

ISSN 0104-1347

Modelos agrometeorológicos para estimação do número de frutos por planta em laranjeira 'Pêra' na região de Limeira-SP, Brasil

Agrometeorological models to estimate the number of fruits per tree in 'Pêra' sweet orange in Limeira region, SP, Brazil

Silvia Elisandra Pasqua Paulino¹, Francisco de Assis Alves Mourão Filho^{2*}, Durval Dourado Neto², Aline de Holanda Nunes Maia³

Resumo: O estabelecimento de modelos que permitam previsões de tendências de produtividade apontando se as colheitas serão menores ou maiores é de grande importância para todos os elos da cadeia citrícola. Buscou-se avaliar a influência de variáveis agrometeorológicas em diferentes fases do ciclo das plantas e propor modelos empíricos para estimação do número de frutos por planta em laranja 'Pêra', na região de Limeira-SP. Foram utilizados dados amostrais de número de frutos por planta, em três classes de idade, referentes à estimativa anual de produção da indústria de suco paulista, no total de 15 safras (1990/91 a 2004/05), e dados meteorológicos (temperatura máxima e mínima e precipitação) para o município de Limeira (22°32'S, 47°27'W, 639 metros). Foram determinados os coeficientes de correlação linear entre número de frutos por planta e variáveis agrometeorológicas componentes do balanço hídrico e temperatura, em diferentes períodos. Foram desenvolvidos modelos de regressão linear múltipla, mediante procedimento 'stepwise', para os subconjuntos de variáveis agrometeorológicas que apresentaram as maiores correlações significativas com o número de frutos por planta em diferentes fases do ciclo da cultura. As condições meteorológicas durante as fases de crescimento vegetativo de verão, pré-florescimento, florescimento e início de crescimento dos frutos, influenciaram a produção de frutos por planta. Os modelos obtidos apresentaram ajustes satisfatórios entre valores observados e estimados, com coeficiente de determinação variando de 0,75 a 0,88.

Palavras-chave: citros, modelagem, safra.

Abstract: The establishment of models that allows forecasting of yield tendencies, pointing if the harvest will be minors or majors, is important for the citrus industry. This work had the purpose of evaluating the influence of meteorological variables in different phases of the plant cycle to propose empirical models to estimate the number of fruits per plant on the 'Pêra' sweet in Limeira region, SP, Brazil. Samples of number of fruits per plant have been used, classified in three age classes, related to the annual juice production estimative from citrus industry of the State of São Paulo, on the total of 15 harvests (1990/91 to 2004/05), and meteorological data of maximum and minimum air temperature and precipitation of Limeira-SP (22°32'S, 47°27'W, 639 meters), Brazil. The correlation coefficients among number of fruits per plant and meteorological variables components of the water balance and temperature in different periods were initially computed. The linear multiple regression models were developed using 'stepwise' procedure for all variables that presented the major significant correlations with the number of fruits per plant in different phases of the crop cycle. The meteorological conditions during the phases of vegetative growth of summer, pre-flowering, flowering and beginning of fruits growth influenced the fruits per plant production. The proposed models had adequate fit among observed and estimated values, with determination coefficients from 0.75 to 0.88.

Key words: citrus, harvest, modelling.

¹ Rua Afrânio Peixoto, 965, CEP 38200-000 Frutal, MG. E-mail: spasma@netsite.com.br

² Universidade de São Paulo (USP), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), Dep. de Produção Vegetal, Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba, SP. E-mails: famourao@esalq.usp.br; dourado@esalq.usp.br

³ Embrapa Meio Ambiente. Caixa Postal 69, CEP 13820-000 Jaguariúna, SP. E-mail ahmaia@cnpmma.embrapa.br

* Autor correspondente

Introdução

Os citros, em função de sua produtividade, composição química e valor nutritivo, constituem-se nas frutas mais produzidas em volume, sendo que o Brasil é, atualmente, o maior produtor mundial. A produção brasileira é orientada basicamente para o cultivo de laranjas para processamento, visando produção de suco concentrado congelado voltado ao mercado.

O crescimento e o desenvolvimento das plantas perenes são influenciados por vários fatores, tais como genótipo, clima, solo, idade, pragas, doenças e manejo cultural. Dentre esses fatores, o clima tem sido relatado como preponderante na determinação do desempenho produtivo de plantas cítricas entre locais e entre safras. Dessa forma, conhecer relações entre o ciclo das plantas cítricas e as condições meteorológicas, além de ser útil para o estabelecimento de manejo fitotécnico adequado, para a programação de colheitas, na regionalização dos cultivos e na elaboração de modelos de previsão de início e duração de períodos fenológicos, é indispensável para previsão de produtividade e qualidade dos frutos de uma safra.

As relações entre a produção de citros e as condições meteorológicas têm sido estudadas por vários autores, como se verifica nos trabalhos de ALBISU (1982), na região do Mediterrâneo, de DU PLESSIS (1983) na África do Sul e de TUBELIS & SALIBE (1988) no altiplano de Botucatu.

Anualmente, a indústria de suco paulista realiza levantamentos amostrais nas regiões onde atua visando estimar a produção de frutos por planta das principais variedades cultivadas de laranja doce destinadas ao processamento. Tais levantamentos ocorrem sempre em meados de abril para fins de previsão de safra, a qual se presta ao estabelecimento de estratégias de comercialização do setor.

PAULINO (2000) e PAULINO & VOLPE (2001) estabeleceram relações entre a produção de laranja 'Pêra' e variáveis meteorológicas na região de Limeira, SP, encontrando que as oscilações climáticas no pré-florescimento, no florescimento, e na fixação de frutos são determinantes da

produção de frutos cítricos, concluindo que as relações encontradas permitem prever a produção com, no mínimo, seis meses de antecedência.

Com base nos trabalhos de PAULINO (2000) e PAULINO & VOLPE (2001), buscou-se neste trabalho avaliar a influência de variáveis meteorológicas em diferentes fases do ciclo das plantas para propor modelos empíricos que possibilitem antecipar a estimação do número de frutos por planta na variedade cultivada de laranja 'Pêra', na região de Limeira-SP, contemplando-se uma série maior de dados (quinze anos em vez de oito anos de safra), diferentes classes de idade e maior número de graus de liberdade na análise estatística. Além disso, em relação aos trabalhos de PAULINO (2000) e PAULINO & VOLPE (2001), foram acrescentadas as variáveis preditoras ETr e ETm, utilizando análise (determinação dos $n+1$ parâmetros – $\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2, \dots, \hat{\alpha}_n$) individual por classe de idade (em vez de utilizar a média ponderada do número de frutos por árvore para as três classes de idade), incluindo o procedimento estatístico "stepwise", além da verificação se os parâmetros eram diferentes de zero, e o balanço hídrico de acordo com o procedimento proposto por THORNTHWAITE & MATHER (1955), em substituição ao método de BRAGA & VILLA NOVA (1983).

Material e métodos

Foram utilizados dados de produção de número de frutos por planta de laranja 'Pêra' (*Citrus sinensis* L. Osbeck) de amostragens provenientes de 15 safras consecutivas (1990/91 a 2004/05) para a região de Limeira, no sudeste do parque citrícola do Estado de São Paulo. A região é constituída por municípios circunvizinhos ao município de Limeira-SP, com desempenho fenológico de plantas semelhantes entre si. As amostragens foram realizadas sempre em meados de abril de cada ano e fazem parte da estimação de produção anual realizada pela indústria de suco paulista.

Utilizou-se o método de amostragem estratificada considerando três classes de idade (CI) de plantas: CI 1 (3 a 5 anos), CI 2 (6 a 10 anos) e CI 3 (maior que 10 anos), sendo o número de amostras para cada estrato determinado em função de sua

variabilidade e de seu número de árvores. Cada amostra constituiu-se de todos os frutos da vigésima planta da décima linha do talhão, exceto para planta doente ou fora do estrato da idade. Nesse caso, a planta imediatamente posterior foi amostrada. O talhão foi escolhido aleatoriamente por sorteio entre os talhões disponíveis daquele estrato. Os frutos derriçados foram contados. O número total de frutos por planta para cada classe de idade foi obtido pela média aritmética simples das amostras.

Foram utilizados dados diários de temperaturas médias calculadas pela média aritmética entre a máxima e mínima, e precipitação entre os anos de 1989 e 2004, obtidos na Estação Meteorológica do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), localizada em Limeira (22°32'S, 47°27'W, 639 metros). Os dados foram utilizados para cálculo do balanço hídrico utilizando-se o programa Bhidrico (versão 3.21) (DOURADO NETO et al., 1991), empregando o método de THORNTHWAITE & MATHER (1955) em escala diária. A estimativa da evapotranspiração de referência foi realizada utilizando-se o procedimento proposto por Thornthwaite (1948). Para cálculo da evapotranspiração real, considerou-se para citros um coeficiente de cultura (K_c) unitário (CAMARGO et al., 1999). Adotando uma capacidade máxima de armazenamento de água no solo por unidade de profundidade efetiva do sistema radicular $1,0\text{mm.cm}^{-1}$ de acordo com o solo predominante regional (Latossolos), adotando-se uma profundidade efetiva média de 100cm, a CAD foi estimada em 100mm, conforme proposto por PAULINO & VOLPE (2001).

Considerou-se a hipótese de que o número de frutos por planta da cultura de laranja pode ser estimado satisfatoriamente a partir das variáveis meteorológicas componentes do balanço hídrico (temperatura do ar, precipitação pluvial, evapotranspiração máxima, evapotranspiração real, deficiência e excedente hídrico) nas diferentes fases do ciclo da cultura (Paulino, 2000; Paulino & Volpe, 2001). Foram avaliados períodos desde o ano do florescimento, ou seja, o ano anterior à safra, até janeiro do ano da safra. Assim, períodos denominados 1, 2, ..., 12, correspondem, respectivamente, aos meses de janeiro, fevereiro, ... e dezembro do ano do florescimento; e o período denominado de 13 corresponde ao mês de janeiro

da safra corrente. Combinações de meses consecutivos também foram testadas, sendo que, períodos como 1 a 2 e 1 a 3 indicam, respectivamente, os períodos entre janeiro a fevereiro e janeiro a março do ano do florescimento. Ao todo, foram analisados 46 períodos.

Inicialmente, foram calculados coeficientes de correlação linear (r) entre o componente de produtividade em estudo, número de frutos por planta da safra, para cada classe de idade, e variáveis meteorológicas dos vários períodos anteriores à amostragem, visando a avaliação do efeito individual das mesmas em períodos distintos do ciclo da cultura.

As variáveis meteorológicas testadas para todos os períodos foram: temperatura média (TMED, °C), máxima (TMAX, °C) e mínima (TMIN, °C) e totais de precipitação pluvial (PREC, mm), evapotranspiração máxima (ETM, mm), evapotranspiração real (ETR, mm), deficiência hídrica (DEF, mm) e excedente hídrico (EXC, mm).

Com base nos coeficientes de correlação, escolheram-se subconjuntos de variáveis preditoras a serem usadas em cada modelo de regressão, sendo que prioritariamente foram escolhidas aquelas com as maiores correlações com o número de frutos por planta, embora esse critério não tenha sido exclusivo, considerando também questões fitotécnicas, como o período de ocorrência vinculado à fase fenológica da cultura, procurando-se contemplar as diferentes fases do ciclo da cultura.

Foram ajustados, então, modelos de regressão linear múltipla para predição do número de frutos por planta em função das variáveis selecionadas para cada um dos estratos, representados por:

$$Y_{ij} = \beta_{i0} + \sum_{k=1}^n \beta_{ik} \cdot X_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

em que Y_{ij} é o número de frutos por planta na classe de idade i ($i=1,2,3$) e na safra j , ($j=1990, \dots, 2004$), β_{i0} é o intercepto de cada modelo e β_{ik} o coeficiente que representa o efeito de cada variável preditora X_{ij} sobre Y_{ij} e ε_{ij} o erro aleatório associado a cada observação.

Através do método "stepwise" do

procedimento REG do programa SAS (Statistical Analysis System), os modelos foram reduzidos utilizando os seguintes critérios: (i) valores p associados aos testes t para avaliação da significância dos parâmetros correspondentes a cada variável preditora inferiores a 0,20; (ii) entre os modelos onde o critério (i) foi satisfeito, escolheu-se aquele com o maior coeficiente de determinação.

Resultados e Discussão

Influência das variáveis meteorológicas no ciclo da cultura

Considerando que as épocas de ocorrência das fases fenológicas da cultura podem variar de safra para safra na mesma região (REUTHER, 1973) e não se dispondo de dados exatos sobre as mesmas no período deste estudo, adotou-se como referência a sequência fenológica apresentada por SENTELHAS (2005), assumindo as épocas mais usuais de ocorrência das fases fenológicas nas condições do Estado de São Paulo.

Foram observadas correlações significativas distribuídas ao longo do ano do florescimento e no início do ano de colheita, em quatro momentos distintos, para todas as três classes de idade: nos meses de verão (janeiro e fevereiro), no pré-florescimento (abril a setembro), no florescimento e início de fixação dos frutos (outubro a novembro) e na fixação e crescimento inicial dos frutos (dezembro a janeiro) (Tabela 1). As magnitudes das correlações e dos níveis de significância (valores p) variaram entre as classes de idades para as mesmas variáveis meteorológicas e períodos, entretanto, há coerência de épocas de ocorrência e de efeitos (negativo ou positivo) das variáveis que se apresentaram correlacionadas com o número de frutos por planta.

Para a classe de idade 1, nos períodos relacionados aos meses de janeiro e fevereiro do ano do florescimento, coincidentes com a época de fluxo de crescimento vegetativo de verão das plantas cítricas, foram verificadas correlações significativas para as variáveis temperaturas máxima, mínima e média e evapotranspiração máxima e evapotranspiração real, todas correlacionadas positivamente com o número de

frutos por planta. As maiores correlações ($p < 0,01$) ocorreram no período 1 a 2 para a evapotranspiração máxima e a evapotranspiração real, respectivamente, com r de 0,75 e 0,84.

Para as classes de idade 2 e 3, nos meses de janeiro e fevereiro do ano do florescimento, as variáveis temperatura e evapotranspiração máxima e real também foram positivamente correlacionadas com o número de frutos por planta. As maiores correlações foram obtidas para a evapotranspiração real no período 1 a 2, com r de 0,73 ($p < 0,01$) e 0,57 ($p < 0,05$), respectivamente, para as classes de idade 2 e 3. Assim, nesse período, geralmente marcado por bom suprimento de água, típico da estação chuvosa, quanto maior a demanda evapotranspiratória, maior será o efeito na safra do ano seguinte no número de frutos por planta, provavelmente, em função do maior crescimento vegetativo, relacionado, por exemplo, com aumento de área fotossintética. Para seu crescimento vegetativo, a planta cítrica depende dos fluxos de crescimento de verão (SPIEGEL ROY & GOLDSCHMIDT, 1996). A distribuição e a extensão do crescimento dos ramos são afetadas pela temperatura, sendo que o acúmulo de matéria seca é geralmente maior em condições de dias longos e altas temperaturas médias diurnas e noturnas (DAVIES & ALBRIGO, 1994). Temperaturas baixas reduzem o crescimento potencial, resultando em menores incrementos anuais de crescimento vegetativo e, sobretudo, do tamanho da árvore e, portanto, de seu potencial produtivo (GAT et al., 1997).

As correlações foram maiores para as classes de idade mais jovens (classe de idade 1: 3 a 5 anos e classe de idade 2: 6 a 10 anos), o que pode indicar um efeito mais marcante da fase de crescimento vegetativo na formação das plantas mais jovens com reflexo na produção de frutos por planta, do que nas plantas mais velhas (classe de idade 3: acima de 10 anos). Crescimento vegetativo em um ano é influenciado pelo efeito residual de crescimento em anos anteriores (DOORENBOS & KASSAM, 1979). Dessa forma, o crescimento vegetativo de árvores jovens determina o tamanho e a capacidade da árvore em produzir frutos.

Para a classe de idade 1, nos meses iniciais do pré-florescimento (abril a junho) foram detectadas

Tabela 1. Coeficientes de correlação (r) entre número de frutos por planta e variáveis meteorológicas de diferentes períodos, entre as safras de 1990 e 2004. Cultivar 'Pêra' em três classes de idade. Limeira, SP.

Classe de Idade ¹	Período ²	Variável Meteorológica ³							
		TMAX	TMIN	TMED	PREC	ETM	ETR	DEF	EXC
1	1	0,45 *	0,58 **	0,62 **	0,06	0,64 **	0,67 ***	-0,11	0,04
1	1a2	0,51 *	0,72 ***	0,72 ***	0,35	0,75 ***	0,84 ***	-0,08	0,31
1	2	0,28	0,74 ***	0,54 **	0,36	0,57 **	0,62 **	-0,04	0,33
1	4a6	-0,49 *	-0,32	-0,45 *	0,16	-0,51 *	-0,08	-0,24	0,07
1	5	-0,55 **	-0,25	-0,43	-0,26	-0,52 **	-0,27	0,02	-0,32
1	5a6	-0,59 **	-0,42	-0,59 **	0,06	-0,68 ***	-0,23	-0,24	0,03
1	6	-0,53 **	-0,46 *	-0,54 **	0,22	-0,60 **	-0,09	-0,35	0,12
1	7a8	0,52 **	0,33	0,45 *	-0,25	0,48 *	0,14	0,23	0,18
1	7a9	0,49 *	0,37	0,48 *	-0,24	0,53 **	0,01	0,30	0,00
1	8	0,45 *	0,21	0,33	-0,25	0,35	-0,05	0,32	-0,41
1	8a9	0,46 *	0,33	0,46 *	-0,21	0,50 *	-0,09	0,32	-0,06
1	9	0,37	0,39	0,45 *	-0,12	0,49 *	-0,11	0,29	-0,04
1	10	-0,60 **	-0,47 *	-0,59 **	-0,13	-0,63 **	-0,32	-0,24	-0,15
1	10a11	-0,59 **	-0,39	-0,54 **	-0,26	-0,57 **	-0,31	-0,20	-0,28
1	10a12	-0,56 **	-0,25	-0,43	-0,03	-0,49 *	-0,32	-0,16	-0,09
1	12a13	-0,14	0,27	0,11	0,63 **	0,08	0,11	-0,10	0,63 **
1	13	0,02	0,30	0,17	0,51 *	0,17	0,34	-0,46 *	0,59 **
2	1	0,31	0,47 *	0,47 *	0,19	0,50 *	0,61 **	-0,28	0,15
2	1a2	0,32	0,51 *	0,49 *	0,38	0,54 **	0,73 ***	-0,26	0,32
2	2	0,16	0,48 *	0,34	0,28	0,38	0,51 **	-0,15	0,23
2	4a6	-0,53 **	-0,34	-0,49 *	0,19	-0,47 *	0,09	-0,37	0,03
2	5	-0,50 *	-0,24	-0,41	-0,03	-0,45 *	-0,07	-0,16	-0,09
2	5a6	-0,64 **	-0,46 *	-0,63 **	0,12	-0,70 ***	0,02	-0,48 *	0,01
2	6	-0,62 **	-0,51 **	-0,63 **	0,16	-0,67 ***	0,14	-0,54 **	0,04
2	7a8	0,44 *	0,13	0,36	-0,35	0,39	0,13	0,10	0,20
2	7a9	0,44 *	0,14	0,36	-0,21	0,31	0,01	0,17	-0,03
2	10	-0,58 **	-0,52 **	-0,60 **	-0,16	-0,62 **	-0,28	-0,27	-0,13
2	10a11	-0,51 *	-0,55 **	-0,58 **	-0,57 **	-0,60 **	-0,48 *	-0,03	-0,46 *
2	10a12	-0,44 *	-0,42	-0,47 *	-0,43	-0,49 *	-0,49 *	0,05	-0,37
2	11	-0,13	-0,49 *	-0,38	-0,57 **	-0,37	-0,52 **	0,39	-0,44 *
2	11a12	-0,14	-0,29	-0,23	-0,44 *	-0,25	-0,48 *	0,44 *	-0,32
2	12a13	-0,17	0,15	0,01	0,49 *	-0,01	-0,08	0,14	0,45 *
2	13	-0,15	0,17	-0,01	0,45 *	0,00	0,10	-0,26	0,50 *
3	1	0,23	0,40	0,37	0,10	0,37	0,53 **	-0,39	0,05
3	1a2	0,31	0,44	0,45 *	0,26	0,43	0,57 **	-0,18	0,23
3	5a6	-0,40	-0,28	-0,39	0,19	-0,53 **	0,15	-0,49 *	0,01
3	6	-0,44 *	-0,44 *	-0,48 *	0,12	-0,59 **	0,25	-0,57 **	0,03
3	7	0,46 *	0,24	0,36	-0,32	0,29	0,31	-0,10	0,03
3	7a8	0,49 *	0,30	0,41	-0,32	0,39	0,25	0,08	0,05
3	7a9	0,48 *	0,22	0,39	-0,38	0,38	-0,02	0,24	-0,27
3	8a9	0,44 *	0,16	0,35	-0,25	0,37	-0,13	0,29	-0,28
3	10a11	-0,09	-0,23	-0,18	-0,65 ***	-0,19	-0,38	0,26	-0,64 **
3	10a12	0,00	-0,11	-0,07	-0,58 **	-0,07	-0,31	0,31	-0,59 **
3	11	0,24	-0,22	-0,02	-0,62 **	-0,02	-0,34	0,44	-0,59 **
3	11a12	0,29	-0,01	0,16	-0,48 *	0,14	-0,22	0,48 *	-0,51 *
3	13	-0,22	0,27	0,02	0,44 *	0,03	0,10	-0,19	0,44 *

¹ Classe de Idade: (1): 3 a 5 anos; (2): 6 a 10 anos; (3): superior a 10 anos.² Períodos 1,...12 = janeiro, ... a dezembro do ano do florescimento; período 13 = janeiro do ano da colheita.³ TMED, TMAX, TMIN = temperaturas média, média máxima e média mínima (°C); PREC, ETM, ETR, DEF, EXC: totais de precipitação, evapotranspiração máxima e real, deficiência e excedente hídrico (mm).

*, **, *** : Significativo aos níveis de 0,10, 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente.

influências negativas das variáveis temperaturas máxima, mínima e média e da evapotranspiração máxima no número de frutos por planta, sendo a evapotranspiração máxima nos períodos 5 a 6 e 6, a variável que apresentou maior coeficiente de correlação, respectivamente, -0,68 ($p < 0,01$) e -0,60 ($p < 0,05$). Para as idades 2 e 3, nesses mesmos meses (abril a junho) foi observado o mesmo efeito, encontrando-se correlações negativas entre as variáveis temperatura, evapotranspiração máxima e deficiência hídrica e o número de frutos por planta. A evapotranspiração máxima nos períodos 5 a 6 e 6 foi a variável que apresentou maior coeficiente de correlação nesses meses, tanto para a classe de idade 2 (-0,70 e -0,67, $p < 0,01$) quanto para a 3 (-0,53 e -0,59, $p < 0,05$). Portanto, maiores temperaturas e, conseqüentemente, demandas evapotranspiratórias e deficiência hídrica nesses períodos contribuem para diminuição do número de frutos por planta. Trabalhos anteriores já indicaram que, para esses meses, ocorreram influências negativas de temperaturas altas na produção de frutos de laranja 'Pêra', na região de Limeira (PAULINO, 2000; PAULINO & VOLPE, 2001).

As condições climáticas do período de pré-florescimento influem sobre a fixação do fruto, já que determinam quando ocorre o florescimento (precoce ou tardio), bem como sua duração, prolongada ou concentrada (Ben Mechlia & Carrol, 1989). Dessa forma, pode-se inferir que a ocorrência de estresses por deficiência hídrica, altas temperaturas e demandas evapotranspiratórias em tais meses (muito anteriores à época normal de florescimento – outubro/novembro), provavelmente, leva a uma antecipação da fase de florescimento para um momento em que as condições meteorológicas são menos apropriadas para a polinização e a fixação do fruto (LOMAS & BURD, 1983).

Para a classe de idade 1 (3 a 5 anos), nos meses finais do pré-florescimento (julho a setembro), influências positivas na produção de frutos por planta das variáveis temperaturas máxima e média e evapotranspiração máxima foram detectadas. A temperatura máxima no período 7 a 8 e a evapotranspiração máxima nos períodos 7 a 9 e 8 a 9, apresentaram, de modo geral, as maiores correlações positivas nesses meses. Para a classe de idade 2, a temperatura máxima dos períodos 7 a 8 e

7 a 9 foram positivamente correlacionadas com o número de frutos por planta. Para a classe de idade 3, a temperatura máxima nos períodos 7, 7 a 8, 7 a 9 e 8 a 9 também se mostraram diretamente relacionadas com o número de frutos por planta.

Assim, ao contrário do ocorrido para os meses abril a junho, altas temperaturas e demandas evapotranspiratórias antes do florescimento (julho a setembro) se relacionam com maiores produções de frutos por planta. O pré-florescimento se trata do período em que ocorre a indução floral, que pode ser promovida por estresse hídrico em regiões tropicais com período de seca no inverno ou por baixas temperaturas em regiões subtropicais (REUTHER, 1988). Qualquer redução ou parada de crescimento vegetativo (comum tanto para estresse hídrico como para baixas temperaturas), pode ser assumido como o estímulo necessário para indução floral em citros (GAT et al., 1997). Quanto maior a intensidade do estresse, maior o acúmulo de reservas (carboidratos e amônia) que serão direcionadas ao desenvolvimento de estruturas reprodutivas (LOVATT et al., 1988). Os resultados aqui obtidos vêm ao encontro de tais afirmações, embora não tenham ocorrido correlações significativas para a deficiência hídrica, uma vez que os fatores geradores do estresse (temperaturas máximas e demandas evapotranspiratórias elevadas) no período resultaram em maior produção de frutos por planta, provavelmente, pelo maior acúmulo de reservas dado pelo maior estresse.

Em períodos relacionados aos meses 10 e 11, quando florescimento e início de fixação dos frutos estão ocorrendo, para a classe de idade 1 (3 a 5 anos), as variáveis temperatura e evapotranspiração máxima apresentaram efeito negativo sobre a produção de frutos, sendo que altas temperaturas e evapotranspiração máxima nesses meses diminuíram o número de frutos por planta. A maior correlação foi observada para a evapotranspiração máxima no período 10, com r de -0,63 ($p < 0,01$). Para a classe de idade 2, nos meses 10 e 11, além das correlações negativas significativas das variáveis temperatura e evapotranspiração (à semelhança do ocorrido para classe de idade 1), as variáveis precipitação e excedente hídrico também se mostraram negativamente relacionadas com a produção de frutos por planta. Assim, precipitações e excedentes

hídricos altos nesse período diminuem a produção de frutos. Nos mesmos meses, para a classe de idade 3, as correlações significativas ocorreram para precipitação e excedente hídrico, também negativamente relacionados à produção de frutos. As correlações positivas observadas da variável deficiência hídrica no período 11 a 12 para as classes de idade 2 (6 a 10 anos) e 3 (superior a 10 anos), advém, portanto, não no sentido de efeito benéfico de deficiência hídrica propriamente dita, mas da menor incidência de precipitações e excedentes hídricos vinculada à mesma.

Temperaturas e evapotranspiração potencial elevadas, bem como severo estresse hídrico, contribuem para aumentar a queda de flores e frutinhos em citros (VOLPE, 1992). Temperaturas elevadas e baixa umidade relativa do ar levam à formação de camada de abscisão na base do pedúnculo das flores, resultando em queda (RODRIGUES, 1991). Influência negativa de temperaturas altas nos meses de florescimento e fixação de frutos na produtividade de 'Pêra' já foi constatada (Di GIORGI et al., 1991).

A fixação do fruto depende da precipitação durante o período de florescimento, sendo que o efeito da chuva no florescimento e fixação dos frutos pode ser por danos diretos mecânicos para flores e limitação na polinização (BEN MECHLIA & CARROL, 1989). A abertura das anteras e a polinização são prejudicadas por umidade relativa do ar excessiva; estresses térmicos por temperaturas elevadas ou muito baixas também afetam a polinização, danificando e destruindo o grão de pólen, prejudicando o tubo polínico e causando atrofia floral, sendo a abertura floral mais favorecida com temperaturas moderadas e ar atmosférico relativamente seco (Nogueira, 1979). Além disso, a coincidência do florescimento com épocas de precipitações e umidade relativa do ar elevada tem contribuído para aumentar a severidade de sintomas de doenças como a podridão floral dos citros, que afeta flores e frutos recém-formados causando-lhes queda (PRATES & RODRIGUES, 1995). A precipitação nos meses de florescimento é inversamente correlacionada com a produção de laranjeira 'Hamlin', nas condições de Botucatu, SP (TUBELIS & SALIBE, 1988), e pode ser associada com a ocorrência da podridão floral dos citros (TUBELIS, 1995). Resposta semelhante foi

encontrada para laranjeira 'Pêra', em Limeira (PAULINO, 2000; PAULINO & VOLPE, 2001).

A partir dos meses 12 e 13 (janeiro do ano da colheita), fase de fixação e início do crescimento dos frutos, para a classe de idade 1, variáveis relacionadas ao suprimento hídrico foram correlacionadas com a produção de frutos por planta, sendo que nos períodos 12 a 13 e 13, precipitações e excedentes hídricos contribuíram para maiores produções de frutos por planta, e deficiência hídrica, por consequência, teve o efeito contrário. Também para a classe de idade 2, nos períodos 12 a 13 e 13, as variáveis precipitação e excedente hídrico foram positivamente correlacionadas à produção. O mesmo efeito foi verificado para a classe de idade 3 no mês 13, quando a precipitação e o excedente hídrico apresentaram correlação positiva com o número de frutos por planta.

Influência positiva de precipitação e excedente hídrico na produção de frutos de laranjeira 'Pêra' no período final de fixação e início do crescimento do fruto, já foi constatada anteriormente, associando-a ao efeito benéfico de bom suprimento hídrico em tal período (PAULINO, 2000; PAULINO & VOLPE, 2001). A produção de frutos é afetada por deficiência hídrica na fase inicial do crescimento dos frutos principalmente pela redução de seu número devido à forte queda de frutos pequenos (GINESTAR & CASTEL, 1996).

Modelos agrometeorológicos

Embora todas as variáveis dos subconjuntos iniciais de potenciais preditoras apresentassem correlações significativas com o número de frutos por planta, permanecem nos modelos, após aplicação dos critérios de redução via procedimento 'stepwise', apenas aquelas que, conjuntamente, apresentam melhor ajuste preditivo. Pelo mesmo motivo, verificou-se que nem sempre as variáveis de maior correlação individual permaneceram nos modelos finais. Como o significado fitotécnico das correlações entre as variáveis agrometeorológicas com o número de frutos por planta foram previamente discutidos, será relatado aqui o efeito observado de cada variável preditora selecionada no modelo final sobre o número de frutos por planta.

Todos os modelos obtidos foram significativos ($p < 0,01$), apresentando R^2 satisfatórios da ordem de

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros dos modelos de regressão múltipla que descrevem o padrão de variação do número de frutos por planta em função de variáveis meteorológicas, coeficientes de determinação (R^2) e valores p associados aos testes F para a variedade cultivada 'Pêra' em três classes de idade (CI)*. Limeira-SP

CI	Preditor	Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão	p1**	p2**	R ²
1	Intercepto	β_{10}	-47,19	264,11	0,8618	0,0001	0,88
1	ETR1a2	β_{11}	2,54	1,06	0,0369	-	-
1	ETM5a6	β_{12}	-2,18	1,32	0,1288	-	-
1	ETM8a9	β_{13}	1,55	0,79	0,0784	-	-
1	ETM10	β_{14}	-1,80	0,81	0,0504	-	-
2	Intercepto	β_{20}	48,73	395,06	0,9041	0,0009	0,76
2	ETR1a2	β_{21}	4,28	1,46	0,0139	-	-
2	ETM6	β_{22}	-6,67	2,99	0,0477	-	-
2	PREC10a11	β_{23}	-0,32	0,19	0,1188	-	-
3	Intercepto	β_{30}	1112,44	200,70	0,0002	0,0015	0,75
3	ETM6	β_{31}	-7,53	3,86	0,0773	-	-
3	PREC10a11	β_{32}	-0,85	0,25	0,0056	-	-
3	PREC13	β_{33}	0,70	0,26	0,0219	-	-

* Classe de idade 1: 3 a 5 anos; idade 2: 6 a 10 anos; idade 3: superior a 10 anos

**Valores p associados aos testes F para investigar a significância de cada um dos parâmetros do modelo, isoladamente (p_1), e teste de significância do modelo, considerando todos os parâmetros conjuntamente (p_2)

0,88, 0,76 e 0,75, respectivamente, para as classes de idades 1, 2 e 3 (Tabela 2). O estudo referente à produção média de laranja 'Pêra' em Limeira entre 1990 e 1997 (PAULINO, 2000; PAULINO & VOLPE, 2001) mostrou uma diminuição nos ajustes obtidos, o que pode ser devido à diferença de dados pela contemplação aqui das diferentes classes de idade de plantas e mais anos de produção, bem como pelo fato da influência do menor número de graus de liberdade naquela análise.

As variáveis que permaneceram no modelo como preditoras para a classe de idade 1, foram a evapotranspiração real no período 1 a 2 (ETR1a2) e a evapotranspiração máxima nos períodos 5 a 6 (ETM5a6), 8 a 9 (ETM8a9) e 10 (ETM10), correspondendo a efeitos nas fases de crescimento vegetativo de verão, pré-florescimento e florescimento. A magnitude dos parâmetros revela a contribuição de cada variável sobre a produção de frutos por planta. Assim, ETR1a2 e ETM8a9

apresentam contribuição positiva e ETM5a6 e ETM10 apresentam contribuição negativa sobre o número de frutos por planta.

Para a classe de idade 2, as variáveis integrantes finais do modelo foram a evapotranspiração real no período 1 a 2 (ETR1a2), a evapotranspiração máxima no período 6 (ETM6) e a precipitação no período 10 a 11 (PREC10a11), representando efeitos nas fases de crescimento vegetativo, pré-florescimento, florescimento e início da fixação de frutos. Analisando-se a magnitude dos parâmetros, a ETR1a2 apresenta contribuição positiva e a ETM6 e PREC10a11 apresentam contribuição negativa sobre o número de frutos por planta.

Com relação à classe de idade 3, permaneceram no modelo final as variáveis evapotranspiração máxima no período 6 (ETM6) e precipitação no período 10 a 11 (PREC10a11) e no

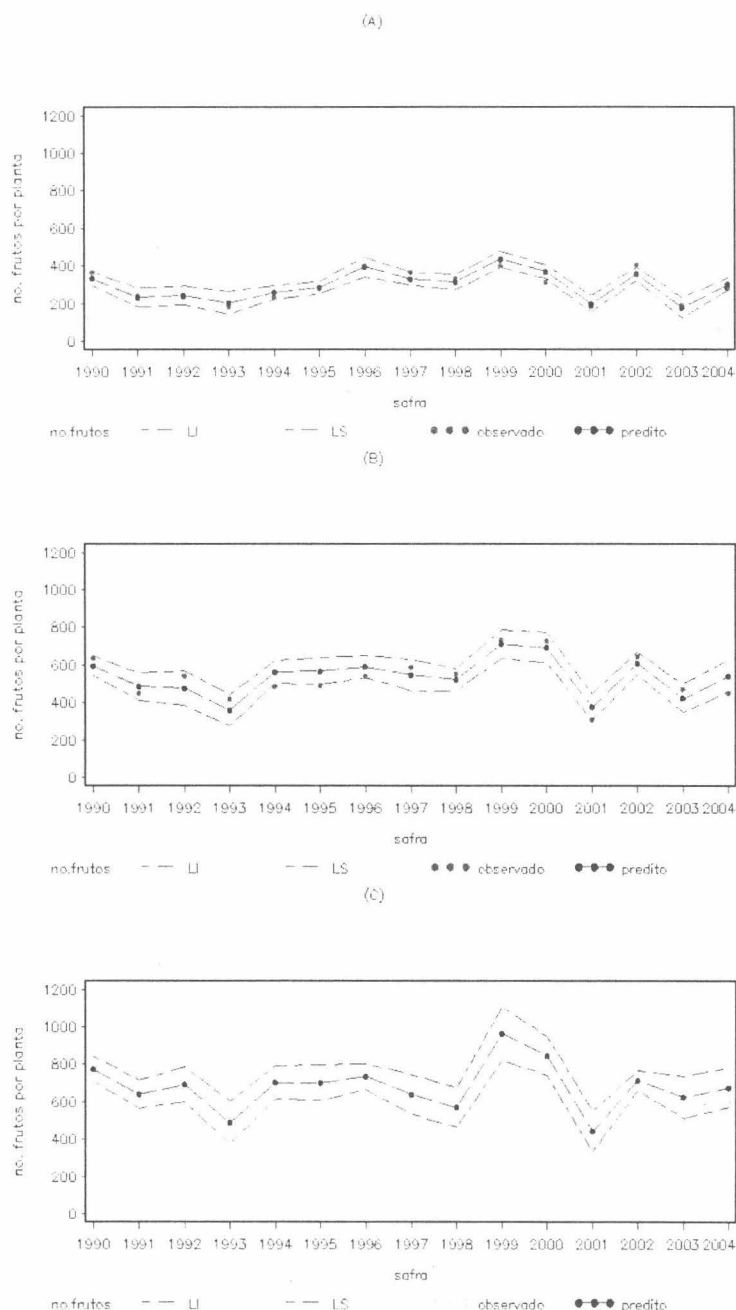


Figura 1. Valores observados e preditos do número de frutos por planta com respectivos limites inferior (LI) e superior (LS) dos intervalos de confiança de 95%. 'Pêra', classes de idade 1 (A), 2 (B) e 3 (C).

período 13 (PREC13), correspondendo a efeitos nas fases de pré-florescimento, florescimento e fixação e início de crescimento dos frutos, apresentando as duas primeiras contribuições negativa e a última contribuição positiva sobre o número de frutos por planta. Apenas na classe de idade 3, não permaneceu no modelo variável referente aos

meses de crescimento vegetativo (janeiro e fevereiro), reforçando a inferência anteriormente discutida de maior influência do mesmo nas classes de idade mais jovens.

De um modo geral, os valores de número de frutos observados mantiveram-se dentro dos

intervalos de confiança de 95% para as três classes de idade (Figura 1), sendo que para a classe de idade 1 o comportamento foi superior aos das idades 2 e 3, em função do maior coeficiente de determinação obtido para o primeiro modelo. Os modelos foram capazes de acompanhar as grandes variações de produção de frutos por planta de safra para safra. Mesmo para o modelo de menor R^2 (0,75), o da classe de idade 3, tal fato ocorreu, sendo um exemplo ilustrativo o que ocorreu na safra 1992 para tal classe de idade, quando os valores observados foram de 706 frutos por planta para 470 frutos por planta na safra 1993, com os valores preditos indo de 692 para 490 frutos por planta. Portanto, bem antes do início da safra (no caso desse estrato, janeiro – último mês que participa do modelo), já seria possível saber que a nova safra apresentaria uma produção de frutos bem inferior (cerca de 30%) em relação à anterior.

Os valores de coeficientes de determinação obtidos podem ser considerados altos para equações de estimação de produtividade em relação a outros trabalhos (ALBISU, 1982), em que a obtenção de modelos agrometeorológicos para as condições de clima mediterrâneo apresentou valores de R^2 variando de 0,77 a 0,85. Sendo assim, pode-se dizer que os modelos apresentam desempenhos satisfatórios e podem ser utilizados com fins de previsão de produção de frutos por planta para a região de Limeira.

Conclusões

1) Para laranjeira ‘Pêra’, na região de Limeira-SP, a produção de frutos por planta aumenta com altas demandas evapotranspiratórias nos períodos coincidentes com o fluxo de crescimento vegetativo de verão (janeiro e fevereiro); estresses por deficiência hídrica, altas temperaturas e demandas evapotranspiratórias entre abril a junho diminuem a produção e, entre julho a setembro, aumentam a produção; altas demandas evapotranspiratórias, precipitações e excedentes hídricos, no florescimento e fixação, reduzem a produção de frutos por planta; precipitações e excedentes hídricos na fase inicial do crescimento dos frutos (dezembro a janeiro) contribuem para aumentar a produção de frutos.

2) Houve coerência de épocas de ocorrência e de efeitos das variáveis significativamente

correlacionadas com o número de frutos por planta nas três classes de idade.

3) Os modelos agrometeorológicos obtidos para estimação de número de frutos por planta para todas as classes de idade apresentaram desempenhos satisfatórios, possibilitando adiantar em pelo menos três meses (janeiro) a estimação da época normal (abril) realizada pela indústria.

Referências bibliográficas

ALBISU, L.M. Empirical evidence of the main factors affecting orange yields in the Mediterranean Area. **Scientia Horticulturae**, v.18, p.119-124, 1982.

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

BRAGA, H.J.; VILLA NOVA, N.A. Caracterização da seca agrônômica através de novo modelo de balanço hídrico, na região de Laguna, litoral de Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 3., 1983, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1983. p.283-309.

CAMARGO, M.B.P.; ORTOLANI, A.A.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; ROSA, S.M. Modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade para o cultivar de laranja Valência. **Bragantia**, v.58, n.11, p.171-178, 1999.

DAVIES, F.S.; ALBRIGO, L.G. **Crop production science in horticulture. Citrus**. Wallingford: CAB International, 1994. 254p.

DI GIORGI, F.; IDE, B.Y.; DIB, K.; MARCHI, R.J.; TRIBONI, H.R.; WAGNER, R.L.; ANDRADE, G. Influência climática na produção de laranja. **Laranja**, v.12, n.1, p.163-192, 1991.

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

DOURADO-NETO, D.; SAAD, A.M.; JONG van LIER, Q. **Curso de agricultura irrigada**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Agricultura, 1991. 190p.

- DU PLESSIS, S.F. Crop forecasting for navel in South Africa. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, Florida, v.96, p.40-43, 1983.
- GAT, Z.; ERNER, Y.; GOLDSCHMIDT, E.E. **The effect of temperature on the citrus orchard**. Geneva: World Meteorological Organization, 1997. 27p. (WMO. Technical Note, 198).
- GINESTAR, C.; CASTEL, J.R. Responses of young Clementine citrus trees to water stress during different phenological periods. **Journal of Horticultural Science**, v.71, n.4, p.551-559, 1996.
- LOMAS, J.; BURD, P. Prediction of the commencement and duration of the flowering period of citrus. **Agricultural Meteorology**, v.28, p.387-396, 1983.
- LOVATT, C.J.; ZHENG, Y.; HAKE, K.D. A new look at the Kraus-Kraybill hypothesis and flowering in citrus. In: INTERNATIONAL CITRUS CONGRESS, 6, Tel Aviv, Israel, 1988. **Proceedings**. Philadelphia: Balaban Publishers, 1988. p.475-483.
- NOGUEIRA, D.J.P. O clima na citricultura. In: Citrus/Tecnologia de produção. **Informe Agropecuário**, v.52, p.3-12, 1979.
- PAULINO, S.E.P. Influência de algumas variáveis meteorológicas na produtividade e qualidade de frutos de laranjeira 'Pêra'. Jaboticabal, 2000. 107p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.
- PAULINO, S.E.P.; VOLPE, C.A. Relações entre a produção de laranjeira 'Pêra' e algumas variáveis meteorológicas, em Limeira, SP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.23, n.1, p.130-133, 2001.
- PRATES, H.S.; ROGRIGUES, J.C.V. Situação atual, prejuízos e perspectivas de controle da podridão floral causada por *Colletotrichum gloeosporioides* em citros, **Laranja**, v.16, n.2, p.107-126, 1995.
- REUTHER, W. Climate and citrus behavior. In: REUTHER, W. (Ed.). **The citrus industry**. Riverside: University of California Press, 1973, v.3, cap.9, p.280-337.
- REUTHER, W. Climate and fruit quality. In: FERGUSON, J.J.; WARDOWSKI, W.F. (Ed.). **Factors affecting fruit quality**. Florida, University of Florida, 1988, p.9-23.
- RODRIGUES, O. Aspectos fisiológicos, nutrição e adubação dos citros. In: RODRIGUES, O.; VIEGAS, F.; POMPEU JUNIOR, J.; AMARO, A.A. (Ed.). **Citricultura Brasileira**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1991, v.1, p.419-475.
- SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia dos citros. In: MATTOS JUNIOR, D. et al. (Ed.). **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico. 2005. (no prelo)
- SPIEGEL ROY, P.; GOLDSCHMIDT, E.E. **Biology of citrus**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 230p.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach a rational classification of climate. **Geographical Review**, v.38, p.55-94, 1948.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centurion, New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, v.8, n.1).
- TUBELIS, A. Clima: fator que afeta a produção e qualidade da laranja. **Laranja**, v.16, n.2, p.179-211, 1995.
- TUBELIS, A.; SALIBE, A.A. Relações entre a produção de laranjeira 'Hamlin' sobre porta-enxerto de laranjeira 'Caipira' e as precipitações mensais no altiplano de Botucatu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, n.3, p.239-246, 1988.
- VOLPE, C.A. Fenologia de citros. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS-FISIOLOGIA, 2, Bebedouro, 1992. **Anais**. Campinas: Fundação Cargill, 1992, p.107-120.