

Critério econômico para a determinação do tempo ótimo de aplicação de água em irrigação por sulcos com drenagem livre

E. R. Detomini¹, W. de Oliveira², C. F. da Silva³, J. A. Frizzone⁴

RESUMO: O uso de critérios econômicos na tomada de decisão em sistemas agrícolas irrigados é fundamental para a racionalização do uso da água com o máximo retorno do investimento. Este trabalho tem por objetivo apresentar uma metodologia capaz de quantificar o tempo ótimo de aplicação de lâmina d'água em irrigação por sulcos de tamanho definido e com drenagem livre na extremidade final. A metodologia proposta pode ser generalizada para diversas situações; estando basicamente alicerçada em: a) função de produção (lâmina total *versus* produção); b) duração de cada fase fenológica, com o respectivo coeficiente de cultura (Kc); c) parâmetros inerentes à equação de avanço e às infiltrações em cada trecho; e d) informações sobre os preços do produto comercializável e sobre os custos da água (se esta for cobrada) e dos demais envolvidos na produção. Por se tratar de um modelo genérico, os valores específicos dos parâmetros e dos atributos apresentados deverão ser sugeridos pelo usuário. O resultado deverá mostrar um tempo de aplicação referente ao máximo lucro médio, o qual é obtido dos diferentes cenários de déficit provocados, que por sua vez correspondem a diferentes frações da lâmina requerida sendo infiltrada na extremidade final do sulco.

PALAVRAS-CHAVE: modelagem, infiltração, lucro médio máximo

Economical criteria to estimate optimal time of water supply in furrow irrigation

SUMMARY: In terms of irrigated agricultural systems decision making, economical criteria is essential in order to rationalize the using of water with the highest investment payback. The goal of this work is to present a method allowing calculating the optimal time of water supply in furrow irrigation with free drainage in the final portion of it. The purposed method might be generalized to lots of situations; being basically explained by: a) production function (total water versus production); b) lasting of each phenological periods with the corresponding crop coefficients; c) parameters regarding to front equation and infiltration; and d) information related to price of marketable products and to costs water (when this is priced) and the remain ones related to production. By being a theoretical model, the specific values of parameters and

¹ Engenheiro Agrônomo, M.Sc. Doutorando em Irrigação e Drenagem (Bolsista do CNPq), Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Av. Pádua Dias, 11. CEP 13418-900, Piracicaba, SP. (19) 3429 4217 (ramal 223). e-mail: detomini@esalq.usp.br

² Engenheiro Civil, Mestrando em Irrigação e Drenagem, Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

³ Engenheiro Agrônomo, Mestrando em Irrigação e Drenagem, Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

⁴ Professor Titular, Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

attributes should be particularly provided or suggested from users. The outputs to be obtained should denote a water supply time regarding to maximum mean net income, which is obtained from different scenarios of water deficits, which are corresponding to different fraction of water that is required to be infiltrated in the final portion of the furrow.

KEYWORDS: modeling, infiltration, maximum net income

INTRODUÇÃO

O conceito clássico sobre o tempo de aplicação de água em irrigação por sulcos (por gravidade) menciona que este tempo deve contemplar uma fase de reposição que dure o suficiente para que a lâmina de irrigação requerida seja infiltrada no final do sulco ou da parcela (Criddle et al, 1956). Porém, o conceito econômico enfatiza que a aplicação de água deve continuar enquanto o acréscimo nos benefícios superar os acréscimos nos custos; ou seja, visando à maximização do lucro, a aplicação de água deve continuar até o momento em que a receita marginal se iguale ao custo marginal (Varian, 1999; Frizzzone, 2005).

Conforme Scaloppi (2003), o tempo de aplicação de água deveria, a rigor, ser estabelecido em função de critérios econômicos, embora estes sejam reconhecidamente mais complexos de serem atribuídos. Utilizando uma função de produção, é possível verificar qual lâmina se refere àquela que maximiza a produção por unidade de área. Como em irrigação por superfície a variação do perfil de infiltração é, normalmente, caracterizada pela distribuição potência (Frizzzone, 2000), haverá uma produção específica em cada trecho do sulco, resultando em receitas brutas e custos diferenciados ao longo desse sulco. Se diferentes cenários de déficit infiltração no final do sulco forem criados, diferentes receitas brutas, custos e lucros poderão ser também gerados em cada cenário e em cada trecho do sulco, implicando na existência de um lucro médio máximo correspondente a algum desses cenários.

Desta forma, faz-se necessário elaborar um algoritmo que permita a determinação do lucro médio máximo. O objetivo deste trabalho é propor, para sistemas de irrigação por gravidade em sulcos com drenagem livre em suas extremidades finais, um modelo genérico capaz de determinar o tempo ótimo de aplicação de água, utilizando-se para tanto um critério econômico conjuntamente à contemplação de atributos técnicos.

DESENVOLVIMENTO DO MODELO

A estimativa de produção da cultura é realizada a partir de uma função de resposta da cultura à lâmina de água total aplicada ao longo do ciclo, contanto que os demais fatores

permaneçam fixos, em níveis adequados. Tanto o excesso quanto a escassez de água resulta em perdas de rendimento, resultando na seguinte função de produção:

$$Y = a \cdot W^{0,5} + b \cdot W + c, \text{ sendo } a, b \text{ e } c \text{ parâmetros empíricos} \quad (1)$$

O ponto de máxima da derivada da equação 1 fornece:

$$W_{T_{disp}} = \left[\frac{-2 \cdot b}{a} \right]^2 \quad (2)$$

em que $W_{T_{disp}}$ se refere à lâmina (mm) total disponível a todo o ciclo da cultura. Essa lâmina deve ser subdividida em lâminas menores (W_{FF_k} , m), de acordo com cada fase fenológica da cultura, através do seguinte subsídio teórico de proposição de manejo:

$$W_{FF_k} = 0,001 \cdot \frac{Kc_k}{Kc_{máx}} \cdot \frac{D_{FF_k}}{D_{T_c}} \cdot \left(W_{T_{disp}} + \sum_{l=1}^5 W_{R_l} \right) \quad (3)$$

em que $\sum_{l=1}^5 W_{R_l}$ é um algoritmo de proporcionalização da lâmina $W_{T_{disp}}$; Kc_k se refere ao coeficiente de cultura da k -ésima fase fenológica; $Kc_{máx}$ ao valor do máximo Kc_k ; D_{FF_k} à duração (dias) da k -ésima fase fenológica; D_{T_c} à duração total (dias) do ciclo da cultura.

O número de irrigações disponível (N_{irr_k}) em cada fase fenológica será, então:

$$N_{irr_k} = \frac{W_{FF_k}}{W_{njk}}; \quad N_{irr_k} \in I \quad (4)$$

em que W_{njk} se refere à lâmina (m) que deverá ser infiltrada na porção final do sulco ($i = n$), após a fase de avanço, em um cenário inicial ($j = 0$) no qual não há déficit de água.

Como critério prático de manejo, as seguintes condições podem ser estabelecidas:

$$\begin{aligned} SE \quad k=1; \quad W_{n0k} &\leq 0,010 \\ SE \quad k=2; \quad 0,010 &\leq W_{n0k} \leq 0,020 \\ SE \quad k \geq 3; \quad 0,030 &\leq W_{n0k} \leq 0,050 \end{aligned} \quad (5)$$

O tempo (T_{n0k} , min) de oportunidade de infiltração da lâmina “ótima técnica” é:

$$\text{Kostiakov: } T_{n0k} = \left(\frac{W_{n0k}}{\beta} \right)^{1/\alpha}, \text{ sendo } \beta \text{ e } \alpha \text{ parâmetros empíricos} \quad (6)$$

A receita bruta (RB_{ij} , R\$.ha⁻¹) de um i -ésimo trecho, em um j -ésimo cenário de déficit é:

$$RB_{ij} = Y_{ij} \cdot Pr_{p_d} \quad (7)$$

em que Y_{ij} se refere ao rendimento (kg.ha⁻¹) da cultura no i -ésimo trecho, no j -ésimo cenário de déficit; e Pr_{p_d} ao preço de venda do produto (R\$.kg⁻¹) já deflacionado.

Dispondo-se de uma série histórica de preços de venda do produto, pode-se gerar uma curva de distribuição de probabilidade normal para esses preços; embora se faça necessário, primeiramente, deflacionar cada valor de preço da série histórica, para que se possa compará-los desconsiderando o efeito das diferentes taxas de inflação nos diversos períodos. Isso pode ser calculado utilizando-se o deflator IGP – DI (disponibilizado pela FGV).

O cálculo pode ser feito conforme o seguinte raciocínio:

$$Pr_{p_d} = Pr_{p_{sh}} \cdot \frac{D_a}{D_{Pr_{p_{sh}}}} \quad (8)$$

em que $Pr_{p_{sh}}$ se refere ao preço nominal do produto (R\$.kg⁻¹); D_a ao deflator atual (referente ao mês tomado como base); e $D_{Pr_{p_{sh}}}$ ao deflator do mês corrente.

Substituindo a equação 1 na equação 7, e considerando as lâminas de manejo:

$$RB_{ij} = \left[a \cdot \left(\sum_{k=1}^n W_{ijk} \right)^{0,5} + b \cdot \left(\sum_{k=1}^n W_{ijk} \right) + c \right] \cdot Pr_{p_d} \quad (9)$$

em que $\sum_{k=1}^n W_{ijk}$ se refere à somatória das lâminas (mm) das n fases “ k ”, as quais infiltram em um i -ésimo trecho, em um j -ésimo cenário de déficit. Essa somatória é assim calculada:

$$\left(\sum_{k=1}^n W_{ijk} \right) = 1000 \cdot (N_{irr_1} \cdot W_{ij1} + N_{irr_2} \cdot W_{ij2} + \dots + N_{irr_n} \cdot W_{ijn}) \quad (10)$$

em que N_{irr_1} , N_{irr_2} e N_{irr_n} se referem ao número de eventos de irrigação na primeira, na segunda e na n -ésima fase fenológica, respectivamente; e W_{ij1} , W_{ij2} e W_{ijn} às lâminas d’água (mm) que infiltram no i -ésimo trecho, no j -ésimo cenário de déficit, nas fases 1, 2 e n , respectivamente. Para a k -ésima fase fenológica, essas lâminas são assim calculadas:

$$W_{ijk} = \beta \cdot \left[t_{av} - t_{X_i} + \left(\frac{\delta_j \cdot W_{n0k}}{\beta} \right)^{1/\alpha} \right]^\alpha \quad (11)$$

em que t_{av} é o tempo de avanço (min); δ_j ao j -ésimo cenário de déficit, referente à fração da lâmina requerida que irá infiltrar no final do sulco (X : comprimento do sulco, m), sendo:

$$\delta_j = \frac{X - j}{X} \quad (12)$$

A lâmina que deverá ser computada no custo, de cada trecho de cada cenário, deverá ser aquela que infiltra no trecho mais a lâmina que escoar no final do sulco, a qual é dada pelo produto da lâmina média ($\bar{W}_{a_{jk}}$, mm) pelo volume adimensional escoado ($\forall_{e_{jk}}$). O custo total (CT_{ij} , R\$.ha⁻¹) de um i -ésimo trecho, em um j -ésimo cenário de déficit, será calculado por:

$$CT_{ij} = 10 \cdot Pr_W \cdot \left[\left(\sum_{k=1}^n W_{ijk} \right) + \frac{\bar{W}_{a_{jk}} \cdot \nabla e_{jk}}{n} \right] + \frac{CW_{jk}}{n} + \frac{CO}{n} \quad (13)$$

em que Pr_W se refere ao preço da água (R\$.m⁻³); n ao número de trechos discretizados; CW_{jk} ao custo de produção (R\$.ha⁻¹) referente aos fatores envolvidos com a irrigação (inclui a bomba selecionada, energia elétrica, etc.); e CO aos demais custos de produção (R\$.ha⁻¹).

Em cada fase k , a lâmina média aplicada em cada cenário é dada por:

$$\bar{W}_{a_{jk}} = \frac{60 \cdot q \cdot ta_{jk}}{X \cdot E} \quad (14)$$

em que q se refere à vazão (l.s⁻¹) unitária em cada sulco; E ao espaçamento (m) entre sulcos; e ta_{jk} ao tempo (min) total de aplicação da lâmina $\bar{W}_{a_{jk}}$, que será, portanto, assim calculado:

$$ta_{jk} = t_{av} + \left(\frac{\delta_j \cdot W_{n0k}}{\beta} \right)^{1/\alpha} \quad (15)$$

A integração das lâminas infiltradas após a porção final do sulco, seguindo distribuição potencial, caracteriza o volume total escoado (na forma adimensional):

$$\nabla_{e_{jk}} = \int_1^{Fe_{jk}} (\mu_{jk} + \varphi_{jk} \cdot F_{jk}^{d_{jk}}) \cdot dF_{jk} \quad (16)$$

em que μ_{jk} , φ_{jk} e d_{jk} são os parâmetros empíricos; e Fe_{jk} o atributo referente à fração do sulco onde infiltra no mínimo a lâmina escoada. Pode-se estimá-los da seguinte maneira:

$$\mu_{jk} = \frac{W_{0jk}}{\bar{W}_{jk}} \quad (17); \quad \varphi_{jk} = - \left(\frac{W_{0jk}}{\bar{W}_{jk}} - \frac{W_{njk}}{\bar{W}_{jk}} \right) \quad (18); \quad d_{jk} = \frac{1 - \left(\frac{W_{njk}}{\bar{W}_{jk}} \right)}{\left(\frac{W_{0jk}}{\bar{W}_{jk}} \right) - 1} \quad (19); \quad e \quad Fe_{jk} = \left(\frac{\mu_{jk}}{\varphi_{jk}} \right)^{1/d_{jk}} \quad (20)$$

sendo que a lâmina média (\bar{W}_{jk} , m) de todos os trechos do j -ésimo cenário, em cada fase:

$$\bar{W}_{jk} = \frac{\beta}{n} \cdot \sum_{i=1}^n T_{ijk}^\alpha \quad (21)$$

Os lucros (π_{ij} , R\$.ha⁻¹) em cada trecho i de cada cenário j é:

$$\pi_{ij} = RB_{ij} - CT_{ij} \quad (22)$$

Em cada cenário j , o lucro médio ($\bar{\pi}_j$, R\$.ha⁻¹) dos trechos é então calculado:

$$\bar{\pi}_j = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \pi_{ij} \quad (23)$$

Sugere-se a seguinte forma funcional para caracterizar δ_j versus $\bar{\pi}_j$:

$$\overline{\pi_j} = \xi \cdot \delta_j^{0.5} + \zeta \cdot \delta_j, \text{ sendo } \xi \text{ e } \zeta \text{ são os parâmetros empíricos} \quad (24)$$

O máximo lucro médio máximo é obtido pelo ponto de máxima da equação 24:

$$\delta_{\pi_{\max}} \approx \left[\frac{-2 \cdot \zeta}{\xi} \right]^2; \delta_{\pi_{\max}} \in I \quad (25)$$

Finalizando, para cada fase, tem-se o tempo ótimo de aplicação ($ta_{k_{\pi_{\max}}}$, min):

$$ta_{k_{\pi_{\max}}} = t_{av} + \left(\frac{\delta_{\pi_{\max}} \cdot W_{n0k}}{\beta} \right)^{1/\alpha} \quad (26)$$

O tempo de aplicação ótimo será, portanto, a soma do tempo de avanço com o tempo de oportunidade de uma fração da lâmina que infiltra no último trecho ($i = n$) do cenário inicial ($j = 0$) da k -ésima fase fenológica, fração essa representada pelo fator $\delta_{\pi_{\max}}$.

Em síntese, diferentes frações de lâmina referente à máxima produção implicam em diferentes déficits de água ao longo do sulco, os quais sugerem diferentes lucros unitários para cada trecho específico; existindo aquele correspondente ao lucro médio máximo. Diferentes vazões condicionam a diferentes situações de velocidade de infiltração, vindo a alterar os parâmetros da equação de avanço e os da de infiltração acumulada e, conseqüentemente, todos os perfis de infiltração e os cenários de déficit. Trabalhos futuros podem ser feitos no sentido de agregar uma análise de risco ao modelo proposto.

CONCLUSÕES

Por se tratar de um modelo genérico, a ferramenta apresentada pode ser utilizada para qualquer situação de irrigação por sulcos de tamanho definido e com drenagem livre na extremidade final, sendo que os valores específicos (de cada parâmetro ou atributo) deverão ser sugeridos ou provenientes de cada usuário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CRIDDLE, W.D.; DAVIS, S.; PAIR, C.H.; SHOCKELY, D.G. **Methods for evaluation irrigation systems**. Washington, D.C., SCS-USDA, 1956. 24p. (Agric. Handbook, 82).
- FRIZZONE, J.A. **Análise de decisão econômica em irrigação** – Irrigação e Drenagem (Série Didática, 17). Piracicaba: ESALQ/USP - Depto. Engenharia Rural, 2005. 371p.
- FRIZZONE, J.A. **Irrigação por superfície** – Irrigação e Drenagem. Piracicaba: ESALQ/USP - Depto. Engenharia Rural, 2000. 183p.
- SCALOPPI, E.J. Irrigação por superfície. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, C.R.M. **Irrigação**. (Série Engenharia Agrícola, 2). Piracicaba: FUNEP, 2003. p.311-470.
- VARIAN, H.R. **Microeconomia**: princípios básicos. Rio de Janeiro: Campus, 1999. 740p.