

DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO PARA FEIJÃO USANDO-SE SIMULAÇÃO DE LONGO PERÍODO

Rogério Teixeira de FARIA ¹, Marcos Vinícius FOLEGATTI ²

RESUMO

Dimensionou-se a capacidade de aplicação água de sistemas de pivô central para irrigação do feijoeiro no norte do Paraná. O modelo CROPGRO-BEANS foi usado para simular a produtividade dos cultivos de outono e primavera durante 22 anos de dados climáticos históricos e a maximização da renda líquida foi utilizada como função objetivo para otimizar vazões e manejo (lâmina e frequência de irrigação) do sistema. Concluiu-se que os equipamentos do tipo pivô central devem ser dimensionados com capacidade mínima de aplicação de $5,5 \text{ mm.dia}^{-1}$, ou vazão de $0,64 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$, e manejados com frequências de 2 a 3 dias, para que se obtenha máxima renda líquida e elevada eficiência de uso de água.

PALAVRAS-CHAVE: Irrigação, Simulação, Análise Econômica

INTRODUÇÃO

Em áreas irrigadas, a renda líquida dos cultivos pode ser otimizada aumentando-se a renda bruta, via aumento da produtividade, e decrescendo-se os custos, pela adoção de critérios racionais de manejo de água e dimensionamento de projetos. Na literatura, são muitos os estudos conduzidos com objetivo de estabelecer critérios para decisões do momento da irrigação e da lâmina a ser aplicada, visando maximizar a produtividade e racionalizar o uso de água, energia e trabalho. Em alguns desses estudos, a seleção das melhores estratégias de manejo de água são baseadas em critérios econômicos, como no estudo de Faria et al. (1997a), em que um modelo de simulação foi usado em simulações de longo período para selecionar níveis críticos de extração de água no solo, para a cultura do feijoeiro no norte do Paraná, usando-se a renda líquida como função objetivo.

Em situações de suprimento de água abundante, seria também racional dimensionar sistemas de irrigação em função de critérios econômicos, nos quais a vazão requerida seria restrita pelo investimento de capital com o equipamento de irrigação e pelo custo operacional da aplicação de

¹ PhD, Pesquisador III, Área de Engenharia Agrícola, IAPAR. Rod. Celso Garcia Cid, km 375, 86001-970, Londrina, PR. rtfaria@pr.gov.br

água. No Brasil, os sistemas de irrigação vem sendo dimensionados com capacidades de aplicação de água variando de 5 a 10 mm.dia⁻¹, dependendo da região (Favetta, 1998), porém usualmente esses valores não são obtidos por cálculos econômicos, mas por método climatológico, no qual determina-se a necessidade hídrica da cultura em função de dados climáticos históricos (evapotranspiração), e então calcula-se a vazão necessária do sistema para suprir a demanda hídrica estimada, em complementação à precipitação.

No presente trabalho, a capacidade de aplicação água em sistemas de pivô central foi dimensionada usando-se um modelo de simulação do crescimento de feijoeiro no norte do Paraná. A maximização da renda líquida foi utilizada como função objetivo para otimizar vazões e manejo (lâmina e frequência de irrigação) do sistema, durante os cultivos de outono e primavera.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se o modelo CROPGRO-BEANS (Hoogenboom, et al. 1994) para simular o desenvolvimento e a produtividade de cultivos de feijoeiro semeados no outono (15 de março) e primavera (15 agosto), durante os 22 anos da série histórica (1976-97) registrada na Estação Climática do IAPAR, em Londrina-PR. A cultivar IAPAR 57 foi caracterizada pelos coeficientes genéticos calibrados por Faria et al. (1997b) e o solo foi o Latossolo Roxo típico do norte do Paraná.

O programa principal CROPGRO.FOR e IRRIG.FOR, uma subrotina do módulo de balanço hídrico do modelo CROPGRO, foram modificados para considerar sistemas de pivô central com diferentes capacidades de aplicação de água e manejados com diferentes velocidades de rotação (frequências de irrigação), de acordo com a Tabela 1. O numero de simulações foi reduzido com a adoção da lâmina mínima de 5 mm, estabelecida por critérios da prática, e a lâmina máxima de 25 mm, correspondente à fração de água prontamente disponível na zona radicular efetiva. Nas simulações, o momento da irrigação foi dado pelo critério de se irrigar quando a extração de água do solo atingiu 60% da água disponível remanescente no solo na profundidade de 30 cm (Faria et al., 1997a). Se por esse critério a irrigação foi requerida em um intervalo menor que o estabelecido pela frequência mínima de manejo do sistema (Tabela 1), não houve aplicação de água e pode ter ocorrido estresse hídrico.

A renda líquida média durante os 22 anos foi obtida da soma dos valores da renda líquida de cada ano simulado (RL, em R\$.ha⁻¹), calculada por:

$$RL = \{ P.Y - C_t \} \quad (1)$$

² Dr, Professor Associado, Dep. Engenharia Rural, ESALQ/USP. Caixa Postal 9, 13418-900 - Piracicaba, SP

onde P é o preço do feijão (R\$), Y é a produtividade ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e C_t é o custo de produção ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), dado pela seguinte expressão:

$$C_t = C_0 + C_i \quad (2)$$

onde, C_0 é o custo fixo associado com a produção e C_i é o custo da irrigação (ambos em $\text{R}\$.ha^{-1}$).

O componente C_i foi calculado por:

$$C_i = C_c + C_w D \quad (3)$$

onde C_w é o custo operacional da irrigação ($\text{R}\$.mm^{-1}$), D é a lâmina total aplicada durante o ciclo (mm) e C_c é o custo de capital relacionado com investimentos do equipamento de irrigação ($\text{R}\$.ha^{-1}$), expresso por:

$$C_c = C_{inv} + C_d + C_j \quad (4)$$

sendo C_{inv} , C_d e C_j custos ($\text{R}\$.ha^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) correspondentes ao investimento, depreciação e juros do capital investido, respectivamente.

Tabela 1. Lâmina de irrigação (mm) de acordo com a capacidade de aplicação de água/vazão e frequência mínima dos sistemas de irrigação simulados.

Capacidade de aplicação de água/vazão		Frequência mínima (dias)					
		1	2	3	5	7	10
(mm.dia ⁻¹)	(l.s ⁻¹ .ha ⁻¹)	-	-	-	5	7	10
1	0,1157	-	-	-	5	7	10
2	0,2315	-	-	6	10	14	20
3	0,3472	-	6	9	15	21	-
4	0,4630	-	8	12	20	-	-
5	0,5787	5	10	15	25	-	-
6	0,6944	6	12	18	-	-	-
7	0,8102	7	14	21	-	-	-
8	0,9259	8	16	24	-	-	-

Os custos de investimento dos sistemas de irrigação simulados foram calculados com base nos dados de Favetta (1998), assumindo-se como condição média uma área irrigada de 62 ha, distância entre a captação e o centro da área irrigada de 1500 m e recalque de 50 m.c.a. Foram adotados taxa anual de juros de 10% e 15 anos de longevidade do equipamento, com valor residual nulo. Considerando-se duas safras anuais, o valor de C_c para cada cultivo foi a metade do valor calculado pela Equação 4.

Para o valor C_w , que incluiu os custos da água, energia e operacionais para aplicação da irrigação, foi adotado o valor de $\text{R}\$ 0,50 \text{ mm}^{-1}$, e para C_0 assumiu-se o custo de $\text{R}\$ 410 \text{ ha}^{-1}$ (Saad, 1996). Finalmente, o preço do feijão foi de $\text{R}\$ 0.71 \text{ kg}^{-1}$, correspondente à média dos preços históricos recebidos pelo produtor (Preços Agrícolas, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores simulados da lâmina total média aplicada foram mais elevados na primavera (Figura 1b) em comparação com o outono (Figura 1a), devido à coincidência dos estádios com altas taxas de desenvolvimento da cultura com períodos de maior demanda hídrica, ocorridas durante o período de final de setembro a meados de outubro. Observou-se que os resultados variaram com a capacidades de aplicação do sistema e com a frequência de irrigação. Para uma mesma frequência, a lâmina total aplicada aumentou com o aumento da capacidade do sistema. Os acréscimos da lâmina total foram mais acentuados a medida que a capacidade de aplicação foi aumentada até cerca de 3,5 mm.dia⁻¹ no cultivo de outono e até cerca 4,5 mm.dia⁻¹ no cultivo da primavera, estabilizando-se a partir de 4 e 5,5 mm.dia⁻¹, respectivamente. Para uma mesma capacidade do sistema, aplicações menos frequentes resultaram em maiores lâminas totais. Assim, para um sistema com capacidade de aplicação de 4 mm.dia⁻¹, durante o cultivo de outono, foram simuladas lâminas totais médias de 170 e 220 mm quando as irrigações foram aplicadas em frequências mínimas de 2 e 5 dias, respectivamente (Figura 1a). Para a primavera, o sistema com capacidade de 5 mm.dia⁻¹ aplicou lâminas totais médias de 260 e 305 mm para as frequências de irrigação de 1 e 3 dias, respectivamente (Figura 1b).

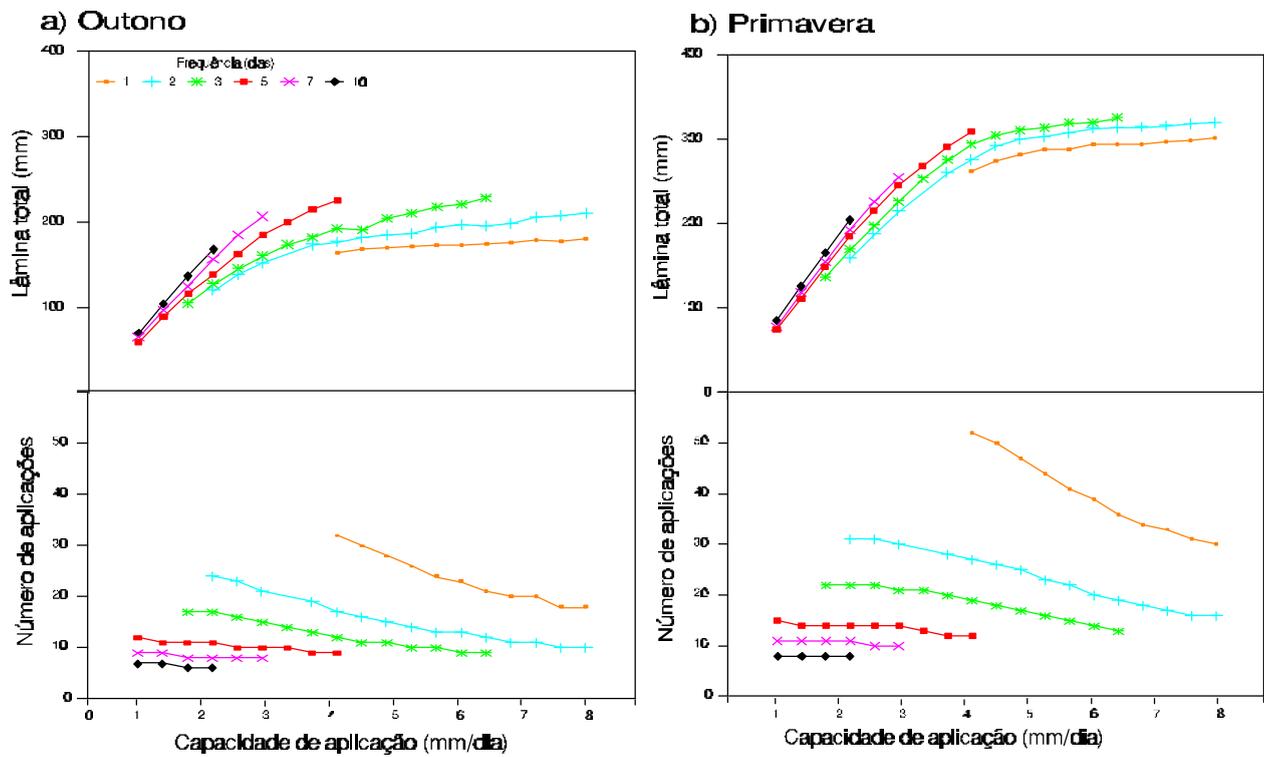
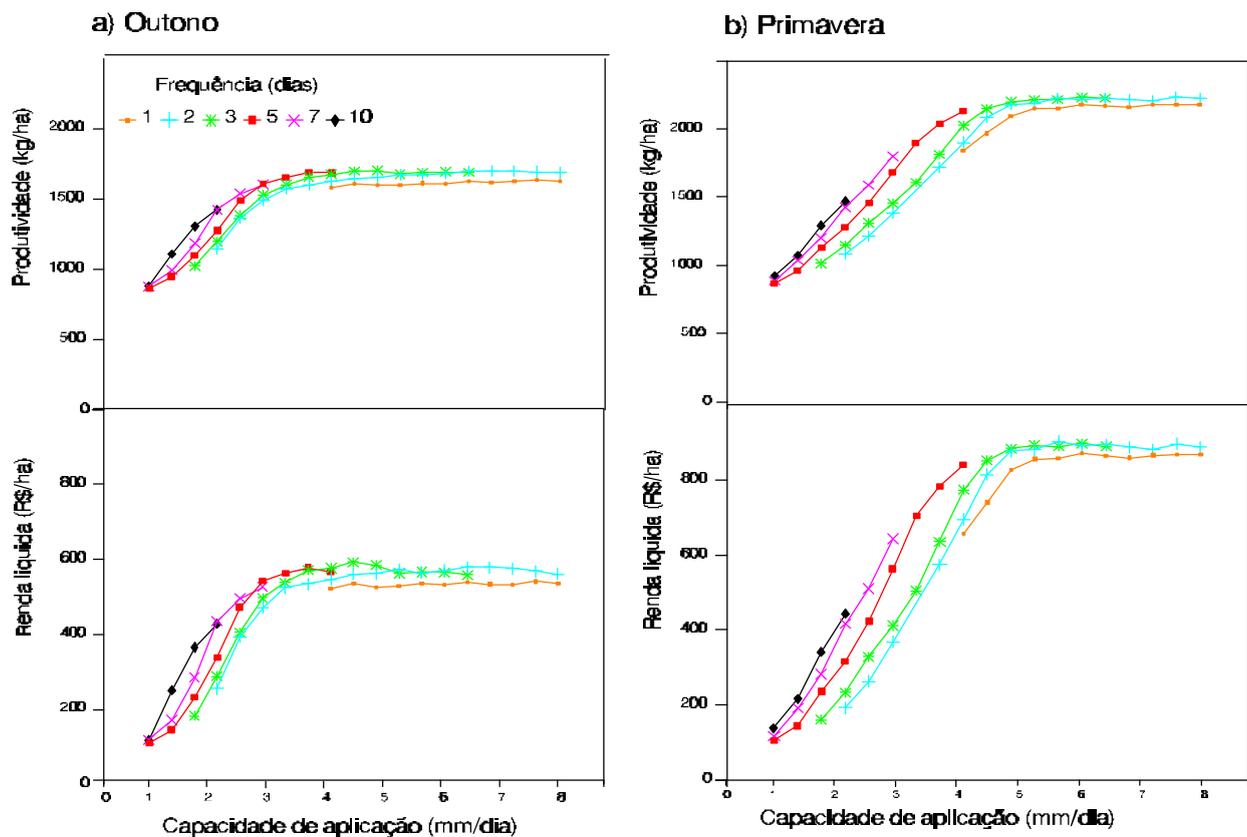


Figura 1. Lâmina total média e número médio de aplicações de irrigação simulados durante o período 1976-97, em duas épocas de semeadura de feijão irrigado por sistemas de diferentes capacidades de aplicação de água, operando com diferentes frequências de irrigação.

O número de irrigações praticamente não foi influenciado pela capacidade de aplicação do sistema quando foram adotadas frequências mínimas iguais ou maiores que 5 dias (Figura 1). Porém, para frequências de 1 a 3 dias, houve decréscimos do número aplicações com o aumento da capacidade do sistema. Assim, tomando-se o cultivo de primavera como exemplo, o número de aplicações decresceu em 34.6% (52 para 34 irrigações), quando dobrou-se a capacidade do sistema de 4 para 8 mm.dia⁻¹ (Figura 1b).

Maiores médias de produtividade foram simuladas na primavera (Figura 2b), em comparação com o outono (Figura 2a), devido às condições climáticas mais favoráveis ao desenvolvimento da cultura. Os valores cresceram abruptamente com o aumento da capacidade de aplicação do sistema de irrigação, estabilizando-se a partir de 3,5 e 4,5 mm.dia⁻¹, para os cultivos de outono e primavera, respectivamente. Os valores máximos corresponderam a 1700 no outono e 2200 kg.ha⁻¹ na primavera, para sistemas com capacidade de aplicação iguais a 4,5 e 5,5 mm.dia⁻¹, respectivamente. Os resultados indicam ainda que, para uma mesma capacidade de aplicação do sistema, a produtividade foi mais elevada quando as irrigações foram aplicadas com menor



frequência, sobretudo para sistemas de menor capacidade (Figura 2), devido à aplicação maior lâmina total, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 2. Produtividade e renda líquida médias simuladas durante o período 1976-97, em duas épocas de semeadura de feijão irrigado por sistemas de diferentes capacidades de aplicação de água, operando com diferentes frequências de irrigação.

Para explicar os efeitos da frequência de irrigação na produtividade e lâmina total simuladas, tomou-se como exemplo os resultados do balanço hídrico do cultivo em 1986, obtidos pela simulação de um sistema de irrigação com capacidade de aplicação igual a 4 mm.dia⁻¹, irrigando-se a diferentes frequências (Tabela 2). Considerando-se os manejos com frequência de 2 e 5 dias, uma vez atingido o valor crítico de umidade do solo, aplica-se 8 mm e 20 mm, respectivamente. Caso

ocorra uma alta precipitação antes de se completar os 5 dias, eleva-se a umidade do solo para ambas as condições de manejo. Como a irrigação é realizada somente quando se atingir novamente o valor crítico de umidade, tem-se, como consequência, uma lâmina acumulada maior no caso do manejo com frequência de 5 dias. Isto repetindo-se ao longo do ciclo resulta em lâminas totais mais elevadas a medida que se decresce a frequência de irrigação, como demonstrado na Tabela 2. Além disso, com a aplicação de lâminas maiores (aplicadas com menor frequência) mantém-se o solo com maior umidade e termina-se o ciclo de cultivo com teor mais elevado do que com aplicações de lâminas menores (aplicadas com maior frequência), como também apresentado na Tabela 2. No manejo aplicando-se lâminas menores (com alta frequência) tem-se a camada superficial do solo mais úmida, acarretando evaporação mais elevada, que por sua vez decresce a umidade disponível para a transpiração, resultando em deficiência hídrica e decréscimo de produtividade. Embora as aplicações menos frequentes mantenham o solo com maior umidade, não houve efeito no runoff, porém a drenagem foi mais elevada.

Tabela 2. Componentes do balanço hídrico (mm) resultantes da simulação de um sistema de irrigação com capacidade de aplicação de 4 mm.dia⁻¹, manejado com diferentes frequências durante o cultivo de feijão no outono em 1986.

Componente	Frequência (dias)				
	1	2	3	4	5
ETP	351	351	351	351	351
Precipitação	277	277	277	277	277
Irrigação	190	200	210	240	250
Irrigação efetiva	152	160	168	192	200
ΔS^*	47	51	48	60	65
Evapotranspiração	309	306	303	304	300
o					
Evaporação	218	207	189	191	178
Transpiração	92	100	114	114	121
Runoff	38	39	41	41	39
Drenagem	35	41	54	67	74

* variação de armazenamento de água no solo

Da mesma forma que os resultados de produtividade, os valores simulados da renda líquida também cresceram significativamente com o aumento da capacidade de aplicação do sistema de irrigação até 3,5 e 4,5 mm.dia⁻¹, e atingiram valores máximos (R\$ 592 e R\$ 902) para sistemas com capacidades de 4,5 e 5,5 mm.dia⁻¹, para os cultivos de outono e primavera, respectivamente (Figura 2). Os resultados demonstram ainda que não houve decréscimo da renda líquida com o aumento da capacidade do sistema além dos valores ótimos, apesar da maior lâmina total aplicada e maior custo

de investimento, indicando que o ganho de receita com o acréscimo de produtividade foi maior que o aumento do custo da irrigação.

Baseando-se somente no critério de maximização da renda líquida máxima, os resultados demonstram que há vantagens em se adotar sistemas com maior capacidade de aplicação de água. Portanto, sistemas com capacidade mínima de $5,5 \text{ mm.dia}^{-1}$, ou vazão $0,64 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$, suplementam adequadamente as necessidades hídricas das culturas de outono e primavera, proporcionando maior retorno econômico, desde que a vazão disponível no manancial para suprir o sistema seja suficiente. No entanto, se houver limitação de água para a irrigação, os resultados apresentados nas Figuras 1 a 2 possibilitam calcular as reduções de produtividade e receita em função da escolha de equipamentos de menor capacidade.

CONCLUSÃO

Para suprir as necessidades hídricas da cultura, aumentar a eficiência de uso de água e, conseqüentemente, maximizar o retorno econômico dos cultivos de feijão de outono e primavera, os sistemas de irrigação do tipo pivô central usados no norte do Paraná devem ser dimensionados com capacidade mínima de aplicação de $5,5 \text{ mm.dia}^{-1}$, ou vazão de $0,64 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$, e manejados com frequências de 2 a 3 dias.

BIBLIOGRAFIA

- FARIA, R. T. DE, FOLEGATTI, M. V., FRIZZONE, J. A., SAAD, A. M. Determination of a long-term irrigation strategy for dry beans in Paraná State-Brazil. *Scientia Agrícola*, 54 (número especial): 155-164. 1997a
- FARIA, R.T. DE, OLIVEIRA, D. DE, FOLEGATI, M.V. Simulação da fenologia e produção do feijoeiro pelo modelo BEANGRO. In: X Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 1997, Piracicaba-SP. Anais..., Piracicaba, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997b. p140-142.
- FAVETTA, G.M. Estudo econômico do sistema de adução em equipamentos de irrigação do tipo pivô central. ESALQ/USP, Piracicaba, 110 p. (Tese de Doutorado)
- HOOGENBOOM, G.; J.W. WHITE; J.W. JONES; K.J. BOOTE; W.T. BOWEN; N.B. PICKERING; & W.D. BACHELOR. CROPGRO-Dry Bean. In: Crop Models. DSSAT version 3. IBSNAT, Hawaii, 1994
- PREÇOS AGRÍCOLAS. ESALQ/USP, Piracicaba, n.126. 1997
- SAAD, A.M. O déficit de irrigação como estratégia de manejo da água em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). ESALQ/USP, Piracicaba-SP, 146 pp. 1996