

## ESTRATÉGIAS PARA REDUZIR A VAZÃO EM PROJETOS DE IRRIGAÇÃO

EDMAR J. SCALOPPI

Eng. Agrônomo, Prof. Titular, Depto. Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP, Botucatu – SP, Fone (0xx14)38117165, edmar@fca.unesp.br

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia  
02 a 05 de julho de 2007 – Aracaju – SE

**RESUMO:** A demanda hídrica das culturas, em geral, constitui o parâmetro mais variável requerido no dimensionamento de sistemas de irrigação. As incorreções metodológicas, associadas às dificuldades para interpretação de sua real importância no dimensionamento, acabam determinando valores, em geral superestimados, que comprometem a economia e o desempenho hidráulico dos sistemas. No presente trabalho, são sugeridos procedimentos para a redução da vazão, a partir de um tratamento estatístico adequado aos dados de evapotranspiração de referência e precipitação efetiva. Também, foi considerada a capacidade de armazenamento de água disponível no solo, para utilização durante o período crítico. O procedimento resultou em significativa redução na capacidade instalada dos projetos de irrigação, utilizando-se tanto a evapotranspiração quanto a precipitação estimados a 70% de probabilidade de ocorrência e intervalo de 5 dias. O programa computacional apresenta ainda como alternativa, o aumento no período efetivo de operação da unidade de bombeamento, para suplementar a demanda máxima de água observada nos períodos críticos, principalmente em culturas anuais.

**PALAVRAS-CHAVE:** demanda hídrica, economia de água, irrigação

### STRATEGIES TO REDUCE DISCHARGE IN IRRIGATION SYSTEM DESIGN

**ABSTRACT:** Peak water demand, as used to determine the capacity of irrigation systems, in general, constitute the most variable parameter observed in the design of any irrigation system. The use of incorrect procedure, associated with the difficulties to correctly interpret its importance to the design of irrigation systems, overall lead to overestimated values of evapotranspiration, which interferes negatively in the hydraulic performance of the irrigation systems. This work proposes a procedure to reduce discharge in irrigation system design, based on an adequate statistic treatment of the estimated evapotranspiration and the effective rainfall. It uses the available soil water storage capacity or, instead, the increase in the effective operation period of the pumping plant, to supply the water demand required beyond system capacity which occurs during critical periods, mainly in annual irrigated crops.

**KEYWORDS:** water demand, water saving, irrigation

### INTRODUÇÃO

A demanda hídrica das culturas contribui para determinar a vazão de sistemas de irrigação, afetando, portanto, as dimensões das estruturas de captação, bombeamento, condução e distribuição de água. Assim, há um grande interesse econômico em reduzir a vazão, sem comprometer o fornecimento satisfatório de água às culturas irrigadas.

Heermann et al. (1974) determinaram a capacidade de sistemas de irrigação pivô central para a

região leste do Colorado, EUA, através de simulações. Os resultados revelaram que sistemas dimensionados para 75% dos valores máximos da ET intermediados em períodos de 5 dias, tiveram a demanda hídrica satisfeita em 99% das oportunidades.

O dimensionamento econômico de sistemas de irrigação deveria ser conduzido em função de demandas hídricas baseadas em probabilidades de ocorrência variáveis entre 50 e 90%. Jensen et al. (1990) admitiram que para culturas mais valorizadas, com sistema radicular superficial, um valor entre 80 e 90% poderia ser criteriosamente adotado.

Este trabalho teve por objetivo sugerir estratégias de dimensionamento e manejo que pudessem resultar na redução da vazão em projetos de irrigação. Assim, os dados estimados de evapotranspiração de referência e precipitação efetiva foram ajustados em função de critérios probabilísticos e intervalo de determinação. Também, utilizou-se o solo como um reservatório para água disponível, para utilização durante o período crítico em exigência hídrica. Alternativamente, foi sugerido um aumento no período de operação da unidade de bombeamento.

## CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS E COMPUTACIONAIS

A evapotranspiração de referência foi estimada pela equação de Penman-Monteith. Os dados meteorológicos foram obtidos na Base de Dados do Posto Agrometeorológico da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, em Piracicaba, SP, registrados entre 1981 e 2000, no período de 120 dias, compreendido entre 01 de agosto e 28 de novembro. Em inúmeras regiões, este período deve corresponder à demanda hídrica máxima para dimensionamento de sistemas de irrigação, uma vez que o período crítico das culturas se manifestaria em outubro, em geral, caracterizado por demandas relativamente elevadas e pluviometria ainda insuficiente.

Uma vez calculada a evapotranspiração diária, agrupada em intervalos pentadiais, aplicou-se um tratamento estatístico para o cálculo da probabilidade de ocorrência. Os coeficientes de cultura foram desdobrados (Wright, 1982; Jensen et al., 1990) para incluir a contribuição direta da evaporação da água no solo. A precipitação efetiva utilizada, neste trabalho, seguiu a definição de Jensen et al. (1990) como a fração da precipitação total que contribui às exigências hídricas das culturas.

A introdução de um tratamento estatístico apropriado aos dados de precipitação efetiva origina a precipitação efetiva provável, aqui definida pela precipitação mínima, associada a determinado nível de probabilidade, resultante da análise de uma série histórica de dados. A estimativa, baseada na probabilidade do valor exceder ou não determinado nível de ocorrência, baseou-se no agrupamento dos valores amostrados em intervalos de classes. Assim, a frequência acumulada indica as probabilidades correspondentes a cada intervalo de classe.

Diversos procedimentos analíticos têm sido propostos para representar a precipitação. Porém, a distribuição gama incompleta parece desfrutar da preferência dos pesquisadores, em estimativas diárias, semanais, mensais e anuais (Haan, 1977). A significância estatística do emprego da função gama para representar os dados originais de precipitação foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, cuja aplicação encontra-se suficientemente detalhada em Haan (1977).

Os dados de precipitação diária, mesmo agrupados em pênadas, a 70% de probabilidade de ocorrência, não excederam 10 mm. Por essa razão, as precipitações efetivas foram igualadas às precipitações totais, pela improbabilidade da ocorrência de deflúvio superficial ou subsuperficial.

Para computar o momento adequado de reposição de água ao solo, para utilização futura, é necessário calcular, primeiramente, a quantidade de água excedente à capacidade do sistema. Em seguida, calcula-se o período para satisfazer essa quantidade, na fase inicial, enquanto a

capacidade do sistema for superior à demanda hídrica. O cálculo dessas quantidades de água baseou-se na técnica de integração numérica, utilizando-se a regra do trapézio (Kreyszig, 1979).

Um programa computacional foi implementado em linguagem C, para processamento no software comercial Borland Turbo C<sup>++</sup>. Inicialmente, o programa determina os valores diários da evapotranspiração de referência. Em seguida, agrupa esses valores e os de precipitação em intervalos pentadiais. Aos dados originais de precipitação, ajusta-se o modelo de distribuição gama incompleto para estimativas probabilísticas. O programa inicialmente calcula o balanço hídrico totalizado em cada pântada, através da seguinte equação:

$$\text{Bal} = A + I + (\text{Pe})_p - kc (\text{Etr})_p$$

onde Bal = balanço de água no solo; A = armazenamento de água no solo; I = irrigação aplicada;  $(\text{Pe})_p$  = precipitação efetiva ao nível de probabilidade considerado; kc = coeficiente de cultura; e  $(\text{Etr})_p$  = evapotranspiração de referência ao nível de probabilidade considerado.

O procedimento utiliza a técnica de splines cúbicas para determinar os dias nos quais as razões de demanda e de capacidade do sistema coincidem, definindo assim, o intervalo no qual a vazão do sistema deverá ser inferior à demanda hídrica da cultura. Identificados o início e o final desse período, a técnica de splines cúbicas é novamente aplicada para interpolar os valores de demanda hídrica em dez intervalos equidistantes neste período. A regra do trapézio é implementada para integrar numericamente os valores excedentes de evapotranspiração, em relação à capacidade do sistema, resultando no volume deficitário. A seguir, determina-se o início do período de armazenamento de água no solo.

A estratégia de irrigação adotada baseou-se na redução da frequência e aumento da lâmina de aplicação, para minimizar as perdas por evaporação que ocorrem, notadamente nos estádios iniciais de crescimento. As lâminas aplicadas não deveriam exceder a capacidade máxima de armazenamento de água disponível no ambiente radicular.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados correspondentes aos valores obtidos da evapotranspiração de referência, coeficientes de cultura, evapotranspiração, precipitação efetiva, irrigação, e o conseqüente balanço de água no solo, acumulados em cada pântada, estão anotados na Tabela 1. Deve-se destacar, que esses valores, computados a 70% de probabilidade de ocorrência, foram nulos ou negativos, indicando a necessidade de reposição artificial de água ao solo.

Deve-se observar na Tabela 1, que as lâminas correspondentes às irrigações foram aplicadas ao final das pântadas. Assim, os coeficientes de cultura (kc) nas pântadas subseqüentes foram computados com a superfície do solo úmida, aumentando, portanto, a evaporação.

A soma da demanda hídrica totalizou 429 mm, dos quais, 73 mm supridos pelas chuvas, resultando em um valor médio de 2,97 mm/d, ou 14,8 mm/pântada. Esse valor significa que, sendo possível promover armazenamentos de água disponível, a partir do plantio, sem exceder a capacidade de armazenamento no solo, a vazão do sistema de irrigação poderia ser calculada para proporcionar uma dotação líquida de 2,97 mm/d, sem a previsão de deficiência hídrica à cultura.

Para demonstrar a versatilidade do procedimento proposto, optou-se por uma dotação de 3,2 mm/d, ou 16 mm/pântada, o que corresponde a 63% da máxima evapotranspiração estimada para a 19ª pântada (5,08 mm/d). Em seguida, simulou-se a seqüência de irrigações para satisfazer a demanda atual e futura, em função do armazenamento de água disponível no solo.

Tabela 1. Valores pentadiais da evapotranspiração de referência (Etr), coeficientes de cultura (kc), evapotranspiração (Et), precipitação efetiva (Ppt.), irrigações (Irr.), e balanço de água no solo (Bal.), ao nível de 70% de probabilidade de ocorrência.

Pêntada	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Etr -mm	15,1	16,2	17,4	16,9	18,9	19,3	18,7	19,4	21,5	19,3	20,9	18,9
kc	0,73	0,40	0,42	0,75	0,48	0,78	0,56	0,83	0,67	0,90	0,85	0,99
Et - mm	10,9	6,5	7,3	12,7	9,1	15,2	10,5	16,1	14,4	17,4	17,8	18,6
Ppt.-mm	0	0	0	0	2	1	1	2	2	2	2	2
Irr. -mm	10,0	0,0	14,7	0,0	19,8	0,0	23,6	0,0	26,5	0,0	31,2	0,0
Bal. mm	-0,9	-7,4	0,0	-12,7	0,0	-14,1	0,0	-14,1	0,0	-15,4	0,0	-16,6
Pêntada	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Etr -mm	22,5	22,2	22,5	21,9	23,0	22,5	24,2	23,1	22,9	23,1	23,4	23,2
kc	0,97	1,03	1,03	1,04	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01	0,97	0,80	0,88
Et - mm	21,8	22,9	23,2	22,9	24,2	23,6	25,4	24,0	23,1	22,5	18,7	20,3
Ppt.-mm	2	4	3	9	2	5	5	3	10	5	4	7
Irr.- mm	36,4	0,0	39,1	0,0	36,1	0,0	39,0	0,0	34,1	0,0	32,2	0,0
Bal. mm	0,0	-18,9	0,0	-13,9	0,0	-18,6	0,0	-21,0	0,0	-17,5	0,0	-13,3

Os dados de balanço hídrico na Tabela 1 revelam que a partir da 12<sup>a</sup> até praticamente a 22<sup>a</sup> pênstada, parte da quantidade de água requerida deverá ser suprida pelo solo. O total de deficiência hídrica, computada pela diferença entre a demanda atual e a capacidade instalada do sistema de irrigação, atingiu 29,4 mm. Deve-se observar, que a capacidade de água disponível no solo está estimada em 32 mm, superior, portanto, à quantidade deficitária.

Para se determinar o período de incorporação de água disponível ao solo, com objetivo de complementar o fornecimento durante o período crítico, empregou-se novamente a técnica de splines cúbicas. Os resultados, indicados na Figura 1, revelam que a deficiência hídrica inicia-se na 11,7<sup>a</sup> pênstada, aos 59 dias após o plantio, e termina na 22,8<sup>a</sup> pênstada, aos 114 dias após o plantio. O volume deficitário de água foi estimado em 294 m<sup>3</sup>/ha. Processando-se a partir do início do período de deficiência, e regredindo em direção à data de plantio, a técnica de splines cúbicas revelou que para suprir àquele volume deficitário, a reposição de água ao solo deve iniciar-se na 4<sup>a</sup> pênstada, ou praticamente aos 20 dias após o plantio.

O valor 3,2 mm/d, sugerido para a dotação de um sistema de irrigação instalado na região, parece não encontrar precedente na literatura especializada. Uma redução de 37%, em relação ao critério tradicionalmente utilizado, que emprega a evapotranspiração máxima como referência, é muito significativa e deve resultar em grandes benefícios à irrigação.

A possibilidade de utilizar o procedimento proposto no dimensionamento de sistemas de irrigação é facilmente reconhecida. Além disso, o fato de requerer um programa computacional muito simples para implementar seu processamento, adiciona um esforço pouco significativo ao programa de simulação aplicativo, que deverá se beneficiar da representação analítica referida.

Uma outra alternativa possível de ser adotada consiste no aumento do tempo de aplicação de água durante o período no qual a demanda hídrica supera a capacidade instalada do sistema de irrigação. Nesse caso, as irrigações são conduzidas sem a necessidade de incorporação de quantidades adicionais de água para utilização futura. A razão entre a demanda atual e a

capacidade instalada do sistema define o número que deve ser multiplicado pelo tempo de operação normal de aplicação de água para satisfazer a demanda hídrica.

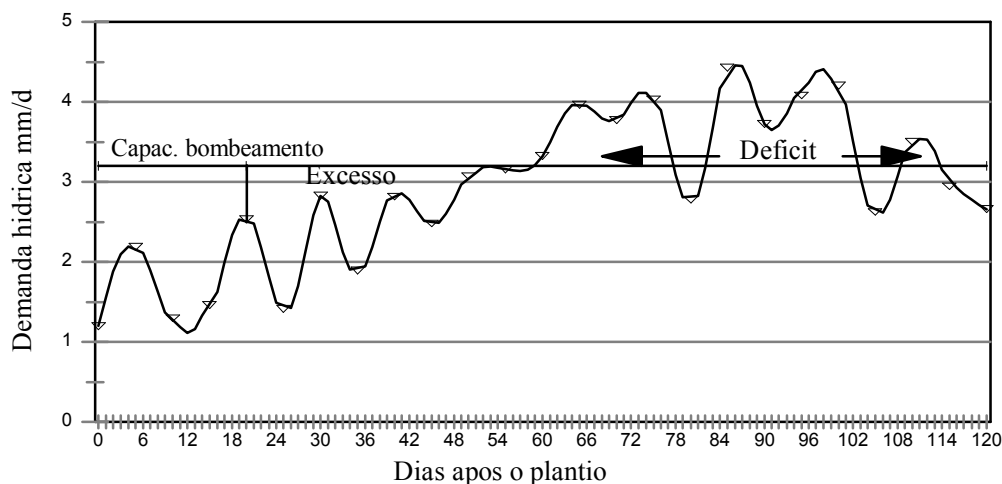


Figura 1. Curvas de demanda hídrica e capacidade de bombeamento de uma cultura hipotética, mostrando os períodos com volumes equivalentes de excesso e déficit de água.

## CONCLUSÕES

A frequência de irrigação afeta significativamente a demanda hídrica das culturas irrigadas. Por essa razão, tem sido recomendado que a demanda hídrica em projetos de irrigação deveria ser determinada após a execução de balanços hídricos, nos quais, as irrigações poderiam ser simuladas. Ao mesmo tempo, a possibilidade de submeter a evapotranspiração e a precipitação a um tratamento estatístico e armazenar água disponível no solo, para utilização durante o período crítico, ou o aumento do tempo de operação da unidade de bombeamento, podem contribuir para uma significativa redução da vazão nos projetos de irrigação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Haan, C.T. Statistical methods in hydrology. The Iowa State Univ. Press, Ames, 1977. 378 p.
- Hatfield, J.L ; Allen, R.G. Evapotranspiration estimates under deficient water supplies. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, v.122, n.5, p.301-308, 1996.
- Heermann, D.F.; Shull, H.H. Mickelson, R.H. Center pivot design capacities in eastern Colorado. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, v.100, n.2, p.127-141, 1974.
- Jensen, M.E.; Burman, R.D; Allen, R.G. (eds.). Consumptive use of water and irrigation water requirements. ASCE, New York, NY, 1990, 331 p.
- Kreyszig, E. Advanced engineering mathematics. Fourth Ed., John Wiley & Sons, New York, 1979, 939 p.
- Wright, J.L. 1982. New evapotranspiration crop coefficients. Journal of the Irrigation and the Drainage Division, ASCE, v.108, n.1, p.57-74.