

COEFICIENTE DE CULTURA E ANÁLISE DO RENDIMENTO DO FEJJOEIRO SOB REGIME DE IRRIGAÇÃO

Márcio José de Santana¹; Jacinto de Assunção Carvalho²; Messias José Bastos de Andrade²; José Carlos Braga³; Gilson Gerson Gervásio³

¹*Centro Federal de Educação Tecnológica de Uberaba, Uberaba, MG, marciosantana@cefetuberaba.edu.br*

²*Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG*

³*Centro Universitário de Patos de Minas, Faculdade Ciências Agrárias, Universidade de Patos de Minas, Patos de Minas, MG*

1 RESUMO

O feijoeiro é cultivado em muitas regiões como no Alto Paranaíba e Triângulo Mineiro, Minas Gerais, em três safras bem definidas: a) verão, quando a semeadura concentra-se nos meses de outubro e novembro, normalmente não necessitando de irrigação; b) safra da seca, cuja semeadura se concentra nos meses de março e abril, com necessidade de irrigações complementares; e, c) safra de inverno, quando a semeadura é realizada nos meses de maio a julho, sendo a irrigação imprescindível. O que deve ser levado em consideração é que os produtores ainda não se preocupam com o manejo adequado da água no solo, sendo que a quantidade de água aplicada é obtida com a experiência individual e empírica, resultando em valores que podem proporcionar lâminas inadequadas. A proposta deste trabalho é o estudo do efeito de diferentes níveis de reposição de água de irrigação, das épocas de suspensão da irrigação e valores de coeficiente de cultura para o feijoeiro comum cultivar Talismã, conduzida no município de Patos de Minas, MG. Os tratamentos constaram de 5 níveis de reposição de água no solo (40%, 70%, 100%, 130% e 160%) em função da lâmina para elevá-lo diariamente à capacidade de campo e 3 épocas de suspensão da irrigação (0, 7 e 14 dias após atingir o estágio R9 do ciclo cultural). O delineamento experimental foi um DBC (blocos casualizados), em esquema fatorial de 5x3, com 4 blocos. Foram avaliados a produtividade da cultura, o número e massa de grãos não colhidos, número de grãos por planta, vagens por planta e grãos por vagem, eficiência do uso da água e coeficientes de cultura (Kc). A produtividade da cultura foi afetada pelos níveis de reposição de água no solo (houve aumento da produtividade até reposição de 100%, com posterior queda) e pelas épocas de suspensão da irrigação, exceto na reposição de 100%. Lâminas deficitárias promoveram aumento no número e massa de grãos não colhidos. Lâminas, tanto deficitárias quanto excessivas, proporcionaram queda no número de grãos por vagem. As maiores médias da eficiência do uso da água, independente da época de suspensão da irrigação, foram verificadas em menores lâminas aplicadas no solo. Os valores de Kc observados para as fases inicial, I, II, III e IV foram respectivamente, 0,5; 0,53; 0,81; 1,07 e 0,78.

UNITERMOS: manejo de irrigação, Kc, tanque classe A.

SANTANA, M.J. de; CARVALHO, J. de A.; ANDRADE, M.J.B. de ; BRAGA, J.C.; GERVÁSIO, G.G. CROPPING COEFFICIENT AND YIELD ANALYSIS OF BEAN PLANT UNDER IRRIGATION MANAGEMENT

2 ABSTRACT

Bean plants are grown in many regions as in the Alto Paranaíba and Triângulo Mineiro, Minas Gerais, in three well defined crops: a) summertime, when sowing concentrates in the months of October and November, normally irrigation is not needed; b) drought crop, the sowing concentrates in the months of March and April, with need of complementary irrigations; and, c) wintertime crop, when sowing is performed in the months of May to July, irrigation is indispensable. It should be taken into account is that farmers have not yet worried about adequate water management in soil: the amount of water applied is obtained through individual and empirical experience, resulting into values which may provide inadequate water heights. The aim of this work is to study of effect of different levels of irrigation water replacement, irrigation suspension times and values of cropping coefficient for the common bean plant, cultivar Talismã, carried out in the town of Patos de Minas, MG. The treatments consisted of 5 (five) levels of water replacement in soil (40%, 70%, 100%, 130% and 160%) as related with the water height to raise it daily to the field capacity, and three irrigation suspension times (0, 7 and 14 days after reaching stage R9 of the crop cycle). The experimental design was a RBD (randomized blocks) in a factorial scheme of 5x3 with 4 blocks. Crop yield, the number and weight of unharvested grains, number of grains per plant, pods per plant and grains per pod, efficiency of water use and cropping coefficients (Kc) were evaluated. The crop yield was affected by the levels of water replacement in soil (there was an increase of yield till 100% replacement with a later fall) and by the irrigation suspension times except in 100% replacement. Deficit water heights promoted increase in the number and weight of unharvested grains. Water heights, both deficit and excessive caused fall of the number of grains per pod. The highest means of the efficiency of water use, regardless of the irrigation suspension time, were found in lower water heights applied into soil. The values of Kc observed for the following phases: initial I, I, II, III and IV were respectively, 0.5; 0.53; 0.81; 1.07 and 0.78.

KEY WORDS: irrigation management, Kc, Class A Pan.

3 INTRODUÇÃO

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) destaca-se como uma das principais culturas do país, porém, a média brasileira de produtividade ainda é baixa, em torno de 820 kg ha⁻¹, como conseqüência do baixo emprego de insumos e de tecnologia.

A importância econômica e social da cultura do feijão para o Brasil é inquestionável. O feijão destaca-se como importante fonte de proteína na dieta alimentar do povo brasileiro, sendo um prato quase obrigatório das populações rural e urbana. É cultivado nos mais variados tipos de solo, clima e sistemas de produção, tais como o cultivo solteiro, consorciado ou ainda intercalado com uma ou mais espécies (Yokoyama et al., 1996). O feijão representa, ainda, importante fonte de diversos nutrientes e fibra, embora sua composição possa variar de acordo com o local de plantio, fatores ambientais e com a cultivar (Araújo et al., 1996). A área plantada na safra 2005/2006 foi de, aproximadamente, 4.200.000 hectares, resultando em uma produção nacional de 3.448.000 toneladas do produto (CONAB, 2006).

Conforme Fancelli & Dourado Neto (1997), as fases de desenvolvimento na cultura do feijão não apresentam nítida separação, principalmente quando consideradas plantas de hábito de crescimento indeterminado, constatando-se sobreposições representadas pela possibilidade

de emissões simultâneas de folhas, flores e vagens. O estágio R9 é caracterizado pela mudança da cor das vagens (amarela ou pigmentada de acordo com a cultivar). As sementes adquirem sua cor e brilho final e o processo de senescência da planta se acelera. A evolução normal dessa etapa exige ausência ou baixa disponibilidade de água.

Dentre os tratos culturais, a irrigação constitui alternativa viável para substancial melhoria na produtividade. A finalidade básica da irrigação é proporcionar água à cultura de maneira a atender toda a exigência hídrica durante todo o ciclo cultural. Porém, irrigações e sistemas mal dimensionados, com aplicações em excesso ou com déficit, poderão comprometer essa produtividade.

O feijão é tradicionalmente cultivado nas épocas das “águas” e das “secas”. Há, porém, em algumas regiões, uma terceira época, a de “inverno”. A safra das “águas” coincide com a época em que as precipitações permitem alguma produção sem a prática da irrigação e apresenta, como inconveniente, o risco de ocorrência de chuvas no período de colheita, o que pode comprometer a produção. No caso das safras da “seca” e de “inverno”, ambas estão sujeitas à ocorrência de períodos secos ao longo de seu desenvolvimento (Libardi, 1996).

A irrigação é imprescindível para a produção de inverno, pois o feijoeiro é classificado como planta sensível ao estresse hídrico, principalmente em virtude da sua baixa capacidade de recuperação após o déficit, do seu sistema radicular pouco desenvolvido (Guimarães, 1988) e do fato de ter baixa capacidade fotossintética (Lopes et al., 1987).

Faltam informações e pesquisas em diversos temas relacionados à relação água-solo-planta em determinados locais. Devem ser realizados trabalhos que estudem alguns aspectos como a quantidade de água a ser aplicada de acordo com cada cultivar e solo, os coeficientes de cultura (Kc) a serem usados nas diversas fases, a respostas da cultura ao déficit e excesso de água e lâmina ótima econômica, dentre outros.

Silveira & Stone (2001) mencionam que o feijoeiro é considerado pouco tolerante a déficit hídrico severo e a falta de água constitui um dos principais fatores limitantes ao rendimento da cultura, principalmente quando ocorre na fase reprodutiva da planta. Deficiência hídrica moderada na fase vegetativa inicial causa pequena redução no rendimento, porém, estresse hídrico prolongado nas semanas que antecedem a floração restringe o crescimento vegetativo, causando reduções consideráveis na produção de grãos. Por outro lado, o excesso de água no solo provoca redução da absorção de potássio e da nitrificação, aumento da desnitrificação e da lixiviação de nitratos e redução da absorção de nutrientes (Power, 1990).

O coeficiente de cultura (Kc), proposto por Van Wijk e Vries, é adimensional e representa a razão entre a evapotranspiração da cultura, ETc e a evapotranspiração de referência, ETo (Sediyama et al., 1998). A distribuição temporal do Kc para cada cultura irrigada constitui a curva da cultura. As curvas de cultura são corretamente obtidas de forma experimental e representam o efeito integrado da mudança na área da folha, da altura da planta, do grau de cobertura e da resistência do dossel da planta sobre a ETc (Oliveira, 2003).

Um problema também enfrentado por produtores é a decisão sobre a época de suspender a irrigação do feijoeiro. Alguns irrigam até vésperas da colheita, enquanto outros interrompem no início do estágio R9 (mudança da cor das vagens ou maturidade das vagens).

Diante do exposto, o presente trabalho foi planejado com os objetivos de avaliar o desempenho do feijoeiro comum submetido aos diferentes níveis de reposição de água no solo, determinar os valores de coeficiente de cultura (Kc) para a região de Patos de Minas, MG, e, avaliar a melhor época de suspensão da irrigação.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área experimental do campus II do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), no município de Patos de Minas, MG, localizado a 18° 33' 54'' de latitude sul e 46° 28' 44'' de longitude oeste, a uma altitude média de 835 m, durante o período de julho a outubro de 2005. A precipitação média anual é de 1474,4 mm e temperatura média anual de 21,1 °C (Unicamp, 2006). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico. As equações de ajuste das curvas características de retenção de água no solo para as camadas de 0 - 20 cm e 20 - 40 cm de profundidade, de modelo tal como apresentado por Van Genuchten (1980), foram obtidas de acordo com Dourado Neto et al. (1995), e encontram-se apresentadas na Tabela 1. Com o auxílio do software SWRC versão 3.0 (Soil Water Retention Curve), foram obtidos os parâmetros de ajuste das equações.

Tabela 1. Equações ajustadas conforme modelo apresentado. Patos de Minas, MG. 2005.

Camada (cm)	Equação (Van Genuchten)	R ²
0 - 20	$\theta = \frac{0,305}{\left[1 + (0,320 * \psi_m)^{1,56}\right]^{0,43}} + 0,215$	0,925
20 - 40	$\theta = \frac{0,375}{\left[1 + (0,985 * \psi_m)^{6,917}\right]^{0,127}} + 0,238$	0,958

θ =umidade volumétrica (cm³ cm⁻³); ψ_m =potencial matricial (kPa)

A densidade do solo média para as camadas de 0-20 cm e 20-40 cm, obtida pelo método do cilindro de Uhlund, forneceu valores de 1,0 g cm⁻³ e 1,01 g cm⁻³, respectivamente.

A cultivar empregada foi a BRS-MG-Talismã. O experimento foi conduzido em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições, sendo empregado um esquema fatorial 5 x 3, constituído por cinco reposição de água no solo (40%, 70%, 100%, 130% e 160% da lâmina necessária para elevar o teor de água do solo à capacidade de campo diariamente) e três épocas de suspensão da irrigação (0, 7 e 14 dias após R9, ou seja, R9, R9+7 e R9+14). Cada parcela experimental foi constituída por cinco linhas de plantio, com 3 m de comprimento, espaçadas de 0,45 m, e com densidade de 12 plantas por metro linear. Como útil, foi considerada uma área de 3 m², sempre demarcada por um “gabarito” de madeira. Foi instalado um termohigrômetro para medidas diárias de umidade e temperatura (máxima e mínima), além de um pluviômetro (precipitação), anemômetro (velocidade do vento) e um tanque classe A (evaporação). As leituras de temperatura, umidade, evaporação e precipitação foram realizadas diariamente, todas as manhãs. A velocidade média do vento foi obtida a partir de quatro leituras diárias.

Antes do preparo do solo, procedeu-se à aplicação de calcário, com base no resultado de análise química do solo, tomando-se o valor de saturação por bases de 60%. As doses totais de nutrientes NPK seguiram recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999) para o nível tecnológico NT₄.

Em cada parcela, foram utilizados quatro microaspersores com sobreposição de 50%, da marca DAN 2001, autocompensantes, com vazão de 28 L h⁻¹. O bombeamento foi realizado com um conjunto motobomba de 1,5 cv, a partir de uma caixa com capacidade para 5.000 L.

Em três parcelas do tratamento 100% c.c e R9+14 foram instaladas baterias de tensiômetros com o objetivo de controle da lâmina de irrigação. Cada bateria consistiu de dois tensiômetros, a 0,10 e 0,30 m de profundidade.

O teor de água na capacidade de campo média do solo, obtida conforme metodologia apresentada por Bernardo (1996), foi de 34,59 dag kg⁻¹ (10 kPa) e 29,31dag kg⁻¹ (9 kPa), respectivamente, para as camadas de 0-20 cm e 20-40 cm. O cálculo do tempo de irrigação foi realizado com base nos sensores de 0,10 e 0,30 m.

Com as tensões observadas, foram calculados os teores de água correspondentes, a partir das curvas características a 0,10 e 0,30 m (Tabela 1). De posse desses teores de água e daquele correspondente ao da capacidade de campo, e ainda, considerando a profundidade do sistema radicular estratificada em duas subcamadas (0-20 cm e 20-40 cm), foram calculadas as lâminas de reposição (Equações 1 e 2).

$$LL = (\theta_{cc} - \theta_{atual}) * z \quad (1)$$

$$LB_{média} = LB_{média10cm} + LB_{média30cm} \quad (2)$$

em que:

LL = lâmina líquida de irrigação em cada subcamada (mm); θ_{cc} = teor de água na capacidade de campo (cm³ cm⁻³); θ_{atual} = teor de água no momento de irrigar (cm³ cm⁻³); z = profundidade do sistema radicular (mm); $LB_{média}$ = lâmina bruta de irrigação (mm); $LB_{média10cm}$ = lâmina obtida pela média das leituras dos sensores instalados a 0,10 m e $LB_{média30cm}$ = lâmina obtida pela média das leituras dos sensores instalados a 0,30 m.

A lâmina de reposição observada no tratamento 100% c.c. e R9+14 serviu de base para elevar o teor de água do solo à capacidade de campo, e a partir desse valor houve acréscimo ou decréscimo para os demais tratamentos.

Após colheita, os grãos foram pesados, tiveram seu teor de água medido, para correção da massa para teor de água de 13dag kg⁻¹, conforme Carvalho (2005).

Em função das diferentes lâminas de água aplicadas no experimento e da conseqüente diferença de maturação, realizou-se a coleta das vagens e grãos que se encontravam sobre o solo. Os grãos foram contados e pesados, visando se dimensionar as perdas ocorridas. Os valores foram expressos em número e peso de grãos por m².

Durante a colheita, em cada parcela foram amostradas três plantas para determinação dos números médios de grão por planta, vagens por planta e grãos por vagem.

A eficiência do uso da água foi obtida por meio da relação entre a produtividade média de cada parcela e a lâmina aplicada durante o ciclo.

O balanço de água no solo foi realizado nas parcelas do tratamento 100% c.c. e R9+14, onde obtiveram-se os dados da equação do balanço de água no solo e, posteriormente, os valores do coeficiente de cultura (Kc):

a) Precipitação e irrigação

Os dados de precipitação foram obtidos por meio de um pluviômetro de 150 mm de diâmetro instalado no centro da área experimental. Os dados de irrigação calculados, utilizando-se as Equações 1 e 2.

b) Deflúvio superficial (E)

Para o cálculo do deflúvio superficial (E), foram confrontadas as lâminas precipitadas com a lâmina infiltrada potencial, fornecida pela equação de infiltração acumulada do solo, a qual foi estimada com dados obtidos pelo método do infiltrômetro de anel, com base no modelo do tipo potencial, apresentado a seguir (Equação 3):

$$I = aT^n \quad (3)$$

em que:

I = infiltração acumulada (L); a= parâmetro do solo, dependente da condição inicial de umidade (L T⁻ⁿ); T = tempo de infiltração (T) e n = parâmetro característico do solo, adimensional e constante, cujo valor pode situar-se entre 0 e 1.

c) Movimento de água no contorno inferior (Q)

O movimento de água no contorno inferior foi determinado pela Equação de Darcy-Buckingham (4):

$$q = -K(\theta) \frac{d\psi_t}{dx} \quad (4)$$

em que:

q= densidade de fluxo da água no solo (mm h⁻¹); K(θ) = condutividade hidráulica do solo (mm h⁻¹) e $\frac{d\psi_t}{dx}$ = gradiente de potencial total (mm mm⁻¹).

A condutividade hidráulica do solo não saturado foi determinada pelo método de Mualem (1976), conforme a Equação 5.

$$K(\theta) = K_0 w^L \left[1 - \left(1 - w^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad (5)$$

em que:

$$w = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

em que:

w= saturação relativa; K_o= condutividade hidráulica do solo saturado; L= parâmetro empírico, que foi estimado por Mualem (1976) como sendo aproximadamente 0,5 para maioria dos solos (Libardi, 1999); θ= umidade atual do solo (cm³ cm⁻³); θ_r= teor de água residual do solo (cm³ cm⁻³) e θ_s= teor de água de saturação do solo (cm³ cm⁻³).

Para obtenção da condutividade hidráulica do solo saturado (K_o), foi utilizado um Permeômetro de Guelph.

d) Variação de armazenamento

A variação do armazenamento foi calculada com base na Equação 6, considerando-se a profundidade igual a 0,4 m.

$$\Delta h = (\theta_2 - \theta_1).z \quad (6)$$

em que:

Δh= variação de armazenamento no intervalo de tempo considerado (mm); θ₂= teor de água média no tempo final (m³ m⁻³); θ₁= teor de água média no tempo inicial (m³ m⁻³) e z= profundidade considerada para o balanço (400 mm).

e) Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência foi determinada pelo método do tanque Classe A (Equação 7):

$$ET_o = K_t \cdot EV \quad (7)$$

em que:

K_t = coeficiente do tanque e EV = evaporação do tanque (mm dia⁻¹).

f) Evapotranspiração da cultura

A evapotranspiração da cultura foi obtida promovendo-se o balanço hídrico num volume de controle correspondente à profundidade de 0,4 m.

$$\Delta h = P + I \pm Q - ETc - E \quad (8)$$

em que:

Δh = variação do armazenamento (mm); P = lâmina precipitada (mm); I = irrigação (mm); Q = lâmina que entra ou sai do contorno inferior (mm); ETc = evapotranspiração (mm) e E = deflúvio superficial (mm).

g) Coeficiente de cultura

O coeficiente de cultura Kc foi determinado pela Equação 9.

$$Kc = \frac{ETc}{ETo} \quad (9)$$

em que:

ETc = evapotranspiração da cultura (mm dia⁻¹) e ETo = evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹).

Todas as características foram submetidas à análise de variância, sendo os efeitos dos tratamentos estudados por meio de análise de regressão ou do teste de média Scott-Knott, conforme o caso. A ferramenta utilizada para as análises foi o software Sisvar for Windows versão 4.3 (Ferreira, 1999).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância revelou efeito significativo das lâminas de reposição, das épocas de suspensão e da interação entre estes fatores, para a produtividade da cultura. Garrido (1998), Frizzone (1986) e Felipe (1991) também encontraram diferença significativa entre lâminas de irrigação aplicadas na cultura do feijoeiro. Nas Figuras 1, 2 e 3 é mostrado o comportamento da produtividade em kg ha⁻¹ em função da reposição de água no solo, com emprego de diferentes épocas de suspensão da irrigação: R9, R9 + 7 e R9 + 14 dias, respectivamente.

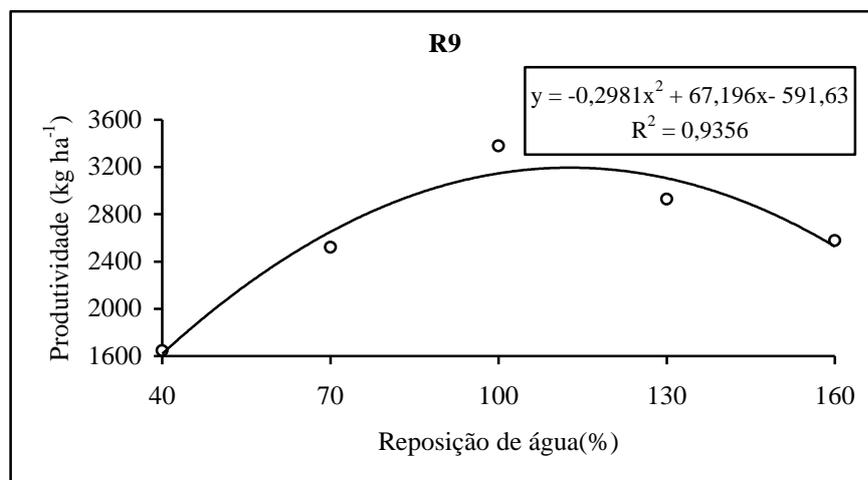


Figura 1. Produtividade média em função da reposição de água de irrigação.

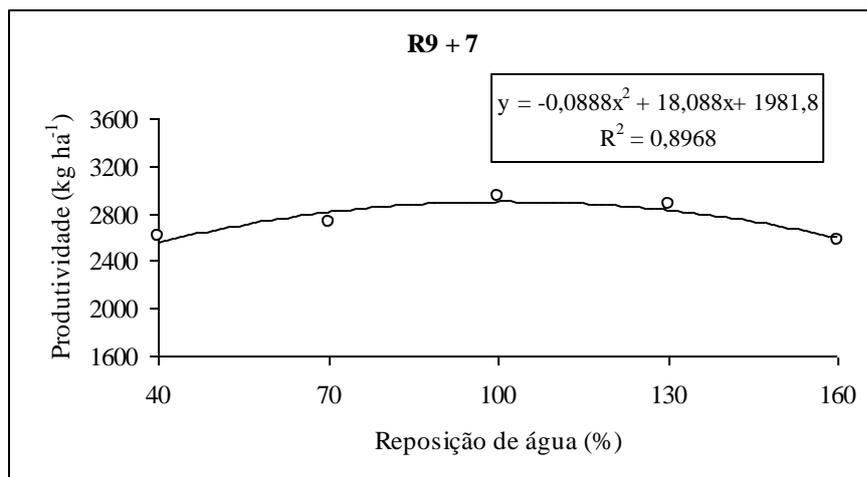


FIGURA 2. Produtividade média em função da reposição de água de irrigação.

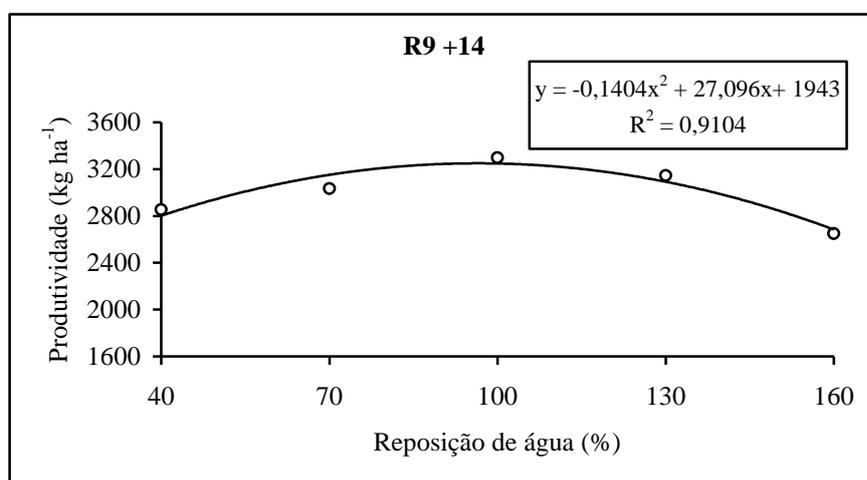


Figura 3. Produtividade média em função da reposição de água de irrigação.

Verifica-se que, independente da época de suspensão da irrigação, há aumento na produção em função da reposição de água, atingindo o máximo com reposição de água correspondente a 100% de água consumida, havendo queda de produtividade após esse valor. Dessa forma, lâminas menores ou maiores ocasionaram perdas de produtividade. O déficit hídrico ocasionou murchamento das plantas, prejudicando sua fisiologia, culminando em queda de produtividade. O feijão é uma planta muito sensível ao estresse hídrico, devido a sua baixa capacidade de recuperação após o déficit e ao seu sistema radicular pouco desenvolvido (Guimarães, 1988). Por outro lado, lâminas excessivas provocam um ambiente com falta de aeração para as plantas, bem como favorece a disseminação de doenças e perdas de nutrientes por lixiviação. O feijoeiro é uma planta relativamente sensível ao excesso de água no solo, pois, nesta condição, o desenvolvimento vegetativo e o rendimento são prejudicados, devido ao aumento da resistência do movimento da água através das raízes, menor absorção de nutrientes, menor aeração e aumento da concentração de substâncias tóxicas nas plantas (Silveira & Stone, 2001). A redução do rendimento da cultura com reposições excessivas

também foi verificada por Garrido (1998), Azevedo (1984), Frizzone (1986) e Carvalho (1992).

Para Silveira & Stone (2001), o rendimento do feijoeiro é bastante afetado pela condição hídrica do solo e, deficiência ou excesso de água nas diferentes fases do ciclo da cultura causam redução na produtividade. Stone & Moreira (2000) trabalharam com diferentes lâminas de irrigação, também observaram maior produção na cultura do feijoeiro com lâminas que elevaram o solo próximo ao teor de água na capacidade de campo, e queda da produtividade com aumento da lâmina de irrigação.

Do mesmo modo, Figueredo (1998), estudando o momento de se proceder a irrigação com base na tensão de água no solo, concluiu que menores valores de tensões (valores próximos ao teor de água na capacidade de campo) proporcionaram maiores rendimentos no feijoeiro.

Os dados médios de produtividade para cada lâmina de reposição, dentro das diferentes épocas de suspensão da irrigação, são apresentados na Tabela 2. A suspensão da irrigação em R9 resultou em menor produtividade em três das lâminas de reposição utilizadas, mas na lâmina de 100% de reposição (a melhor delas) não houve diferenças significativas entre as épocas de suspensão da irrigação, indicando que, em termos de produtividade física, não se justifica continuar com a irrigação até muito próximo da colheita.

Tabela 2. Produtividade média (kg ha⁻¹) do feijoeiro comum para as diferentes reposições de água em função das épocas de suspensão da irrigação.

Épocas	Reposição água (%)				
	40	70	100	130	160
R9	1645,8 b ¹	2521,2 b	3377,4 a	2928,0 b	2578,0 a
R9 + 7	2601,0 a	2724,6 a	2940,0 a	2870,4 b	2577,0 a
R9 + 14	2853,0 a	3033,6 a	3297,6 a	3144,6 a	2649,0 a

¹As médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem entre si em 5% de probabilidade pelo teste Scott-Knott.

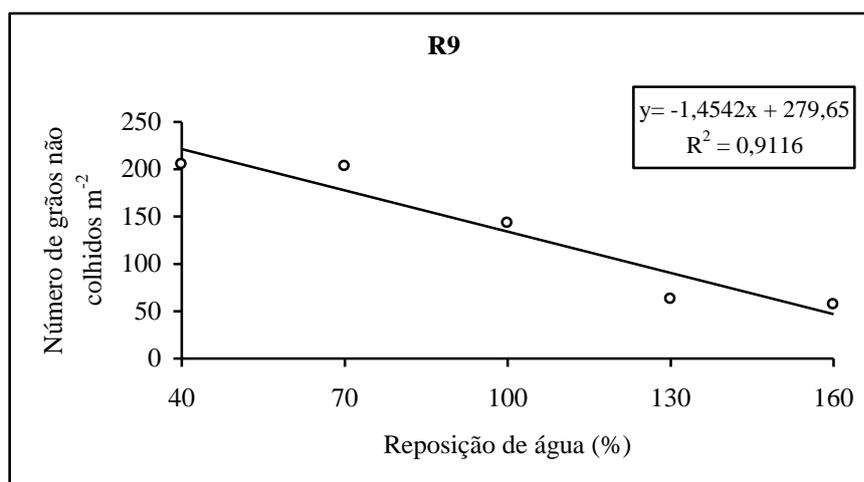


Figura 4. Número de grãos não colhidos em função da reposição de água de irrigação.

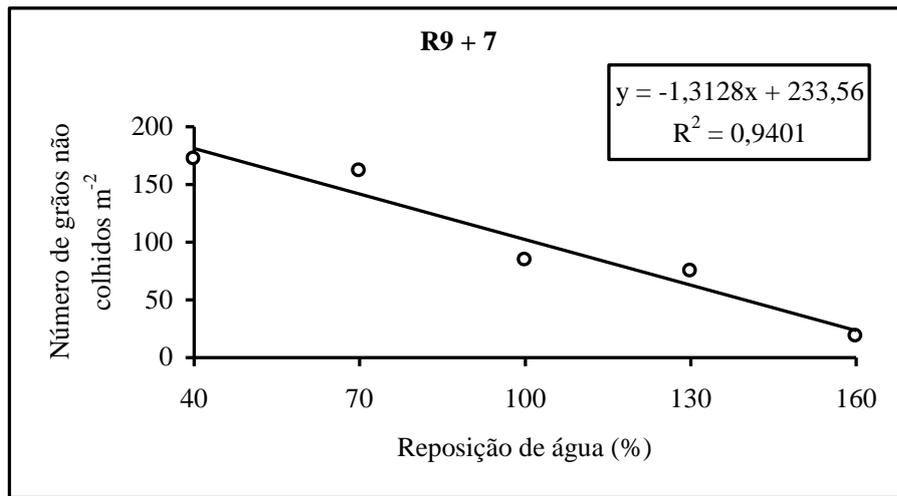


Figura 5. Número de grãos não colhidos em função da reposição de água de irrigação.

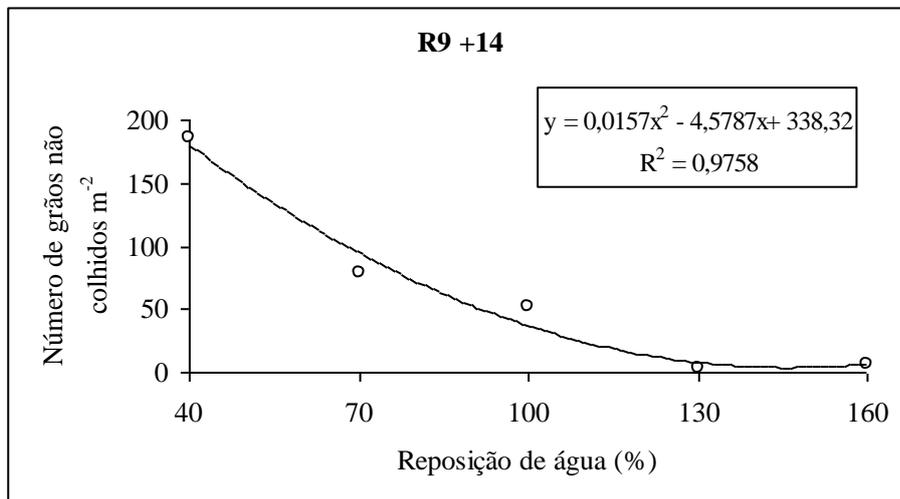


Figura 6. Número de grãos não colhidos em função da reposição de água de irrigação.

A análise de variância indicou efeito significativo dos fatores individualmente e da interação entre eles para o número e massa de grãos não colhidos. Verifica-se que houve queda linear no número de grãos não colhidos em função do aumento da reposição de água (Figuras 4 e 5), suspendendo a irrigação nas etapas R9 ou R9+7. Quando se interrompeu a irrigação em R9+14, também houve queda, embora quadrática, do número de grãos não colhidos (Figura 6). Plantas em ambientes mais secos, como os proporcionados pela reposição de 40% apresentaram maior número de vagens deiscentes e atingiram a maturação mais rapidamente. Lopes (1986), por exemplo, observou, em Viçosa, MG, redução no ciclo do feijoeiro sob condições de déficit hídrico, enquanto Bergamaschi (1988) afirmou que o estresse por deficiência de água antecipa a maturação do feijoeiro. Por outro lado, lâminas maiores proporcionam menor número de vagens deiscentes, devido ao maior período vegetativo das plantas.

Quando se suspendeu a irrigação em R9, as plantas atingiram maturação final mais rápida, o que acarretou aumento do número de grãos não colhidos, independente da lâmina de

reposição. Este aumento foi significativo, principalmente em relação à etapa R9+14 (Tabela 3).

Tabela 3. Número de grãos não colhidos por m² do feijoeiro comum em função de diferentes reposições de água e épocas de suspensão da irrigação.

Épocas	Reposição água (%)				
	40	70	100	130	160
R9	205,22 a ¹	202,98 a	142,91 a	65,58 a	57,15 a
R9 + 7	171,91 a	161,83 a	84,25 b	75,00 a	18,41 b
R9 + 14	185,75 a	78,55 b	52,32 b	3,83 b	6,50 b

¹As médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem entre si em 5% de probabilidade pelo teste Scott-Knott.

Nas Figuras 7, 8 e 9, é mostrado o comportamento da massa de grãos não colhidos por m² em função da reposição de água, semelhante ao verificado para o número de grãos, ou seja, houve queda da variável com aumento da reposição de água no solo. Verificou-se que, quando se irriga diariamente com reposição de 100%, nota-se que R9 e R9+14 apresentaram menores massas de grãos não colhidos (Tabela 4).

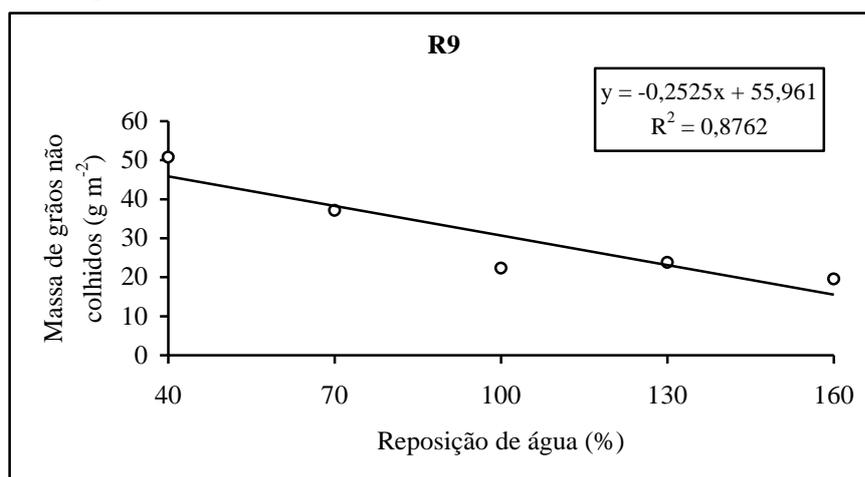


Figura 7. Massa de grãos não colhidos em função da reposição de água de irrigação.

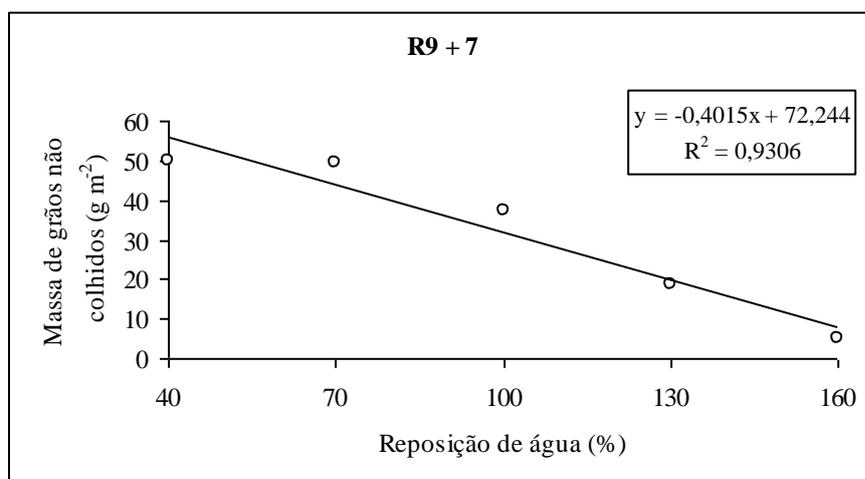


Figura 8. Massa de grãos não colhidos em função da reposição de água de irrigação.

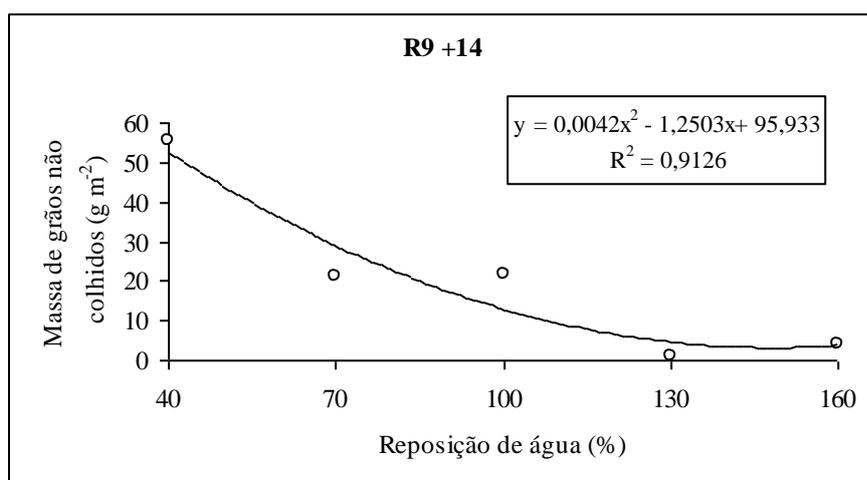


Figura 9. Massa de grãos não colhidos em função da reposição de água de irrigação.

Tabela 4. Massa (g) de grãos não colhidos em gramas m⁻² do feijoeiro para as diferentes reposições de água em função das épocas de suspensão da irrigação.

Épocas	Reposição água (%)				
	40	70	100	130	160
R9	50,79 a ¹	37,08 a	22,33 b	23,82 a	19,55 a
R9 + 7	49,83 a	49,50 a	37,41 a	18,75 a	4,98 b
R9 + 14	55,25 a	20,98 b	21,83 b	1,04 b	4,15 b

¹As médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem entre si em 5% de probabilidade pelo teste Scott-Knott.

Não houve diferença significativa entre os tratamentos aplicados para o número de grãos por planta e número de vagens por planta. Esses resultados diferem daqueles encontrados por Garrido (1998), Libardi (1996), Frizonne (1986) e Carvalho et al. (1996), mas são similares aos encontrados por Azevedo (1984).

Para estas variáveis, o valor do CV(%) está acima do normalmente obtido, o que pode ser resultante do pequeno tamanho da amostra utilizada (apenas três plantas).

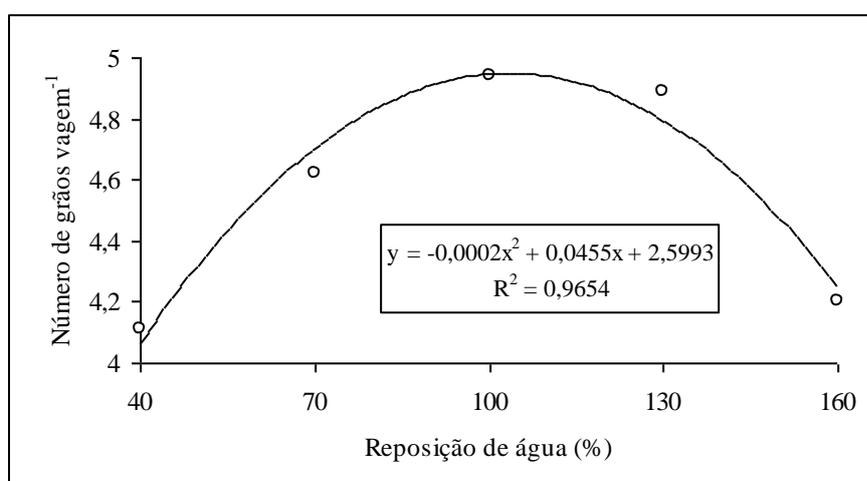


Figura 10. Número de grãos por vagem em função da reposição de água.

Para o número de grãos por vagens houve diferença estatística apenas entre as lâminas de reposição, onde constatou-se aumento dessa variável até 100% de reposição de água e, posteriormente, queda acentuada até 160% (Figura 10). Tanto a falta quanto o excesso de água provoca má formação dos grãos. Para Guimarães (1988), o estresse hídrico provoca abordo e quedas de flores e o excesso de água no solo provoca redução no número de grãos e sua massa. Garrido (1998) obteve aumento de grãos por vagem com acréscimos das lâminas, com valores médios de 4,6 grãos por vagem.

A análise de variância revelou efeito significativo das lâminas de reposição, das épocas de suspensão da irrigação e da interação entre os fatores. Independente da época de suspensão da irrigação, houve tendência de menores valores de eficiência do uso da água com o aumento da reposição de água no solo (Figuras 11, 12 e 13). Valores semelhantes foram encontrados por Garrido (1998) e Frizzone (1986), contrastando com resultados encontrados por Felipe (1991), o qual aplicou lâminas entre 169 e 289 mm. Pela Tabela 5, verifica-se que quando se irriga com reposição de 100%, maior eficiência do uso da água se dá na época R9. Para as demais reposições, não houve diferença estatística entre as médias observadas.

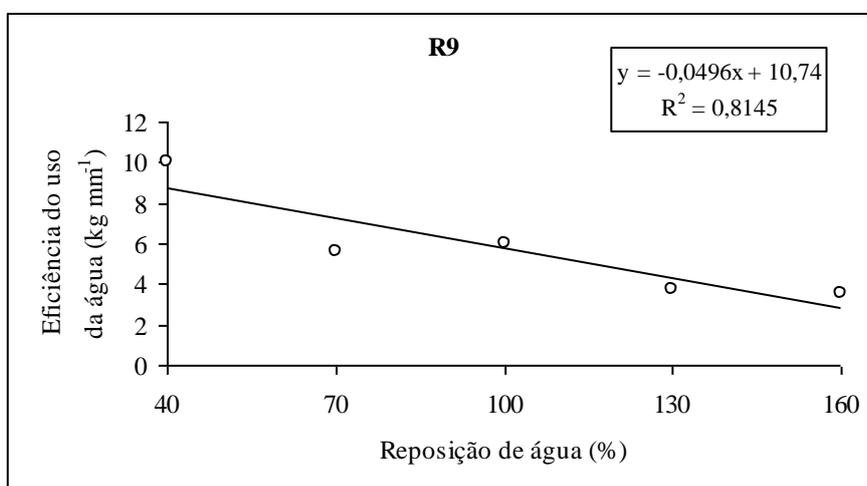


Figura 11. Eficiência do uso da água em função da reposição de água de irrigação.

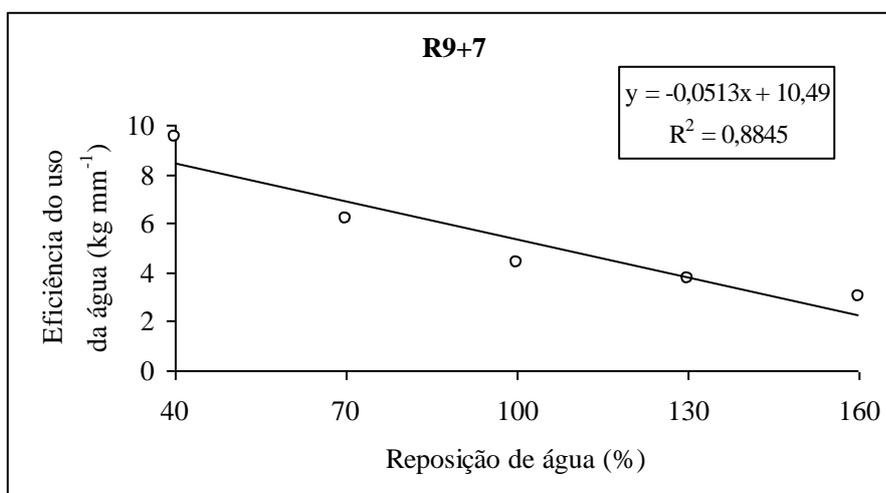


Figura 12. Eficiência do uso da água em função da reposição de água de irrigação.

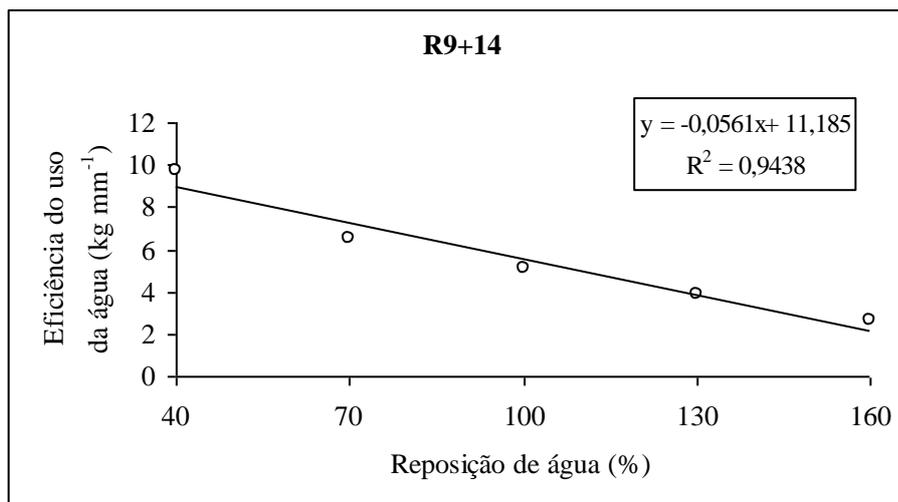


Figura 13. Eficiência do uso da água em função da reposição de água de irrigação.

Tabela 5. Eficiência do uso da água em kg mm⁻¹ para as diferentes reposições de água em função das épocas de suspensão da irrigação.

Épocas	Reposição água (%)				
	40	70	100	130	160
R9	10,00 a ¹	5,65 a	6,00 a	3,73 a	3,52 a
R9 + 7	9,76 a	6,16 a	4,41 b	3,73 a	3,05 a
R9 + 14	9,49 a	6,48 a	5,12 b	3,84 a	2,66 a

¹As médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem entre si, em 5% de probabilidade, pelo teste Scott-Knott.

Os valores de lâmina aplicada (mm) e precipitação (mm) durante a condução experimental estão apresentados na Figura 14. Vale ressaltar que os dados apresentados nesse tópico referem-se às médias coletadas nas parcelas do tratamento 100% de reposição de água e suspensão da irrigação em R9+14.

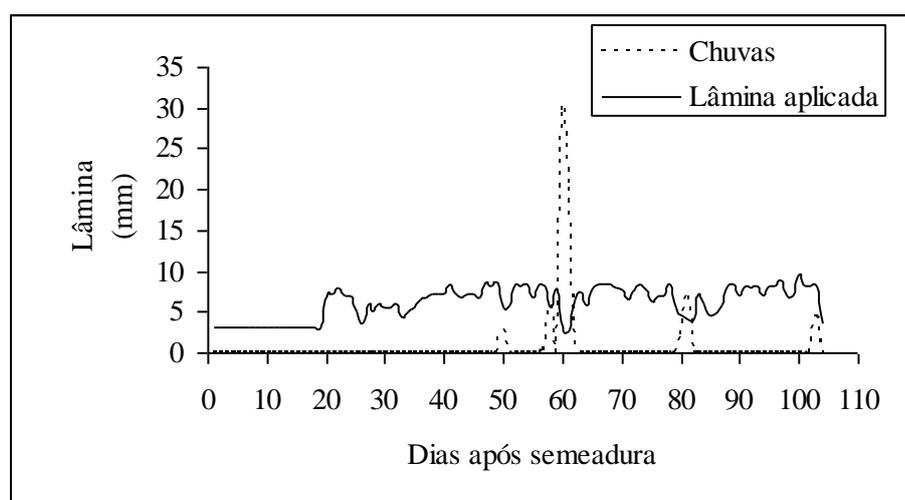


Figura 14. Precipitação e lâmina de água aplicada durante a condução do experimento. Patos de Minas, 2005.

A equação 10 descreve a infiltração acumulada no solo do experimento em função do tempo. A taxa de infiltração básica média observada na área experimental foi de 11,86 mm h⁻¹.

$$I = 2,56T^{0,5313} \quad (10)$$

em que:

I = infiltração acumulada (mm) e T = tempo (min).

Como a cultura foi implantada em nível, não se detectou durante a condução do experimento sinais de escoamento superficial; além disso, as lâminas precipitadas foram menores que aquela que o solo potencialmente poderia infiltrar para um dado período (exceto aos 60 DAS).

As variações do potencial total medidas nas parcelas do tratamento 100% - R9+14 estão apresentadas na Figura 15. Nota-se que a camada superior apresenta valores mais elevados que a camada imediatamente inferior, proporcionando, possivelmente, a drenagem interna para essa camada, comportamento semelhante ao apresentado por Oliveira (2003).

A condutividade hidráulica saturada média para as camadas de 0-20 cm e 20-40 cm foram de 7,69 cm dia⁻¹ e 8,5 cm dia⁻¹, respectivamente. Oliveira (2003) também encontrou maiores valores de condutividade hidráulica nas camadas inferiores de um Latossolo Vermelho Distrófico Típico na região de Lavras, MG.

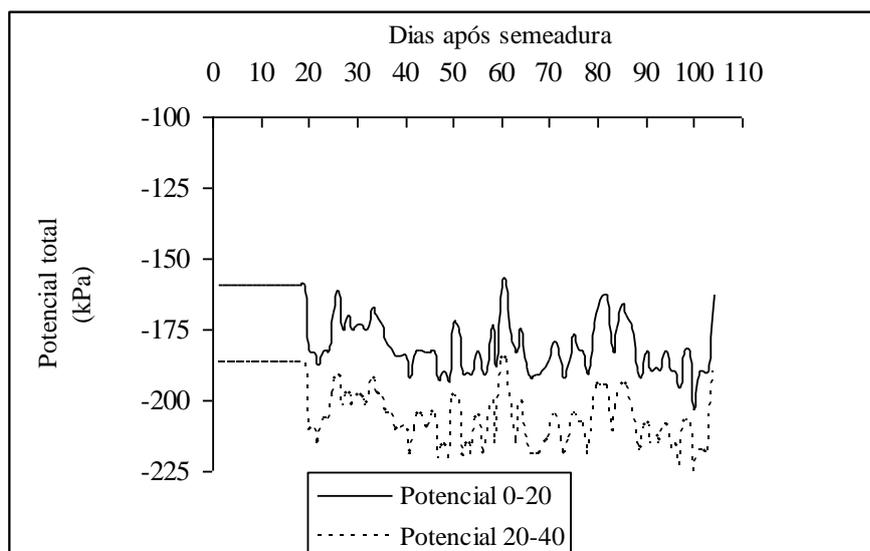


Figura 15. Variação do potencial total com o tempo, para o solo estudado e diferentes camadas.

Verifica-se, na Figura 16, o comportamento da variação do armazenamento de água no solo para a camada de 0- 40 cm, durante o período analisado. O armazenamento total de água no solo durante o período experimental encontra-se apresentado na Figura 17.

Os valores de evapotranspiração de referência estão mostrados na Figura 18. Alguns valores altos de evapotranspiração (maiores que 7 mm dia⁻¹) observados durante a condução do experimento foram devido ao excesso de vento e temperaturas altas nesses dias, culminando em aumento da evaporação e, conseqüentemente, da evapotranspiração de referência.

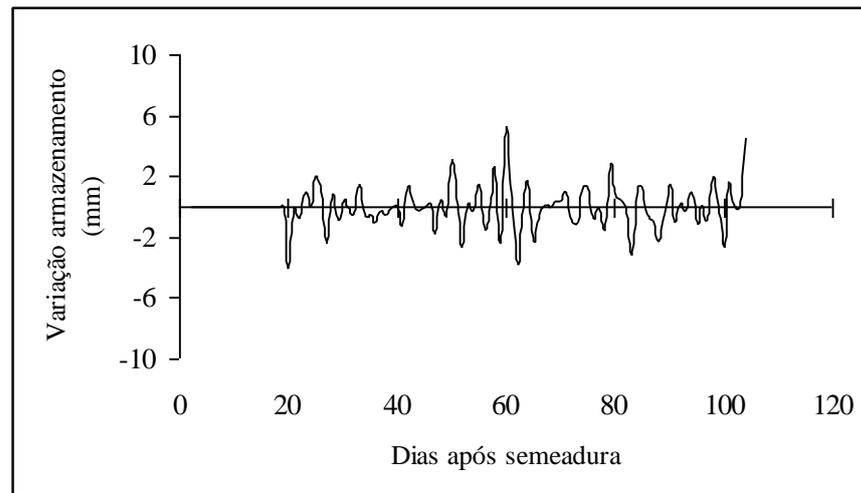


Figura 16. Variação do armazenamento de água no solo para camada de controle de 0-40 cm.

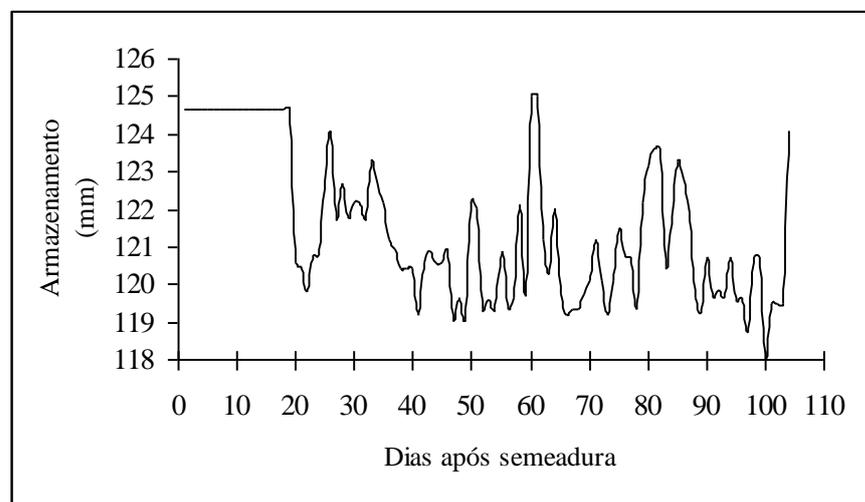


Figura 17. Armazenamento total de água durante época experimental para camada de 0-40 cm.

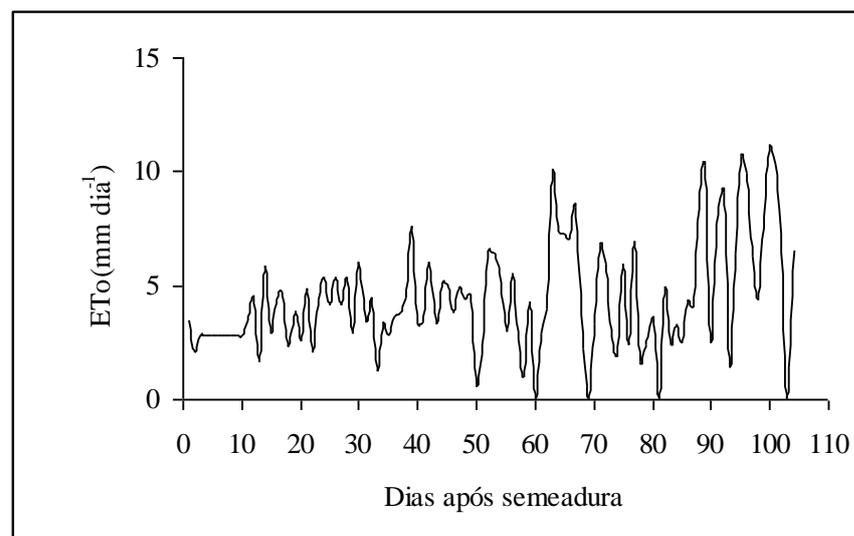


Figura 18. Evapotranspiração de referência observada durante a condução do experimento.

Os valores de evapotranspiração do feijoeiro cultivar Talismã conduzida na região de Patos de Minas, MG, estão apresentados na Figura 19, sendo mostrada uma média a cada decêndio, observando claramente a tendência de aumento nas fases de floração/enchimento de grãos e posterior diminuição até o final do ciclo. Esses resultados concordam com os obtidos por Azevedo (1984), Encarnação (1980) e Garrido (1998).

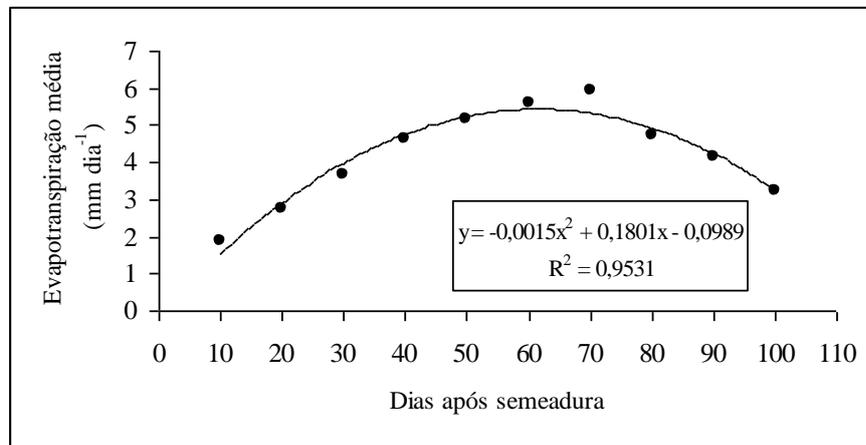


Figura 19. Evapotranspiração média da cultura observada durante a condução do experimento.

Os valores de Kc diários estão apresentados na Figura 20. Tendência semelhante à observada na evapotranspiração da cultura nota-se para os valores de Kc. Comparando com os obtidos por Mantovani (1986) e aqueles indicados por Doorenbos & Kassam (1979), relatados na Tabela 6. Nota-se que, embora apresentem uma tendência, são diferentes do atual experimento. O primeiro autor realizou experimento na região de Viçosa, MG e os outros pesquisadores obtiveram os valores médios de diversos experimentos, além de cultivares diferentes. O coeficiente de cultura (Kc) varia com a cultura, com seu estágio de desenvolvimento, com o clima e práticas agronômicas adotadas. Para a maioria das culturas, o valor de Kc aumenta desde um valor mínimo na germinação, até um valor máximo, quando a cultura atinge seu pleno desenvolvimento e decresce a partir do início da maturação (Oliveira, 2003), comportamento observado com a cultivar Talismã.

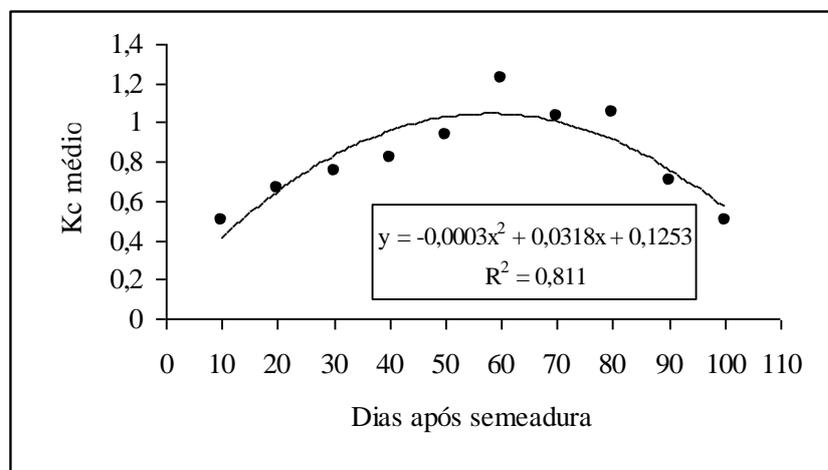


Figura 20. Coeficiente da cultura médio observado durante a condução do experimento.

Tabela 6. Coeficientes da cultura médios para diferentes estágios de desenvolvimento do feijoeiro, indicados por Mantovani (1986), Doorenbos & Kassam (1979) e atual experimento. Patos de Minas, MG, 2005.

Estágios	Mantovani (1986)	Doorenbos & Kassam (1979)	Atual experimento
Inicial	1,05	-	0,50
I	0,61	0,30	0,53
II	0,80	0,70	0,81
III	1,37	1,05	1,07
IV	0,65	0,65	0,78

Inicial – semeadura a germinação; I- germinação até 10% da cobertura do solo; II 10% da cobertura do solo até 80% da cobertura do solo; III – 80% da cobertura do solo até início do amadurecimento; IV – início amadurecimento até colheita.

Garrido (1998) encontrou valores de Kc para região de Lavras, MG, de 0,87; 0,67; 0,93; 2,04 e 1,37. Os coeficientes de cultura médios propostos por Stone & Silva (1999) são comparados com os obtidos no atual experimento (Tabela 7). Deve-se ressaltar que as condições de trabalho dos autores citados foram diferentes das apresentadas no atual trabalho, como semeadura realizada em plantio direto e a cultivar Aporé, evidenciando a importância da obtenção dos Kc(s) de forma regional.

Tabela 7. Coeficientes de cultura médios para diferentes épocas de desenvolvimento do feijoeiro, propostos por Stone & Silva (1999) e atual experimento, Patos de Minas, 2005.

Dias após emergência	Stone & Silva (1999)	Atual experimento
0-14	0,49	0,50
15-24	0,69	0,76
25-34	0,77	0,72
35-44	0,9	0,85
45-54	1,06	0,93
55-64	0,89	1,27
65-74	0,74	1,02
75-84	0,48	1,03
85-final	0,27	0,66

6 CONCLUSÕES

1. A cultura do feijoeiro cultivar Talismã quando submetida às lâminas deficitárias, bem como excessivas, reduziu negativamente a maioria de suas características;
2. Os valores de Kc foram diferentes dos diversos autores pesquisados, o que determina a importância de obtenção em cada região de estudo. Os valores médios para os estágios inicial, I, II, III e IV foram respectivamente 0,5; 0,53; 0,81; 1,07 e 0,78;
3. As médias de produtividade observadas, quando se irriga com 100% de reposição e suspensão em R9, R9+7 e R9+14, não foram estatisticamente diferentes.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, R. S. et al.. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFÓS, 1996. 786 p.
- AZEVEDO, H. J. **Efeito de diferentes lâminas de água e doses de adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 1984. 85 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação)– Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1984.
- BERGAMASCHI, H. Deficiência hídrica do feijoeiro. Análise de crescimento e fenologia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, p. 733-743, 1988.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1996. 596 p.
- CARVALHO, A. M. **Efeitos de diferentes lâminas de água e formas de parcelamento de nitrogênio em cobertura, via fertirrigação, no rendimento de grãos da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Carioca**. 1992. 94 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)– Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1992.
- CARVALHO, A. J. **Desempenho técnico-econômico de sistemas intercalares do feijoeiro-comum em lavouras de café (*Coffea arabica*) adensado**. 2005. 187 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)– Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- CARVALHO, L. G.; SAMPAIO, S. C.; SILVA, A. M. Determinação da condutividade hidráulica “*in situ*” de um latossolo roxo distrófico. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 7, p. 1-97, 1996.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendação do uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG, 1999. 359 p.
- CONAB. **Histórico safras de grãos**. Brasília, 2006. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=31>>. Acesso em: 20 out. 2006.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Roma: FAO, 1979. 193 p. (Technical note, 33).
- DOURADO NETO, D. et al. **Programa SWRC (Version 1.00): Soil-Water Retention Curve (Software)**. Piracicaba: ESALQ; Davis: University of Califórnia, 1995. 2 disquetes.
- ENCARNAÇÃO, C. R. F. **Estudo da demanda de água do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Goiano Precoce**. 1980. 62f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)–Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1980.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Tecnologia da produção do feijão irrigado**. Piracicaba: USP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1997. 158 p.

FELIPE, M.P. **Efeitos de diferentes lâminas de água e épocas de parcelamento da adubação nitrogenada na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 1991. 105 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)–Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1991.

FERREIRA, D. F. **Sisvar**. Versão 4.3. Lavras: UFLA/DEX, 1999. 4 disquetes.

FIGUEREDO, S. F. **Estabelecimento do momento de irrigação com base na tensão da água no solo para a cultura do feijoeiro**. 1998. 94 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâminas de irrigação**. 1986. 133 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)–Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

GARRIDO, M. A. T. **Respostas do feijoeiro às lâminas de água e adubação nitrogenada**. 1998. 205 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia)–Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.

GUIMARÃES, C. M. Efeitos fisiológicos do estresse hídrico. In: ZIMMERMANN, M. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1988. p. 157-174.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: Editora EDUSP. 1999. 497 p.

LIBARDI, V. C. M. **Efeitos de diferentes níveis de irrigação e do déficit hídrico na produção do feijoeiro**. 1996. 49 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)–Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

LOPES, N.F. Crescimento e conversão da energia solar em *Phaseolus vulgaris* L. submetido a três densidades de fluxo radiante e dois regimes hídricos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 33, n. 186, p. 142-164, 1986.

LOPES, N. F. et al. Crescimento, morfologia, partição de assimilados e produção de matéria seca do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) submetido a três densidades do fluxo radiante e dois regimes hídricos. **Revista Ceres**, Viçosa, n. 34, p. 110-124. 1987.

MANTOVANI, E. C. **Determinação do coeficiente de cultura para o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado em duas épocas de plantio**. 1986. 73 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)–Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water Resource Research**. Washington., v. 12, p. 513-522, 1976.

OLIVEIRA, P. M. **Estimativa da evapotranspiração e do coeficiente de cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2003. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)–Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

- POWER, J. F. Role of moisture stress in plant nutritional functions. In: BALIGAR, V. C.; DUNCAN, R. R. **Crops as enhancers of nutrient use**. San Diego: Academic Press, 1990. p. 453-474.
- SEDIYAMA, C. G.; RIBEIRO, A.; LEAL, B. G. Relações clima-água-planta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27. 1998, Poços de Caldas. **Resumos...** Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. p. 46-85.
- SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Irrigação do feijoeiro**. Goiânia: EMBRAPA, CNPAF, 2001. 230 p.
- STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 835-841, 2000.
- STONE, L. F.; SILVA, S. C. **Uso do tanque classe A no controle da irrigação do feijoeiro no sistema plantio direto**. Goiânia: EMBRAPA, CNPAF, 1999. 2 p (Pesquisa em Foco, 25).
- VAN GENUTCHEN, M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.
- UNIVERSIDADE DE CAMPINAS. **Zoneamento climático da cultura do café**: normais climatológicas. Campinas, 2006. Disponível em: <https://www.cpa.unicamp.br/café/index.shtml.htm>>. Acesso em: 20 nov. 2006.
- YOKOYAMA, L. P.; BANNO, K.; KLUTHCOUSKI, J. Aspectos socioeconômicos da cultura. In: ARAÚJO, R. S. et al. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1996. p. 1-21.