

# VARIABILIDADE ESPACIAL DO CONSUMO HÍDRICO DE PLANTAS EM POMAR DE LIMA ÁCIDA 'TAHITI', E SUA INFLUÊNCIA NO MANEJO DA IRRIGAÇÃO.

Maurício Antonio COELHO FILHO<sup>1</sup> & Rubens Duarte COELHO<sup>2</sup>

## RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido na ESALQ-USP, Piracicaba, São Paulo, em um pomar de 112 plantas de lima ácida 'Tahiti' (*Citrus latifolia* TANAKA), onde foram instalados uma ou duas baterias tensiômetros em cada planta, realizando-se o balanço hídrico durante um período de 4 meses, totalizando 41 dias de leituras de potencial mátrico, cujos valores foram transformados em umidade mediante curvas de retenção determinadas para cada local de leitura. Foi verificado a existência da estabilidade temporal das leituras de potencial métrico e baseando-se nesse resultado escolheu-se um período de secamento do solo e utilizando-se a teoria das variáveis regionalizadas, foi possível a subdivisão do pomar em sub-áreas com baixa variabilidade de consumo hídrico das plantas. Foi constatado, no pomar, valores para o coeficiente de cultivo variando de 0.48 a 1.24, e se a irrigação fosse baseada na lâmina média real, grande parte da área receberia água inadequadamente. Nesse sentido, a utilização de sistemas de irrigação altamente uniformes, torna-se irrelevante, pois a eficiência de irrigação é baixa quando em pomares sem uniformidade.

**Palavras-chave:** Lima ácida 'Tahiti', manejo da irrigação, geoestatística.

## INTRODUÇÃO

Um dos aspectos que chamam a atenção de produtores e pesquisadores na cultura da lima ácida 'Tahiti' ou limão 'Tahiti', é o fato de apresentar uma sazonalidade de safras ao longo do ano, pela incidência de diversas floradas, e sazonalidade bem definida dos preços, que implica em períodos ao longo do ano em que a safra torna-se menos atrativa para o produtor e uma faixa muito atrativa com picos nos preços de frutos. Para o Estado de São Paulo, a importância do conhecimento de todo o comportamento dos preços e sazonalidade de safras, reside no fato do período que antecede os picos de preços coincidirem com épocas em que ocorrem os déficits de precipitação em muitas regiões produtoras. Nesse período a irrigação se justifica plenamente pois é utilizada visando a colheita de frutos na entressafra cujo retorno econômico é elevado.

Além da variabilidade intrínseca do material originário do solo, o manejo adotado pode ser mais uma fonte de variabilidade somado ao fator genético das plantas. E juntos promovem produtividades diferenciadas das culturas. Esse aspecto torna-se mais crítico em culturas perenes que permanecem no campo por vários anos. No caso de citros com pomares com mais de 20 anos, isso implica em diferenças grandes de produtividades entre plantas e que podem se agravar caso o manejo de solos e irrigação não forem adequados. Com a crescente preocupação em um manejo mais racional da irrigação, visto que no futuro o racionamento de água e energia será necessário para sobrevivência da agricultura irrigada, trabalhos visando o conhecimento do consumo de plantas, e que a utilização de técnicas que permitam o mapeamento de áreas com mesmo consumo, serão de grande utilidade para uma irrigação voltada para agricultura de precisão. Ou seja, que permitam o racionamento de água e garantam qualidade com produtividades compensadoras.

---

<sup>1</sup> Aluno do curso de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP, Email - macoelho@carpa.ciagri.usp.br

<sup>2</sup> Professor Doutor do Departamento de Engenharia Rural ESALQ/USP

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no campo experimental de irrigação, Campus da ESALQ/USP Piracicaba-SP, Brasil. Em um pomar de limão 'Tahiti' foram selecionadas 112 plantas. Durante o período estudado, as plantas foram irrigadas com sistema de irrigação por microaspersão. O modelo do microaspersor foi Dan 2001 com bailarina preta, trabalhando com vazão de 20 litros por hora e raio de alcance de 2,15 metros, instalados a 0,3 metros do tronco de cada planta. A irrigação foi baseada no balanço hídrico agroclimatológico, tendo como componentes a precipitação e evapotranspiração de referência (ETP). Esta última foi determinada pelo balanço hídrico do lisímetro de lençol freático constante da estação agrometeorológica anexa à área experimental. A partir do consumo de referência, estimou-se a evapotranspiração para a cultura do limão, onde foi adotado um  $K_c$  0,8, para fins de irrigação. Como um dos objetivos do trabalho foi verificar a variabilidade de leituras de potencial mátrico em níveis diferenciados de umidade do solo, não foi definido um armazenamento de água como limite para realização da irrigação. Por isso, as lâminas aplicadas corresponderam ao consumo de um determinado período entre duas irrigações. Para o cálculo da lâmina de irrigação utilizou-se da seguinte equação:

$$LI = ET_c * K_r \quad (1)$$

onde LI é a lâmina de irrigação (mm) e  $K_r$  sendo igual ao coeficiente de cobertura do solo (0,41), cálculo baseado em Keller & Karmeli (1974). Para o cálculo da cobertura de copa de cada árvore, o pomar foi fotografado a 150 m de altura e por separação de cores foi feita a análise, sendo que cada planta foi tratada individualmente. Sob o aspecto da irrigação localizada a cobertura de copa é um fator importante, pois esta informação que estabelece qual o percentual da área que deve ser irrigada.

Para cada planta foram instalados dois a quatro tensiômetros para o monitoramento da umidade no campo, totalizando 252 instrumentos. Foram monitoradas duas profundidades, tensiômetros a 0,2 m e 0,4 m. Os tensiômetros foram instalados a uma distância do troco de 1,2 m, no caso de plantas com quatro tensiômetros, as duas baterias separavam-se por apenas 1 m. As leituras foram realizadas com tensiômetro digital de punção, que facilitou o processo de leitura dos valores de potencial mátrico, encurtando o tempo entre a primeira e última leitura. As leituras foram sempre feitas no mesmo horário do dia e o ordenamento sempre foi o mesmo, totalizando 41 dias de análise.

Em cada planta foram coletadas amostras indeformadas para o estudo de umidade do solo nas diversas tensões. As amostras foram analisadas no laboratório de solos da irrigação e drenagem - Departamento de engenharia Rural da ESALQ/USP. Os pontos das curvas de retenção foram determinados em mesa de tensão (1, 2 e 4 KPa) e câmaras de pressão de Richards (6, 10, 30, 80, 100, 400 e 1500 KPa). A partir dos valores de umidade associados às tensões aplicadas, ajustou-se a curva de retenção pelo modelo matemático proposto por van Genuchten (1980), que tem sido empregado largamente em diversos estudos.

Com o ajuste de curvas para cada planta estudada, foi possível, correlacionando os valores de tensão com a umidade do solo, determinar a variação de armazenamento da água em cada planta a uma profundidade de 0,6 m, profundidade adequada para o manejo da irrigação em citros, como tem sido verificado em inúmeros trabalhos, dentre outros, Moreira (1983); Vieira & Ribeiro (1993). Como cada planta possuía uma ou duas baterias de tensiômetros instaladas, com tensiômetros de cada bateria a 0,2 m e 0,4 m de profundidade, considerou-se a mesma curva para as duas profundidades ou para as duas baterias na mesma planta, visto que só foram amostrados pontos para curva de retenção a 0,2 m de profundidade e uma amostra por planta. Estabeleceu-se que os tensiômetros de 0,2 m e de 0,4 m representariam as camadas de 0 a 0,3 m (C1) e de 0,3 a 0,6 m (C2), respectivamente, sendo a camada total (0 a 0,6 m de profundidade) (C3).

Para verificação da estrutura de variação espacial dos parâmetros estudados construiu-se semivariogramas experimentais. Cujos os valores de semivariância para uma distância  $h$ , são calculados pela média das diferenças quadradas entre todas as observações,  $Z(s_i)$ , separadas por  $h$ :

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2} \frac{N(h)}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(s_i) - Z(s_i + h)]^2 \quad (2)$$

onde  $N(h)$  é o número de pares de valores medidos  $Z(s_i)$ ,  $Z(s_i+h)$ , separados por um vetor  $h$ . O semivariograma experimental é construído graficamente, plotando-se os valores da semivariância verso os diferentes valores de  $h$ . Os semivariogramas experimentais foram escalonados pela variância amostral, para permitir a comparação do padrão de variabilidade entre os parâmetros avaliados, conforme Vieira et al. (1997). Para cada semivariograma foram ajustados modelos matemáticos, no presente estudo ajustou-se o modelo esférico e exponencial como apresentados por MacBratney & Webster (1986).

Quando se deseja estimar valores de uma variável para locais não amostrados, é necessário que a variável seja estacionária estatisticamente (hipótese intrínseca). Não existe um teste específico para estacionaridade, porém a análise da dependência espacial feita quando a estacionaridade é inadequadamente assumida, leva a interpretações indevidas no estudo, pois o semivariograma para a variável apresentará comportamento diferente do real. Existem algumas técnicas utilizadas no tratamento de dados com tendência a fim de removê-la. No presente estudo, optou-se pela técnica do refinamento pela mediana para os dados cujo comportamento não permitiu assumir a estacionaridade (densidade do solo e armazenamento de água).

Apesar da distribuição normal não ser uma condição obrigatória na análise de dependência espacial, sabe-se que distribuições com caudas longas e presença de valores extremos “outliers”, podem modificar a estrutura do semivariograma. Visando minimizar esses problemas, realizou-se um processo de análise exploratória dos conjuntos de dados antes da construção dos semivariogramas. Primeiramente foi realizada uma análise descritiva dos dados onde a variabilidade foi expressa pelo desvio padrão e a variabilidade relativa pelo coeficiente de variação. E mediante o método dos momentos estatísticos e gráficos (probabilidade normal e histogramas de frequência) verificou-se o ajuste da distribuição normal, sendo que o critério utilizado para remoção de valores extremos foi o limite representado pela *média  $\pm 3,5$  \* desvio padrão*.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O armazenamento de água nas tensões de funcionamento do tensiômetro 10 a 80 KPa mostrou-se extremamente variável, o que para irrigação é extremamente indesejável, quando o manejo é via tensiometria, pois leituras iguais em pontos diferentes estão indicando um estado de umidade de solo diferentes. Para esta propriedade ocorreu uma tendência de crescimento diagonal da coordenada X para Y. A densidade do solo mostrou-se variável espacialmente, com uma tendência de crescimento para parte superior da superfície e decréscimo em direção à coordenada X. Em termos de manejo da irrigação este último também é extremamente importante, e de fácil determinação no laboratório, comparado à determinação de curvas de umidade. No que diz respeito à plantas cítricas a densidade pode interferir negativamente o desenvolvimento do sistema radicular, quando em solo compactado, tanto pelo impedimento físico, como pelo favorecimento de acúmulo de umidade, indesejável para essa cultura, visto que o solo em estudo é argiloso. Os coeficientes para os semivariogramas dos resíduos do refinamento da densidade do solo e armazenamento (ESFÉRICO 1 e 2), juntamente com os resultados da validação cruzada, encontram-se na Tabela 2. A análise conjunta da Figura 1 (a e b), mostram a possível existência de fatores, como a compactação do solo na parte superior da área experimental ligados a passagem de máquinas agrícolas, influenciado nos baixos valores de armazenamento, afetando a estrutura do solo e induzindo a retenção de água com uma maior tensão entre 10 e 80 KPa.

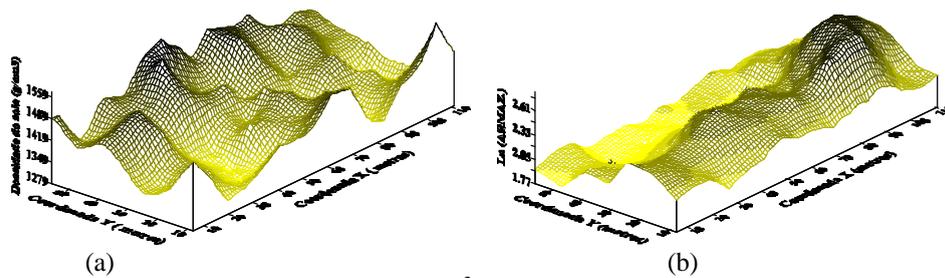


Figura 2. Superfícies krigadas de densidade do solo ( $\text{g/cm}^3$ ) e  $L_n$  (armazenamento) entre as tensões de 10 e 80 KPa, para uma profundidade de solo de 0,30 m

Apesar da impossibilidade de estabelecer um manejo da irrigação apenas baseado nas leituras tensiométricas, verificou-se que independente do tempo o padrão de distribuição espacial do potencial mátrico na área experimental se mantinha estável (Coelho Filho et al, 1999). A estabilidade temporal das leituras pode ser confirmada mediante a Figura 3, onde os semivariogramas para dois períodos de secamento do solo não diferem, sendo possível um único ajuste para todos os semivariogramas escalonados pela variância amostral, demonstrando que a estrutura da variação espacial dos valores de potencial mátrico mantêm-se estáveis independente do tempo e do estado de umidade do solo. Na Figura 4, a partir dos semivariogramas ajustados para os dias 01/11 e 12/11 (EXPONENCIAL 1 e 2) Tabela 2, realizou-se o processo de interpolação por krigagem onde foi gerado mapas de superfície para os valores de potenciais mátricos no pomar. Nota-se uma semelhança muito grande na duas superfícies, o que comprova visualmente a estabilidade temporal.

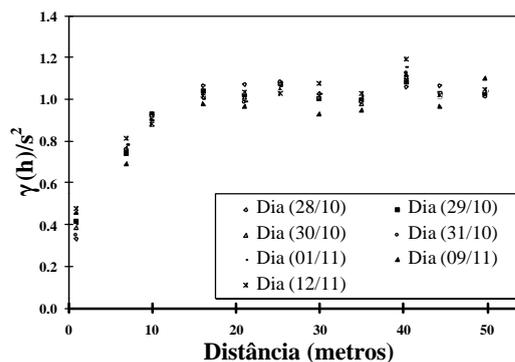


Figura 3. Semivariogramas experimentais escalonados para os valores de potencial mátrico (KPa), nos dias 28, 29, 30, 31/10 e 01, 09 e 12/11.

Verificada a estabilidade temporal das leituras de potenciais mátricos na área experimental, escolheu-se um período a ser realizadas as análises referentes ao padrão de consumo hídrico das plantas do pomar, sem a preocupação de comparar períodos distintos, já que a estabilidade comprovada no estudo, permitiu assumir que o consumo hídrico também é estável ao longo do tempo. Logo a escolha de um período entre duas irrigações pode ser usado para o mapeamento e subdivisão da área em zonas mais homogêneas com relação ao consumo de plantas. A Tabela 1 apresenta os resultados da estatística descritiva do consumo entre os dias 23 e 31/10/97. Durante esse período a evapotranspiração de referência (ETP) foi de 30,71 mm, ocorrendo, também, uma precipitação de 11,22 mm em 25/10.

Pelos resultados, verifica-se que o consumo para C1 foi bem superior ao de C2, compatível com pesquisas que indicam a superficialidade do sistema radicular dos citros. Para C3, a distribuição não foi normal, implicando num valor médio não representativo do conjunto de dados. Considerando o valor da mediana (11,79 mm) e somando-o ao valor da variação de armazenamento total, obtém-se uma evapotranspiração da cultura (ETc) de 23,01 mm. Com esse valor, encontra-se um Kc de 0,75, resultado coerente com as recomendações de Doorenbos & Kassam (1979), para citros em cultivos isentos de ervas daninhas e com os resultados de Vieira & Ribeiro (1993), que realizaram o balanço hídrico da cultura do limão 'Tahiti' irrigado por microaspersão

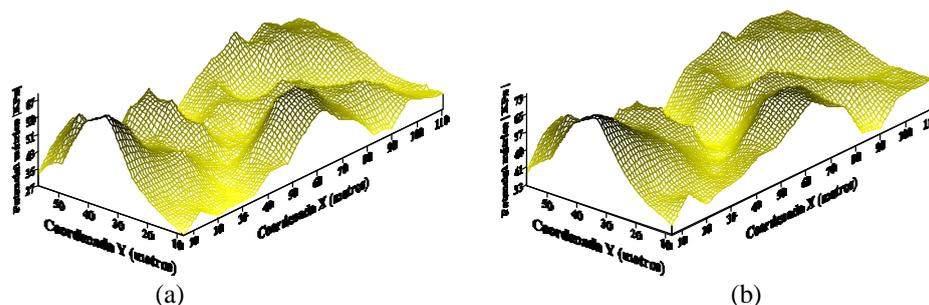


Figura 4. Distribuição espacial dos valores de potencial mátrico no pomar de limão ‘Tahiti’, em períodos distintos de secamento do solo, 01/11/1997 (a) e 11/01/1997 (b).

Tomando-se os valores máximo e mínimo para variação de armazenamento total (4,03 e 27,08 , respectivamente), encontram-se valores para Kc de 0,48 a 1,2 , respectivamente. Apesar do valor representativo estar próximo do recomendado, a variabilidade é elevada, sendo desconsiderada na prática do manejo da irrigação. Os resultados para o coeficiente de variação expressam bem essa variabilidade.

Tabela 1. Resumo estatístico para os resultados de variação de armazenamento em cada camada estudada.

	Variação de armazenamento				
	C1	C2	C3	Ln(C2)	Ln(C3)
Nº de amostras	123	123	123	121	123
Média	8,57	4,01	12,58	1,30	2,46
Mediana	8,16	3,88	11,79	1,37	2,47
Mínimo	2,82	0,47	4,03	0,16	1,39
Máximo	17,98	11,76	27,08	2,46	3,30
Quartil Inferior	6,08	2,83	9,40	1,06	2,24
Quartil Superior	10,32	4,64	14,63	1,53	2,68
Amplitude	15,16	11,29	23,05	2,31	1,90
Desvio Padrão	3,25	1,94	4,89	0,45	0,39
Assimetria	0,70	1,49	1,04	-0,11	-0,21
Curtose	0,58	3,49	1,50	0,54	0,22
CV	37,92	48,38	38,87	34,61	15,85

Após a análise exploratória, decidiu-se trabalhar com os dados transformados no estudo de dependência espacial para C2 e C3. Todos os semivariogramas apresentaram estrutura bem definida, os resultados da validação cruzada dos modelos escolhidos para krigagem encontram-se na Tabela 2, sendo Exponencial 3 (C1), Exp. 4 (C2) e EXP. 5 (C3).

Com o conhecimento da estrutura de variação no espaço foram construídos os mapas de superfície para o período de secamento do solo estudado. No intuito de apresentar um esquema prático de regiões com baixa variabilidade no pomar, foi realizada a subdivisão da área e, para cada região calculou-se o valor para o Kc correspondente (Figura 7). A subdivisão que melhor expressou o comportamento de consumo no pomar foi a de 4 regiões diferenciadas com Kc variando de 0,56 a 1,2 , número que não deixou a área subdividida detalhadamente, o que inviabilizaria qualquer pretensão prática. Para tal subdivisão, foram utilizados os valores máximos e mínimos de sub-áreas “krigadas” para variação de armazenamento total. Alguns pontos do pomar apresentaram consumos abaixo do mínimo, porém a exclusão desses pontos não afetou o comportamento geral, por serem zonas pequenas.

Se na prática fosse utilizado o valor 0,75 para o Kc no manejo da irrigação, uma grande extensão do pomar receberia água em excesso, situação que deve ocorrer freqüentemente na prática e que agrava os problemas de gastos excessivos de água e energia, mesmo em pomares que utilizam algum método no controle da irrigação.

Se o objetivo fosse o manejo da irrigação com base num valor médio de potencial mátrico, seria necessária a subdivisão das zonas de mesmo consumo para que cada região possuísse, também, variabilidade baixa no que se refere ao armazenamento de água. Esse procedimento possibilitaria o manejo com base em valores médios adequados para cada uma das sub-região, garantindo uma irrigação mais racional.

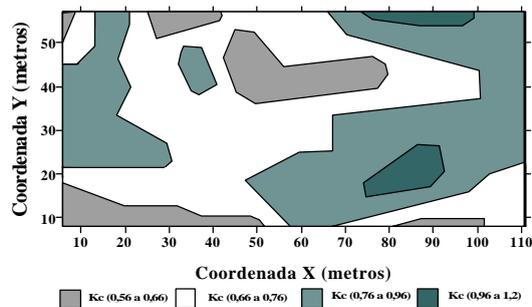


Figura 7. Esquema do pomar de limão ‘Tahiti’ subdividido por zonas com baixa variabilidade de consumo de plantas e respectivos valores para o Kc.

Se o armazenamento não apresentasse uma variabilidade espacial elevada, como ocorreu no presente estudo, os resultados das superfícies de potenciais mátricos poderiam ser utilizados na divisão do pomar em sub-áreas, pois já indicariam zonas com baixa variabilidade do consumo de plantas. Se, por outro lado, a variabilidade de consumo fosse baixa e a de armazenamento fosse alta, a superfície de armazenamento seria o critério indicado para ser utilizado na subdivisão de áreas no pomar.

Utilizando o esquema apresentado na Figura 7, o manejo da irrigação localizada com base nos métodos agroclimatológicos aplicar-se-ia muito bem, sem restrições, pois esse método de irrigação, caracterizado pela alta frequência de irrigação e lâminas reduzidas, evitaria problemas relacionados com o estresse hídrico de plantas em zonas com baixo armazenamento, visto que a reposição de água é rápida e representa o consumo de cada sub-região. O mesmo não pode ser dito para a irrigação por aspersão, onde geralmente se trabalha com baixa frequência.

Os resultados da alta variabilidade no consumo de plantas no pomar, por si só, indicam que os estudos necessários para obtenção de uma irrigação de precisão devem passar pelo conhecimento do consumo das plantas, o que irá depender de muitos fatores ligados ao próprio material genético e ao manejo da cultura ao longo do seu desenvolvimento. Além disso, a alta uniformidade de distribuição de água, considerada um dos aspectos mais positivos da irrigação localizada quando comparada a outros métodos de irrigação, torna-se irrelevante, em se tratando de pomares que apresentam alta variabilidade.

Outro ponto discutível quando se trabalha com pomares diz respeito à cobertura de copa, fator extremamente variável e que para efeito da irrigação considera-se um valor médio de cobertura. A cobertura de copa é um fator subjetivo, pois a planta pode ter uma elevada cobertura e um índice de área foliar inferior à outra com pequena cobertura. Sendo neste sentido mais adequado se trabalhar com esse último fator que é de difícil medida em pomares, e, também, extremamente variável.

A partir dos resultados de cobertura de copa do pomar, cujo valor médio foi  $23,56 \text{ m}^2$ , foi possível o cálculo da lâmina média real necessária do período de secamento do solo (297,6 litros/planta). Com os valores individuais de cobertura de copa e consumo de planta, calculou-se o déficit e o excesso de água aplicado no pomar via irrigação, quando aplicada a lâmina média real. Procedendo às mesmas análises realizadas anteriormente, obteve-se o semivariograma cujos parâmetros do modelo (EXPONENCIAL-6) encontram-se na Tabela 2. Visualizando a Figura 8, uma grande extensão do pomar receberia água inadequadamente, corroborando com o que foi discutido anteriormente, com plantas recebendo volumes superiores e inferiores a lâmina real necessária, em até 150 litros.

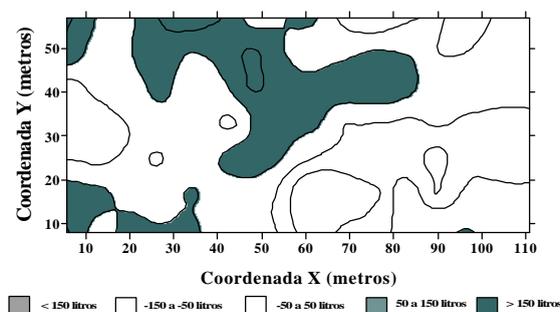


Figura 8. Superfície krigada do déficit e excesso de água (litros) que seria aplicado no pomar, irrigando-se com a lâmina média real.

Tabela 2. Coeficientes ajustados para os semivariogramas experimentais escalonados e resumo dos resultados da validação cruzada, sendo,  $m_r$  a média reduzida da krigagem,  $s_r^2$  a variância reduzida e  $N_v$  o número de vizinhos utilizados.

Componentes dos modelos									
Modelo	Co	C	r(m)	Co+C	Co/Co+C (%)	S <sup>2</sup>	m <sub>r</sub>	S <sub>r</sub> <sup>2</sup>	N
ESFÉRICO -1	0,001	0,0035	15	0,0045	23	0,0045	-0,04	0,953	22
ESFÉRICO -2	0,0097	0,0453	15,5	0,055	17	0,055	-0,031	0,913	21
EXPONENCIAL-1	0,32	0,73	19	284	30,63	270,8	0,014	1,000	14
EXPONENCIAL-2	0,41	0,66	21	345	38,29	321,5	0,011	1,000	24
EXPONENCIAL-3	1,98	8,8	18	10,78	18,4	10,5	0,002	1,027	17
EXPONENCIAL-4	0,07	0,14	39	0,21	33,3	0,21	0,028	1,002	6
EXPONENCIAL-5	0,03	0,12	23	0,15	20	0,15	0,022	1,018	7
EXPONENCIAL-6	0,1	0,89	17	0,99	10	13825	-0,04	1,094	21

## CONCLUSÕES

A subdivisão do pomar baseada nas distribuições de valores de potencial mátrico não foi possível, visto que o armazenamento de água foi elevado. Porém, a verificação da estabilidade temporal das leituras foi fundamental para aplicabilidade do estudo de consumo hídrico no pomar.

A variabilidade do consumo hídrico no pomar foi elevada, sendo encontrados valores para Kc entre 0,48 e 1,2. Esta variabilidade advém tanto do fator solo como do fator planta, o último não podendo ser excluído do processo de decisão quando se deseja realizar uma irrigação precisa.

Ficou evidente que um sistema de irrigação altamente uniforme não garante uma eficiência na irrigação em pomares cujas plantas não apresentem uniformidade.

As zonas apresentando déficit e excesso de água no pomar, quando aplicada a lâmina média, sinalizam que o caminho de uma irrigação eficiente deve passar pela subdivisão da área em zonas mais homogêneas. E essa subdivisão deve ser tanto maior quanto a variabilidade de solo e planta no pomar.

## BIBLIOGRAFIAS

- KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rainbird Sprinkler Manufacturing Corp., 1974. 182p.
- McBRATNEY, A.B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, v.37, p.617-639, 1986.
- VIEIRA, D.B.; RIBEIRO, T.A.P. Estudo de parâmetros básicos de irrigação do limão Tahiti (*Citrus limonia*, Osbeck) sob microaspersão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, Ilhéus, 1993. **Anais**. Ilhéus: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1993. p.2329-2338.
- MOREIRA, C.S. Estudo da distribuição do sistema radicular da laranja 'Pera' (*Citrus sinensis*, Osbeck), com diferentes manejos de solo. Piracicaba, 1983. 92p. Tese (Livre- Docência). - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- COELHO FILHO, M.A.; COELHO, R.D.; FOLEGATTI, M.V. Estabilidade temporal de leituras de potencial mátrico em pomar de lima ácida 'Tahiti'. **Engenharia Rural**. (no prelo).
- VIEIRA, S.R.; TILLOTSON, P.M.; BIGGAR, J.W.; NIELSEN, D.R. Scaling of semivariograms and the Kriging estimation of field-measured properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p. 525-533, 1997.