As questões 5 e 6 se completam e mostram que a qualidade da água da região é boa, principalmente por se tratar, em sua grande maioria, de águas subterrâneas, em geral de melhor qualidade. As estações de tratamento de água são maiores no G2, provavelmente pela maior incidência de análise de água realizada pelos integrantes desse grupo.

Os estudos sobre lixiviação de nutrientes é praticamente nulo (questão 7) em ambos os grupos, justificado pela utilização de sistemas de irrigação localizado, que apresentam alta frequência e baixa intensidade, não acarretando, pelos baixos volumes instantâneos, carreamento de nutrientes ao longo do perfil do solo. Essa pode ser uma técnica difundida por cooperativas e, ou, empresas do ramo, visando a uma melhor eficiência e manejo do uso de fertilizantes via água de irrigação, reduzindo custos e otimizando aplicações.

Nas questões de 8 a 10, fica evidenciada a preocupação ambiental por parte de todos os entrevistados, embasada na legislação atual que dita a preservação de nascentes (questão 8) e áreas de preservação ambiental (questão 9), que devem ser respeitadas e tratadas com a mínima interferência humana. Um exemplo de intervenção muito comum nos sistemas irrigados é a colocação do conjunto motobomba em áreas de preservação, o que caracteriza um risco para o meio ambiente, principalmente quando este é abastecido por combustível (diesel). No entanto, a colocação deste fora da área de preservação acarreta custo adicional e, muitas vezes, duplo bombeamento. Mesmo assim, observa-se que a maioria dos integrantes já estava adequada a tais exigências, fato explicado pela conscientização e massiva fiscalização do órgão ambiental (questão 10).

Observa-se, pelos resultados das questões de 11 a 13, que a preocupação ambiental abrange todos os envolvidos no processo, sendo mais fraca no G1, devido à média das três questões, provavelmente pela menor área de atuação. Já no G2 se observou total preocupação ambiental, inclusive no treinamento e manuseio de produtos agroquímicos (possíveis agentes poluidores).

Essa preocupação é importante, uma vez que possibilita aos funcionários se capacitarem e entenderem os reais problemas acarretados pelo mau uso e conservação de recursos naturais. Como a maioria deles era oriunda da região (questão 14), então eles podem disseminar esse aprendizado, tornando a convivência entre o ser humano e o ambiente mais harmoniosa, nessa região.

O conhecimento das condições climáticas regionais também foi questionado, sendo levantadas as informações sobre a coleta de dados meteorológicos. Desses dados, não se observou coleta em nenhuma das propriedades avaliadas das variáveis radiação solar e velocidade do vento. De umidade relativa, somente 40% dos integrantes do G2 disseram realizar leituras diárias e uma pequena parcela (10%) de evapotranspiração de referência e tanque classe A. As variáveis climáticas mais lidas são a temperatura e a precipitação, salientando-se que na maioria dos casos estas estavam sendo feitas em locais fora das especificações da Organização Mundial de Meteorologia (OMM). Esses dados são utilizados para definições de pulverização e irrigação.

O módulo de aspectos voltados à prestação de serviços de terceiros visa elucidar a forma com que o produtor tem visto esse tipo de oferta e suas opiniões sobre eles com os seguintes questionamentos:

1. *É fiel a uma só empresa na compra do sistema de irrigação?*
2. *Qual o critério é utilizado para definição da compra do sistema de irrigação?*
 Preço/qualidade Localização da empresa "Nome" no mercado
3. *Para execução, acompanhamento de obras e execução de tarefas do projeto o Sr. contrata:*
 Consultores Empresa vendedora
4. *Ficou satisfeito com os produtos adquiridos da empresa que vendeu o sistema?*
5. *Qualifique o produto:* Ruim Regular Bom Muito bom Não se aplica
6. *Qualifique a assistência pós-venda da empresa:* Ruim Regular Bom Muito bom
 Não se aplica
7. *A concessionária de energia atende às necessidade para funcionamento do sistema?*
8. *Tem contrato de pagamento diferenciado para irrigante?*
9. *É comum ultrapassar o valor da demanda contratada?*
10. *Possui assistência de um eletricista para manutenção das motobombas?*
11. *A propriedade possui consultoria externa para irrigação?*
12. *Os valores pagos pelas consultorias refletem os benefícios dos serviços prestados?*
13. *Existe alguma unidade de pesquisa e, ou, extensão rural dentro da propriedade?*

Quadro 5 – Resumo dos questionamentos realizados no módulo E – Aspectos econômicos da irrigação – Serviço de terceiros, para produtores do Norte do Estado de São Paulo

Quest.	1		2			3		4		5					6				
	Sim	Não	P/Q	L	M	C	EV	Sim	Não	R	RE	B	MB	NA	R	RE	B	MB	NA
G1	20	80	100	0	0	10	90	90	10	0	10	60	30	0	50	40	0	10	0
G2	30	70	100	0	0	10	90	80	10	0	30	20	50	0	50	10	10	20	10

Quest.	7		8		9		10		11		12		13	
	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não
G1	80	20	20	80	10	0	70	30	0	100	80	0	0	100
G2	100	0	90	10	10	80	90	10	80	20	60	40	0	100

No primeiro questionamento feito sobre a fidelidade a determinada empresa na hora da compra do sistema de irrigação, ficou caracterizado o dinamismo dos dois grupos (questão 1), tendo como principal critério de escolha o binômio preço x qualidade do produto (questão 2). Esse comportamento reflete o poder de negociação

que os produtores adquiriram com o passar do tempo e da livre concorrência entre as empresas do ramo de irrigação.

Observou-se, ainda, que a preferência da compra embute no preço, além dos equipamentos, a mão-de-obra para execução dos trabalhos (questão 3), fixando um pacote de compras que vai desde a aquisição do equipamento até a entrega técnica do sistema. Esse tipo de estrutura é muito difundido na região citrícola estudada.

Esse poder de escolha e a ampla gama de produtos ofertados pelas diversas empresas do ramo e sua preocupação em atender às necessidades do produtor se refletem, no nível de satisfação positivo (questão 4), em ambos os grupos, que classifica, em média, como “Bom a Muito bom” os produtos adquiridos das empresas do ramo (questão 5). No entanto, ficava caracterizada na questão 6 o descontentamento dos produtores para com os serviços prestados “após a venda”, com nível de classificação “Ruim” e “Regular” para a maioria deles. Isso elucida a necessidade de maior atenção das empresas no setor de “pós-venda”, assistindo melhor seus clientes e abrindo novos mercados, à busca da fidelização deles mesmos.

Outro prestador de serviços muito utilizado nas estruturas de irrigação é a concessionária de energia, responsável pelo fornecimento, em quantidade e qualidade, compatíveis com as necessidades e, ou, requerimento dos produtores. A questão 7 representa positivamente os serviços prestados pela concessionária de energia elétrica local. A questão 8 traz um panorama já esperado, em que o G2, com os produtores maiores em área irrigada, e, por consequência, em demanda e consumo de energia elétrica, a utilizava através de demandas contratadas à concessionária, não sendo comum ultrapassar esse valor contratado (questão 9). Tal consumo poderia ser ainda mais atenuado com o auxílio de uma ferramenta de gerenciamento de irrigação, proporcionando menor consumo de energia, refletido numa menor demanda energética e um contrato de valor mais baixo, ou seja, a energia seria utilizada de forma mais eficiente que hoje.

A questão 10 contribui para a visualização geral na preocupação com o consumo de energia, sendo sempre acionada a assistência de profissionais do ramo para a manutenção no (s) conjunto (s) motobomba (s), buscando mantê-lo (s) sempre em perfeito estado de funcionamento, proporcionando-lhe tranquilidade de uso, e evitar o consumo excessivo de energia elétrica.

A questão 11 destoa um pouco da anterior para o G1, sendo baixo o percentual de produtores que utilizavam assistência externa para irrigação. No G2

ocorre o contrário, sendo maior o percentual de produtores assistidos externamente. Embora essa assistência não contemple, na maioria dos casos, o manejo da irrigação propriamente dito. O investimento financeiro nesse tipo de assessoria é positivamente reconhecido pelos produtores até mesmo por aqueles que não utilizam-no (questão 12).

E, finalizando este módulo, a pergunta 12 tenta perceber qual o grau de comprometimento do produtor com a pesquisa e vice-versa, e, conforme esperado, em nenhuma das propriedades visitadas havia a existência de unidade de pesquisa, qualquer que fosse ela.

4. CONCLUSÃO

O pessoal de campo tem grande interesse em utilizar, de forma sustentável, a irrigação, visando não só aos benefícios por esta trazidos, mas ficando clara a consciência ambiental.

O grande entrave hoje dos sistemas de gerenciamento da irrigação está no acompanhamento dos produtores em campo, auxiliando, por meio de visitas, as melhores opções e formas de realização.

O estudo pode servir de subsídio para conscientizar os produtores da necessidade de utilização de uma técnica de manejo e uma melhor organização deles na busca dessas soluções.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (MCT/CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro; e ao Departamento de Meteorologia Agrícola (DEA/UFV), pela oportunidade.

7. REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 308 p. (FAO – Irrigation and Drainage, 56).
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008. 625 p.
- DAVIES, F.S.; ALBRIGO, L.G. **Cítricos**. Zaragoza, Espanha: Acribia, 1994. 284 p.
- DOORENBOS J.; PRUITT, W.O. **Necessidades hídricas das culturas**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1997. 204 p. (FAO – Irrigação e Drenagem, 24).
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 33).
- FERERES, E. **Papel de la fisiología vegetal en la microirrigación**. Recomendaciones para el manejo mejorado. In: PONENCIA EN SEMINARIO LATINOAMERICANO DE MICROIRRIGACIÓN, 4., 1981, BarquisimETo. **Annales...** BarquisimETo, Venezuela, 1981.
- GUARDIOLA, J.L. Frutificação e crescimento. In: DONADIO, L.C. (Coord.). SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS – Fisiologia, 2., 1992, Bebedouro, SP. **Anais...** Campinas, SP: Fundação Cargill, 1992. p. 1-26.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geográfica e Estatística, 2008. **Produção agrícola municipal**. Disponível em: <www.ibge.gov.br/sisdra>.

IEA – INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Área e produção dos principais produtos da agropecuária do Estado de São Paulo**. São Paulo: IEA, 2005. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/banco/menu.php>>. Acesso em: 23 nov. 2005.

JENSEN, M.E. Water consumption by agricultural plants. In: KOSLOWSKY, T.T. **Water deficits and plant growth**. New York: Academic Press, 1968. v. 2.

KELLER, J. **Trickle irrigation**. Colorado: En Soil Conservation Service National Engineering Handbook, 1978. 129 p.

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

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rain Bird Sprinkler, California, 1975. 133 p.

MERRIAM, J.L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.

ORTOLANI, A.A.; PEDRO JR., M.J.; ALFONSI, R.R. Agroclimatologia e o cultivo de citros. In: RODRIGUES, O.; VIÉGAS, F.; POMPEU JR., J.; AMARO, A.A. (Eds.). **Citricultura brasileira**. 2. ed. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1991. v. 1, p. 153-195.

PEREIRA, I.A.M. **Época da indução e evocação floral em *Citrus spp***: efeito do GA3 em seu florescimento. 1997. 82 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG, 1997.

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**: goteo, microaspersion e exudacion. Madrid: Mundi-Prensa, 1990. 471 p.

SOARES, A.A.; RAMOS, M.M.; LUCATO JÚNIOR, J. BarquisimETo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993. Ilhéus. **Anais...** Ilhéus, BA: SBEA, 1993. p. 2688-2702.

ZANINI, J.R.; PAVANI, L.C.; SILVA, J.A.A. **Irrigação em citros**. Jaboticabal, SP: Funep, 1998. 35 p. (Boletim Citrícola, n.7).

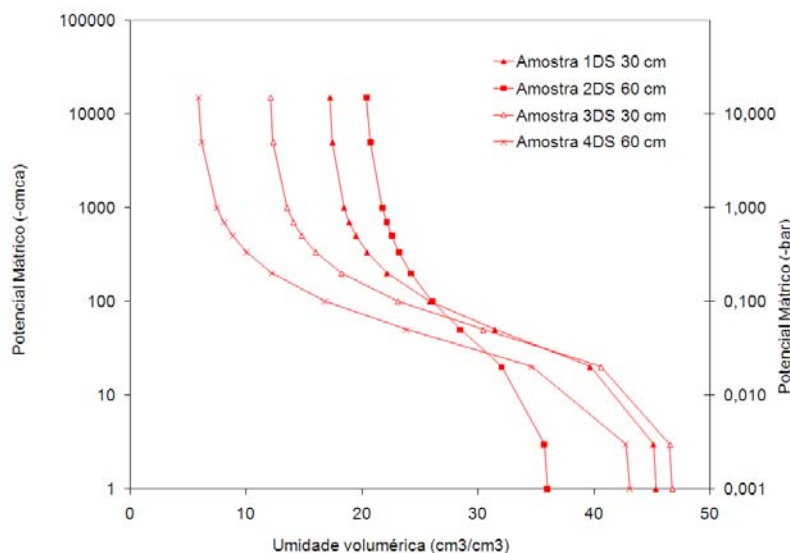
ANEXO

ANEXO

1. Dados climáticos coletados na estação meteorológica automática da Estação Experimental de Citricultura de Bebedouro. Bebedouro, SP

Meses	Tmáx. (°C)	Tmín. (°C)	Tméd. (°C)	Urmáx (%)	UR mín. (%)	Urméd. (%)	Precip. (mm)	Vvmédia (m/s)	Radiação total (kJ/m ²)	ET _o (mm)
2006										
Janeiro	30,48	19,88	24,51	95,62	49,27	77,25	237,90	1,10	20,25	119,83
Fevereiro	30,10	19,97	24,01	98,33	55,75	83,88	316,60	1,08	18,42	94,73
Março	30,38	20,19	24,13	98,39	55,08	84,18	193,90	1,10	18,13	102,10
Abril	29,15	17,20	22,52	95,84	47,59	75,50	25,90	1,13	16,87	92,01
Maiο	26,36	12,71	18,85	94,20	38,61	68,63	13,00	1,02	14,71	79,50
Junho	26,77	12,80	19,09	91,48	34,48	65,21	9,80	1,18	13,75	75,20
Julho	28,32	12,92	20,16	86,39	31,28	58,37	5,50	1,02	14,09	85,45
Agosto	30,75	14,44	22,29	78,50	25,28	50,47	10,10	1,41	16,64	108,49
Setembro	30,02	15,78	22,30	86,11	32,30	59,87	34,70	1,75	17,16	107,74
Outubro	30,06	18,51	23,65	93,25	46,32	73,56	110,90	1,49	18,52	110,62
Novembro	30,28	18,80	23,82	94,65	46,48	74,58	278,30	1,57	20,02	114,10
Dezembro	29,55	20,46	24,00	98,18	59,84	85,60	343,10	1,47	17,26	96,50
2007										
Janeiro	28,70	20,86	23,62	99,41	66,58	90,43	430,80	1,27	14,66	79,95
Fevereiro	30,40	19,87	24,29	97,38	52,55	81,15	209,60	51,23	19,57	100,67
Março	31,43	19,93	24,92	95,77	44,30	74,01	128,70	1,12	18,96	114,74
Abril	30,59	18,80	23,90	95,02	44,53	74,04	27,20	1,43	16,19	93,99
Maiο	26,61	14,30	20,03	93,95	42,81	71,30	71,10	1,48	13,22	75,45
Junho	27,42	13,50	20,06	91,90	36,92	66,13	4,90	1,02	12,95	71,94
Julho	26,40	12,88	19,10	90,55	39,88	66,67	65,00	1,74	12,36	73,05
Agosto	29,24	14,22	21,49	83,28	28,02	54,77	0,00	1,72	16,23	103,73
Setembro	32,49	17,54	24,77	74,14	25,57	47,45	4,30	2,03	17,49	126,49
Outubro	33,02	19,57	25,90	81,38	32,35	56,08	60,60	1,96	19,33	136,91
Novembro	29,62	18,61	23,58	94,94	48,50	76,05	187,30	2,02	19,42	111,62
Dezembro	30,88	19,82	24,82	94,09	46,80	74,57	120,00	1,33	21,13	131,22

2. Curva de retenção de água no solo completa – Setor 14.4, Estação Experimental de Citricultura de Bebedouro. Bebedouro, SP



3. Resumo e interpretação da análise de água com vistas à irrigação

Classificação: 03 (resolução nº 20/86 do CONAMA);

Aptidão: Possibilidade de abastecimento doméstico, com tratamento convencional;

Irrigação de arbóreas, cerealíferas e forrageiras. Dessedentação animal.

Características e considerações:

- ✓ PH: 6,89 (<7,0) – Nenhuma.
- ✓ Sólidos totais: 0,99 mg/L (<500 mg/L) – Nenhuma.
- ✓ Ferro Total: 0,73 mg/L (< 1,5 mg/L) – Nenhuma.
- ✓ Magnésio Total: < 0,003 mg/L (< 0,1mg/L) – Nenhuma.
- ✓ Sulfatos: 0,58 mg SO₄/L (< 2 mg/L) – Nenhuma.
- ✓ Nitrogênio: > quantidade na forma amoniacal (4,40 mg/L) x 4,0 mg/L na forma nítrica, devido ao fato de o valor do PH do solo ser < 8,0.
- ✓ Condutividade elétrica: 153,7 µS/cm – Nenhuma.
- ✓ Água apta à irrigação de laranja, em relação à salinização do solo, visto ser o valor de tolerância 1,7 dS/m aceitável para essa cultura.
- ✓ Boro: < 0,1 mg/L – Nenhuma – Nível de boro aceitável pela laranja: 0,5 – 0,75 mg/L.