

## GERENCIAMENTO DA IRRIGAÇÃO DO FEJÓEIRO BASEADO EM CRITÉRIOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS NO CERRADO

**Sebastião Francisco Figuerêdo<sup>1</sup>; Eder João Pozzebon<sup>2</sup>; José Antonio Frizzone<sup>3</sup>; Juscelino Antonio de Azevedo<sup>1</sup>; Antônio Fernando Guerra<sup>1</sup>; Euzébio Medrado da Silva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Embrapa Cerrados, Brasília, DF, figueredo@cpac.embrapa.com.br,*

<sup>2</sup>*Agência Nacional de Águas (ANA), Brasília, DF*

<sup>3</sup>*Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP*

### 1 RESUMO

O conhecimento sobre o manejo da irrigação sob condições de escassez de água é essencial para o aperfeiçoamento da agricultura irrigada. Nesse sentido, este trabalho foi realizado objetivando definir níveis de tensão de água no solo, mais adequados para o início das irrigações do feijoeiro no Cerrado, baseado em critérios técnicos e econômicos. Foram conduzidos experimentos na Embrapa Cerrados-DF, durante três anos, em blocos ao acaso, testando, como tratamentos, as seguintes tensões: 33kPa, 50kPa, 70kPa, 100kPa, 500kPa e 1000kPa, na profundidade de 10cm. As irrigações foram aplicadas até a capacidade de campo, na camada de 0-40cm. No intervalo 37 a 967kPa, o rendimento de grãos reduziu-se, em forma logarítmica, com o aumento da tensão e, quadrática, com as lâminas totais. Os maiores rendimentos foram obtidos quando a irrigação era feita na tensão de água em torno de 37kPa. Entretanto, ao se considerar uma situação média estudada de custo da água e de preço do feijão, o nível de tensão mais adequado, para maior lucratividade, passou para 61kPa. As análises mostraram que baixos custos da água e altos preços do feijão levam aos pontos de máximo rendimento de grãos e de lucratividade a se aproximarem. Numa situação contrária, esses pontos se distanciam, resultando em economia de água.

**UNITERMOS:** Tensão da água no solo, análise econômica, manejo da irrigação, otimização da irrigação.

**FIGUERÊDO, S. F.; POZZEBON, E.J. ; FRIZZONE, J. A. ; AZEVEDO, J. A. de; GUERRA, A.F.; SILVA, E. M. da. MANAGEMENT OF DRYBEAN IRRIGATION BASED ON TECHNICAL AND ECONOMICAL CRITERIA IN CERRADO**

### 2 ABSTRACT

The knowledge on irrigation management under deficit conditions is essential to improve irrigated agriculture. Thus, this work was developed in order to define the most adequate soil-water tensions to begin irrigating drybean crop in Cerrado, based on technical and economical criteria. Field experiments were conducted in Embrapa/Cerrados-DF, Brazil, during three years in a randomized block scheme using as treatments the following soil-water tensions: 33kPa, 50kPa, 100kPa, 500kPa and 1000kPa, at a 10-cm depth. The irrigations were applied until field capacity filled the 40-cm soil depth. In the interval from 37 to 96kPa, grain yield decreased logarithmically with the increase of soil-water tension and, quadratically with total applied water. The highest yields were obtained when the irrigations were

conducted with soil-water tension around 37kPa. However, after considering the water irrigation costs and the grain dry bean price, the best soil-water tension for getting larger economic return was 61kPa. The analysis showed that the combination of low irrigation costs and high grain dry bean prices makes the breakeven points of total water applied for maximum yield and maximum economic return to similar. In an opposite situation, those costs are very different, resulting in larger water economy.

**KEY WORDS:** Soil-water tension, economical analysis, irrigation management, optimizing irrigation.

### 3 INTRODUÇÃO

A água está se tornando um recurso cada vez mais escasso, com importância estratégica crescente nos setores ambiental, econômico, social e político. No cenário brasileiro, a agricultura irrigada, em 1998, ocupava 2,87 milhões de hectares (6,12 % da área total cultivada), de uma área potencial estimada em torno de 29,6 milhões de hectares (Christofidis, 2002). A agricultura irrigada gera grandes benefícios ao país, entretanto, é a atividade que mais demanda água, sendo responsável por aproximadamente 61 % do volume captado dos mananciais (Lima et al., 1999). Apesar desse grande potencial de aumento na área irrigada do país, em muitos mananciais, especialmente em regiões de cabeceiras em épocas secas, a exploração da água chegou ao limite (Dolabella, 1996). Além disso, com a gradual implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos e seus instrumentos de gestão (Brasil, 2002), que prevê a outorga e a cobrança pelo uso da água, é possível que ocorra uma redução na disponibilidade da água para a irrigação ou aumento nos custos de sua utilização. Desse modo, todos os esforços devem ser feitos para um aproveitamento mais eficiente da água. Entretanto, para isso, os agricultores devem ter acesso às informações que permitam gerenciar as possíveis restrições de disponibilidades de água, as regras de racionamentos e os conseqüentes aumentos nos custos com a irrigação.

No Cerrado, em decorrência do regime de chuvas característico, com período seco de maio a setembro e chuvoso de outubro a abril (Assad et al., 1993), dois tipos de irrigação são praticados: a irrigação total, durante o período seco, e a irrigação suplementar, por ocasião dos veranicos, na época chuvosa. Nessa região, a irrigação total, além de permitir a produção na época seca, oportunamente e de forma planejada, possibilita a utilização de recursos como máquinas e mão-de-obra quando normalmente as atividades agrícolas estariam paralisadas (Silva et al., 1998). Além disso, as altas produtividades obtidas ocorrem em épocas de entressafra, quando os produtos podem alcançar melhores preços no mercado. Por outro lado, na época chuvosa, a irrigação suplementar impede quebras significativas na produção durante eventuais veranicos. Não obstante, como qualquer prática agrícola, a irrigação por si só não garante boas colheitas, porém, quando acompanhada de técnicas recomendáveis, pode elevar a produtividade muito acima daquelas normalmente alcançadas. Nesse sentido, Oliveira et al. (2004) observaram que o aumento do nível da água disponível no solo concorreu para uma melhor utilização do nitrogênio pelo feijoeiro. Em Lavras-MG, Rodrigues et al. (2002) observaram que, sob irrigação total, foram maiores as respostas do feijoeiro às adubações com nitrogênio e fósforo.

Um dos aspectos mais importantes para o sucesso da agricultura irrigada é o gerenciamento da água aplicada pela irrigação. Para essa programação, existem vários métodos e critérios que podem ser adotados, que vão desde simples turnos de rega até

esquemas mais complexos que levam em conta a integração do sistema solo-água-planta-atmosfera. Apesar de avaliar de forma indireta a deficiência hídrica de uma cultura, o controle da tensão da água no solo tem se mostrado eficaz (Guerra et al., 1994). Para esta finalidade, o tensiômetro tem sido indicado como instrumento preciso, simples e prático para estabelecer o momento de irrigação, apesar da desvantagem de operar, no máximo, até aproximadamente 80 kPa (Saad & Libardi, 1992). Essa faixa de tensão, cobre a maioria das situações de controle de irrigação. Para tensões acima dessa faixa, podem-se utilizar outros equipamentos, como os blocos de resistência elétrica ou blocos de gesso (Bernardo, 1989).

Uma estratégia para reduzir o consumo de água é o gerenciamento da irrigação considerando possíveis ocorrências de déficits hídricos. Para que essa gestão otimize esses benefícios, os níveis de tensão da água no solo e, conseqüentemente, o estresse em que as plantas serão submetidas entre as irrigações, deverão ser adequadamente controlados. Em geral, o estresse hídrico afeta a produtividade das culturas de forma variada, pois elas apresentam diferentes e complexos mecanismos de reação a pouca disponibilidade de água (FAO, 2002). As maiores produtividades são obtidas com suprimentos hídricos e nutricionais ideais. Porém, sob condições limitadas de suprimento de água, as plantas adaptam-se ao estresse hídrico podendo produzir satisfatoriamente com menos água. No caso específico da cultura do feijão, Paiva et al. (2005) observaram redução na condutância estomática em resposta a baixos potenciais da água no solo e altos valores de déficit de pressão de vapor na atmosfera, encontrando, também, menores condutâncias estomáticas nas fases reprodutivas.

Em termos econômicos, essas características podem ser exploradas pela irrigação, realizando as aplicações de água com certo déficit hídrico nas plantas. O principal objetivo da irrigação com déficit é economizar água, resultando em menores custos e receitas líquidas otimizadas, já que nem sempre as maiores produtividades são as mais lucrativas (Frizzone, 1986). Isso ocorre especialmente em condições de restrições de disponibilidade de água, quando os custos associados à irrigação tendem a ser mais altos e a otimização do uso da água torna-se fundamental. Ao considerar as respostas aos déficits hídricos no rendimento do feijoeiro, em Selvíria/MS, Arf et al. (2004) verificaram que lâminas menores, sob regime de irrigação suplementar, propiciaram produtividades de grãos semelhantes às maiores, porém com menores custos de produção. Nesses casos, as funções de produção, água-rendimento, tornam-se ferramentas importantes nas decisões de caráter econômico, especialmente quando a água for um dos fatores limitantes ao aumento da produção. Ressalta-se, ainda, que para cada condição ambiental, existe uma relação funcional entre o fator água e a produção das culturas (Frizzone & Andrade Junior, 2005). Nesse sentido, salienta-se que, apesar da evapotranspiração ser considerada um parâmetro mais associado ao rendimento das culturas, apresentando com este um comportamento linear, normalmente são preferidas as relações entre rendimento e lâminas para representar essa funcionalidade (Frizzone & Andrade Júnior, 2005; Aguiar, 2005). Enfatiza-se, no entanto, que as lâminas aplicadas não representam a água efetivamente utilizada pela cultura, em razão das diversas perdas, como escoamento superficial, percolação e evaporação da água do solo, que se encontram embutidas neste fator e que podem variar conforme o nível de irrigação escolhido.

No Brasil, nos últimos anos tem ocorrido maior estabilidade na produção do feijão em decorrência de avanços tecnológicos, especialmente com o uso da irrigação. Apesar disso, os preços pagos aos produtores ainda apresentam grandes oscilações. Barros et al. (2001) verificaram que os preços do feijão foram os que tiveram as maiores variações anuais no período de 1975 a 2000. Vários fatores contribuem para isso, sendo um dos principais o fato do produto apresentar demanda inelástica, em decorrência da limitação individual de seu consumo. Essa característica favorece a queda acentuada dos preços quando existir excesso do

produto no mercado. Numa situação contrária, uma acentuada elevação dos preços ocorre no caso de quebras de safras. Isso acontece fundamentalmente por dois motivos: a) a não existência de estoques internacionais suficientes e com características desejadas pelo consumidor brasileiro, disponíveis para importação; b) a perda rápida da qualidade do produto impede a formação de estoques reguladores internamente.

Nota-se que a irrigação tem um papel fundamental no aumento da produtividade, estabilidade e qualidade na produção do feijão. Entretanto, ainda é necessário que técnicas estejam disponíveis aos produtores de modo a garantir a sustentabilidade econômica da atividade em situações críticas como: preços baixos do produto, altos custos de produção e restrições na disponibilidade de água. Dentre essas técnicas, uma das mais importantes é o gerenciamento da irrigação do feijoeiro cultivado no Cerrado, baseado em critérios técnicos e econômicos, levando-se em conta a possibilidade de escassez de água.

O objetivo desse trabalho foi definir os níveis de tensão de água no solo mais adequados para o início das irrigações do feijoeiro no Cerrado, baseado em critérios técnicos e econômicos.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O cultivo utilizado foi o feijão (*Phaseolus vulgaris L.*), cultivar carioca, com ciclo de aproximadamente 90 dias, conduzido no campo experimental da Embrapa Cerrados (CPAC), em Planaltina-DF, na latitude de 15° 35' 30" S, longitude 47° 42' 30" W e altitude 1.014 m, nos anos de 1988, 1990 e 1991. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos constituíram-se de seis níveis de tensão de água no solo, previamente estabelecidos em T1 (33 kPa), T2 (50 kPa), T3 (70 kPa), T4 (100 kPa), T5 (500 kPa) e T6 (1000 kPa).

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho, fase argilosa. A adubação foi calculada em função da análise química do solo, considerando-se que a fertilidade não fosse fator limitante ao desenvolvimento da cultura. Aplicaram-se os fertilizantes químicos, macro e micronutrientes, respectivamente nas quantidades de 130 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de termofosfato Yoorin, 108 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O sob a forma de cloreto de potássio, 97 kg ha<sup>-1</sup> de Mg e 40 kg ha<sup>-1</sup> de FTE BR-12. Nos três anos do experimento, a semeadura foi realizada na segunda quinzena de maio, com densidade de 12 plantas por metro linear, em parcelas de 3,5 x 6,0 m. Para o suprimento de nitrogênio foi feita a inoculação das sementes com *Rhizobium* específico para o feijoeiro.

A irrigação das parcelas foi feita por meio de tubo de PVC perfurado ligado a uma caixa de 1000 litros, instalada ao lado do experimento, a 6 m de altura. Esse esquema buscou simular irrigação por aspersão, porém, com maior uniformidade de aplicação. A água aplicada foi medida por um hidrômetro com precisão de 1 litro, sendo a intensidade controlada por meio de um registro de gaveta situado na tubulação pouco antes do hidrômetro, de forma a não permitir o escoamento superficial dentro das parcelas. Para garantir a uniformidade da germinação das sementes em todos os tratamentos, aplicou-se 50 mm de água parcelados em três irrigações de 15, 15 e 20 mm, em intervalos de 2 dias. Nos três anos desse experimento, 1988, 1990 e 1991, somente houve precipitação pluviométrica, durante o ciclo do cultivo, em 1990, em julho, nos dias 6 (40 dias após a semeadura), 12, 13 e 14, totalizando 67,7 mm.

Para o controle das irrigações através da medida do potencial matricial da água no solo, utilizou-se tensiômetros e blocos de gesso (blocos de resistência elétrica), instalados oito dias após a semeadura. Em cada bloco foi sorteada uma parcela para instalação da bateria

dos tensiômetros e blocos de gesso, nas profundidades de 0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50; 0,60 e 0,80 m. Os tensiômetros de menor profundidade (0,10 m) serviram para monitorar o momento da irrigação nos tratamentos T1 (33 kPa), T2 (50 kPa) e T3 (70 kPa). Os blocos de gesso serviram para monitorar os demais tratamentos. No momento de cada irrigação, os conteúdos volumétricos de água associados às medidas de tensão ou de resistência dos blocos de gesso, nas profundidades de 0,10; 0,20; 0,30 e 0,40 m foram utilizados para calcular a lâmina de irrigação a ser aplicada em cada tratamento, visando elevar a umidade do solo à capacidade de campo ( $0,345 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) até a profundidade de 0,40 m.

O rendimento de grãos foi determinado em cinco fileiras centrais de plantas, em 2,5 m de comprimento, totalizando  $12,5 \text{ m}^2$  de área útil em cada parcela, sendo a colheita realizada manualmente. Foi realizada análise da variância para o rendimento de grãos, com o nível de significância de 1%. Também foram estudados os ajustes de equações para diversas relações, quais sejam: a tensão de água no solo antes de cada irrigação e o rendimento de grãos; a tensão da água no solo e a lâmina total de água recebida pela cultura; a lâmina total e o rendimento de grãos; e, a lâmina total e a diferença entre o valor do produto pago aos produtores e os custos associados da irrigação. A partir dessas relações, foi feita a determinação do ponto de máximo rendimento de grãos e a análise da sensibilidade da máxima lucratividade, considerando-se a variação dos preços do feijão a serem pagos aos produtores e os custos associados à irrigação. A variação desses parâmetros foi estabelecida, considerando-se faixas de valores de custo associados à irrigação de 0,32 a 0,74 US\$  $\text{mm} \cdot \text{ha}^{-1}$  (Queiroz et al., 1996; Paz et al., 1997; Paz et al., 2002), conforme determinado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1994) para a cultura do feijão irrigado sob sistema de pivô central na região de Guairá-SP. As faixas dos preços do feijão foram estabelecidas, considerando os valores entre 0,25 e 0,76 US\$  $\cdot \text{kg}^{-1}$ , tomando por base os preços médios mensais recebidos pelos produtores do estado de São Paulo entre janeiro/1996 e janeiro/2004 (Instituto de Economia Agrícola, 2004). Desse modo, adotando a conversão de dólar para reais, em R\$ 2,50 US\$ $^{-1}$ , as faixas de custo da irrigação e do preço pago ao produtor estudadas foram, respectivamente, 0,70 e 2,20 R\$  $\text{mm}^{-1}$  e 0,50 e 2,00 R\$  $\text{kg}^{-1}$ . Para a análise de sensibilidade, cada uma dessas faixas foi dividida em seis intervalos de R\$ 0,30, resultando nos custos da irrigação em R\$  $\text{mm}^{-1}$ : 0,70; 1,00; 1,30; 1,60; 1,90; e 2,20. Para os preços do feijão em R\$  $\text{kg}^{-1}$ : 0,50; 0,80; 1,10; 1,40; 1,70; e 2,00.

Deve-se destacar que as lâminas totais de água correspondem ao somatório das irrigações e precipitações ao longo do ciclo da cultura, acrescidas de 50 mm das irrigações iniciais para germinação. No experimento, foi considerada uma eficiência da irrigação de 88 %. Além disso, é aceita a suposição de que a variação das lâminas de irrigação não alterou os outros custos de produção, considerados como fixos. Maiores detalhes sobre a metodologia empregada nesse trabalho podem ser obtidos em Figuerêdo (1998) e Figuerêdo et al. (1998).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados médios para os três anos do experimento são apresentados na Tabela 1. As tensões observadas diferiram das previamente estabelecidas. Isso ocorreu devido ao sistema de irrigação não ser automatizado, fato que dificultou a realização das irrigações no momento exato do pré-estabelecido. Quanto ao rendimento de grãos, observa-se que, mesmo nos tratamentos submetidos ao déficit hídrico, os dados de produtividade foram superiores aos relatados por Almeida et al. (1990). Na época, os autores consideraram como sendo de  $1.033 \text{ kg ha}^{-1}$ , como o mínimo rendimento de grãos para viabilizar economicamente a

implantação da cultura sob irrigação. Em Lavras, MG, Rodrigues et al. (2002) obtiveram resultados médios de três safras de 1.470 kg ha<sup>-1</sup>. Entretanto, na safra de inverno-primavera, quando as condições climáticas são mais favoráveis à cultura sob irrigação, a produtividade foi de 1.738 kg ha<sup>-1</sup>. Comparando-se esses dados aos obtidos nesse experimento verifica-se que o Cerrado apresenta condições mais adequadas à cultura do feijoeiro irrigado, sendo possível a obtenção de altos rendimentos se forem utilizadas tecnologias que levem em conta os fatores que mais influenciam no rendimento. Um dos mais importantes é maior disponibilidade hídrica do solo proporcionada pela irrigação. Essa constatação é reforçada pelos resultados de Guerra et al. (2000), em Planaltina-DF, que obtiveram rendimentos de grãos acima de 4.800 kg ha<sup>-1</sup> para tensão de água no solo de 41 kPa e suprimentos ótimos de adubação nitrogenada. Esta constatação também é fortalecida por Silveira et al. (2001) que obtiveram rendimentos médios de 2.493 kg ha<sup>-1</sup> em diferentes sistemas de preparo do solo e rotação de culturas no município de Santo Antônio de Goiás e concluíram que o feijoeiro irrigado por aspersão é economicamente viável.

**Tabela 1.** Valores médios nos três anos de estudos na cultura do feijoeiro das variáveis: tensão da água no solo observada, rendimentos de grãos, lâminas e volumes de água aplicadas, custos associados à irrigação (C) e valor da produção (V) – Planaltina-DF.

Tensões pré-estabelecidas	Ano	Tensões observ.	Rend. de grãos <sup>(1)</sup>	Lâmina aplicada	Volume consum.	Custo (C) <sup>(2)</sup>	Valor (V) <sup>(3)</sup>	V-C	
Trat.	kPa	-	kg ha <sup>-1</sup>	mm	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	R\$ mm <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup>	R\$ ha <sup>-1</sup>	R\$ ha <sup>-1</sup>	
T1	33	1988	36	2.945,7	623	6.230	903,4	3.682,1	2.778,8
T1	33	1991	37	3.320,0	602	6.020	871,9	4.150,0	3.277,1
T1	33	1990	38	3.021,7	528	5.280	765,6	3.777,1	3.011,5
T2	50	1988	49	2.973,0	571	5.710	828,0	3.716,3	2.888,3
T2	50	1991	56	2.866,7	556	5.560	806,2	3.583,4	2.777,2
T2	50	1990	57	3.038,2	581	5.810	842,5	3.797,8	2.955,3
T3	70	1988	63	2.760,2	458	4.580	664,1	3.450,3	2.786,2
T3	70	1991	68	2.775,7	561	5.610	813,5	3.469,6	2.656,2
T3	70	1990	69	3.011,0	474	4.740	687,3	3.763,8	3.076,5
T4	100	1988	140	3.168,0	469	4.690	680,1	3.960,0	3.280,0
T4	100	1991	154	2.865,5	466	4.660	675,7	3.581,9	2.906,2
T4	100	1990	169	2.399,7	383	3.830	555,4	2.999,6	2.444,3
T5	500	1988	361	2.171,5	361	3.610	523,5	2.714,4	2.190,9
T5	500	1991	458	2.600,5	352	3.520	510,4	3.250,6	2.740,2
T5	500	1990	464	1.995,0	333	3.330	482,9	2.493,8	2.010,9
T6	1000	1988	917	2.152,2	324	3.240	469,8	2.690,3	2.220,5
T6	1000	1991	990	2.452,2	335	3.350	485,8	3.065,3	2.579,5
T6	1000	1990	994	2.210,0	325	3.250	471,3	2.762,5	2.291,3

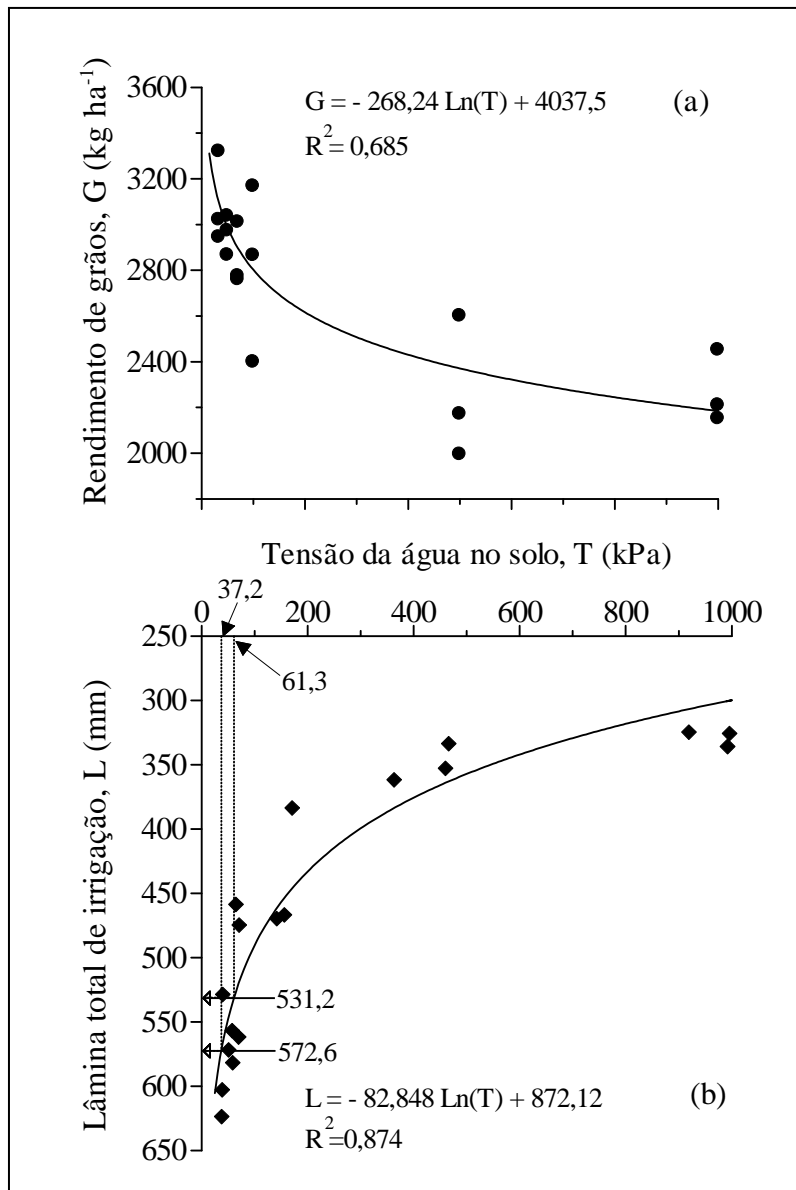
<sup>(1)</sup> Teste F para rendimento de grãos significativo a 1% de probabilidade; <sup>(2)</sup> Custo associado à irrigação (C), considerando-se a água valorada em R\$ 1,45 mm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>; <sup>(3)</sup> Valor da produção (V), considerando-se o preço do feijão pago ao produtor de R\$ 1,25 kg<sup>-1</sup>.

Na Tabela 1, verifica-se, ainda, o alto rendimento de grãos mesmo nos tratamentos submetidos a deficiências hídricas. As possíveis explicações são as boas condições da área experimental, tanto nas condições físicas, como na fertilidade do solo e na condução geral da cultura. A irrigação inicial de 50 mm, em todos os tratamentos, também pode ter contribuído para esse bom desempenho. Entretanto, cabe destacar que essas condições são esperadas em áreas onde tecnicamente se pratica a irrigação. Segundo Miranda et al. (2000), restrições na disponibilidade de água reduzem a produtividade do feijoeiro, porém, essa redução é tanto menor quanto mais adequada for a fertilidade do solo. Por outro lado, os rendimentos de grãos nos tratamentos submetidos às maiores tensões da água no solo foram mais afetados. Nesses tratamentos foram feitos menos irrigações, conseqüentemente, com maiores intervalos entre as mesmas, ficando a cultura submetida durante mais tempo a estresses hídricos mais severos.

O rendimento de grãos apresentou diferenças entre os tratamentos a 1% de significância pelo teste F, nos três anos estudados (Tabela 1). Analisando conjuntamente os resultados dos três anos, verificou-se que a variação do rendimento de grãos em função da tensão da água do solo segue um comportamento logarítmico (Figura 1a), considerando a faixa de valores de tensão observados de 36 a 994 kPa. Da mesma forma, a lâmina total em função da tensão da água no solo apresentou um comportamento logarítmico (Figura 1b). Isso ocorreu devido ao aumento da tensão da água no solo para o início das irrigações que proporcionaram redução progressiva nas necessidades de irrigação. Em regimes de irrigação que utilizam maiores tensões de água no solo, como critérios de irrigação, ocorrem reduções nas lâminas totais, devido ao menor desenvolvimento vegetativo da planta (Guerra et al., 2000) e a menor perda de água por evaporação, notadamente nas fases iniciais do cultivo, quando a superfície do solo ainda se encontra descoberta (Silva et al., 1998). Entretanto, outros fatores podem proporcionar esse comportamento. Um deles está relacionado às características de retenção da água no solo que apresenta, nas tensões mais baixas, as retenções de maiores volumes de água. Nessa situação, tanto a evapotranspiração, quanto as perdas na aplicação da irrigação, tendem a ser maiores.

Analisando a regressão entre a variável lâmina de água total aplicada durante o ciclo da cultura e o rendimento de grãos, considerando a faixa de valores observados de 324 a 623 mm, verificou-se que a relação segue uma variação quadrática (Figura 2a). Este comportamento quadrático entre o rendimento e a lâmina de água aplicada tem sido também observado em outros estudos com o feijoeiro (Silveira & Stone, 2004). Sabe-se, no entanto, que se for analisada a relação entre o rendimento de grãos e somente a água evapotranspirada existirá a tendência da resposta ser linear (Aguiar, 2005; Frizzone & Andrade Júnior, 2005). Entretanto, ao serem consideradas as relações entre as lâminas aplicadas e o rendimento de grãos, o ajuste linear não será adequado, pois, nesse caso, estarão incluídos outros componentes de perdas de água, como a percolação profunda e a evaporação da água através da superfície do solo, que tendem a desviar essa resposta da linearidade. Essas perdas, que estão incluídas na soma das lâminas de irrigação, não representam um consumo produtivo e, por isso, não resultam em aumentos no rendimento do cultivo, colaborando para a tendência ao comportamento quadrático. Outros fatores, como maior incidência de doenças e maior probabilidade de efeitos negativos devido a excessos de água, também podem contribuir para a redução do rendimento de grãos quando o manejo da irrigação considerar a manutenção da umidade do solo próximo à capacidade de campo. O excesso de água pode ser tão prejudicial quanto o déficit. Paz et al. (1997) encontraram redução da receita líquida por déficit ou excesso de água em decorrência de desuniformidades na irrigação do feijoeiro. Destaca-se que Rezende et al. (2004), estudando o rendimento de grãos versus lâminas de água na cultura do feijão, em Maringá-PR, encontraram dificuldades no ajuste de funções de produção e eles

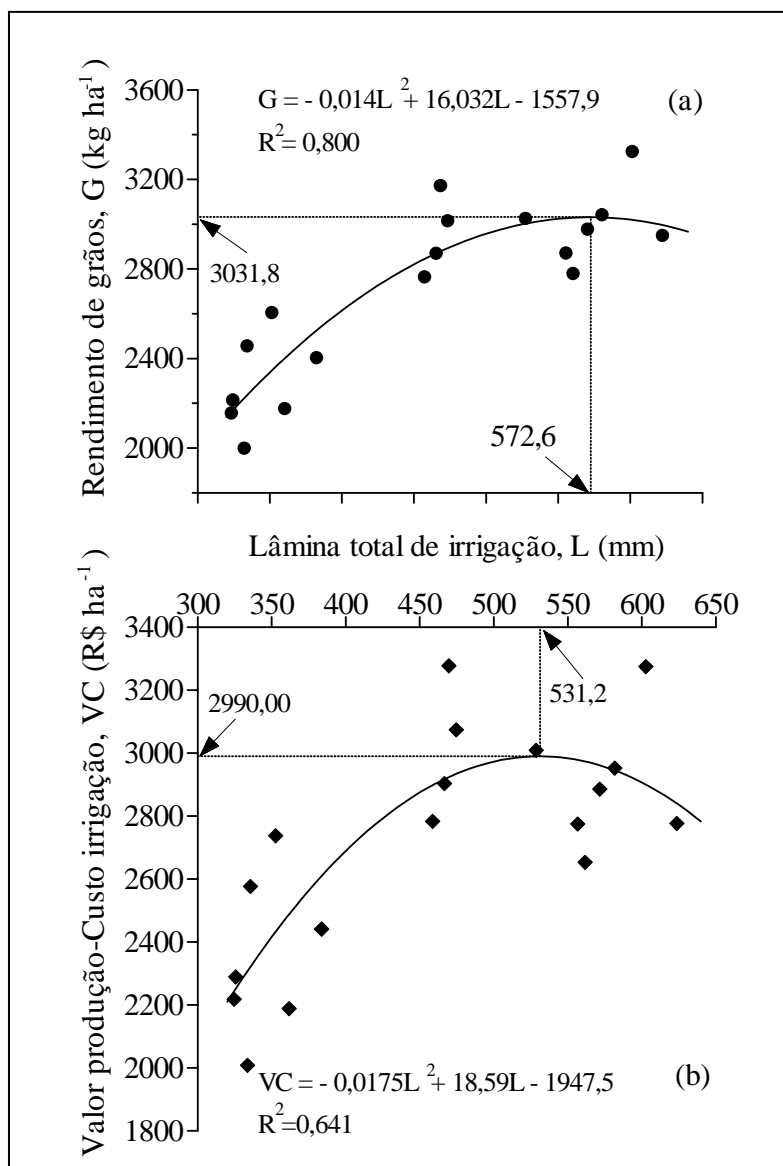
atribuíram o fato a existência de outros fatores não identificados que podem causar maior dispersão nos dados de rendimento de grãos.



**Figura 1.** Rendimento (a) e lâmina total de irrigação (b) em função da tensão da água no solo para a cultura do feijoeiro, Planaltina-DF.

Analisando o modelo quadrático e a equação correspondente (Figura 2a), pode-se deduzir que o ponto equivalente ao máximo rendimento de grãos foi de 3.032 kg ha<sup>-1</sup>, correspondendo à lâmina total de irrigação de 573 mm. Esse resultado concorda com Calheiros et al. (1996), que encontraram a lâmina total aplicada de 575 mm para o máximo rendimento de grãos de feijão. Tomando por base a lâmina de 573 mm e o modelo logarítmico ajustado na Figura 1b, chega-se à tensão de 37 kPa, a qual leva ao ponto ótimo de máxima produtividade, sem nenhuma consideração de ordem econômica. Deve-se ressaltar que esse valor foi obtido com as leituras de tensão de água no solo feitas na linha das plantas a 10 cm de profundidade.

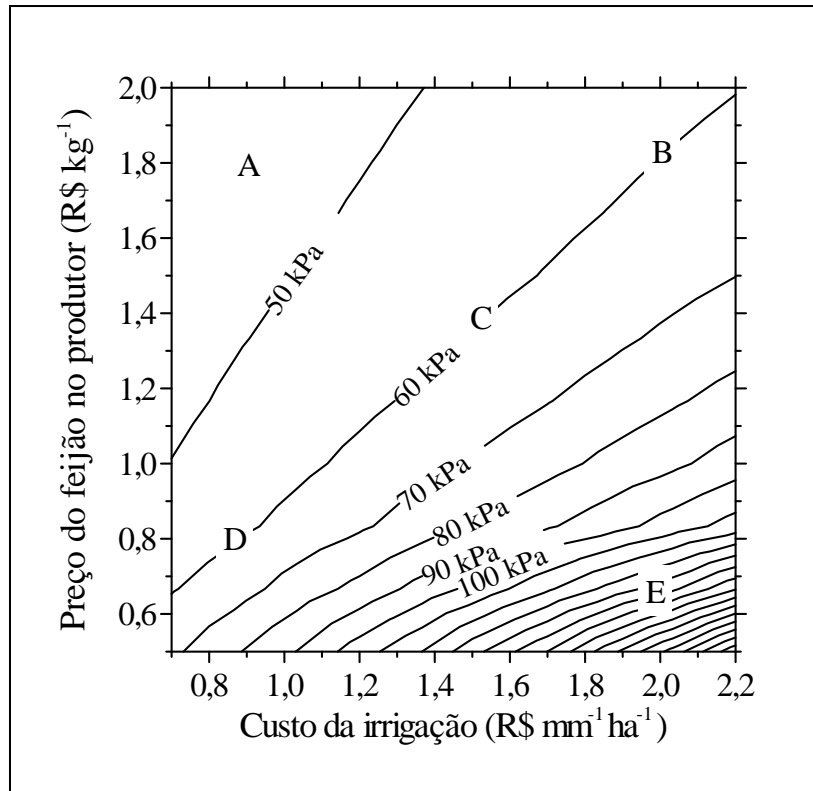




**Figura 2.** Curva de rendimento de grãos (a) e variação da receita (b) em função das lâminas de água na cultura do feijoeiro, Planaltina-DF.

Na análise da lucratividade do feijoeiro, introduzindo a componente de custo na decisão sobre qual deverá ser o melhor nível de tensão a ser utilizado no momento da irrigação, foram considerados seis pontos variando a cada R\$ 0,30, para os custos da água de irrigação na faixa de R\$ 0,70 a R\$ 2,20 e para os preços de preço de feijão de R\$ 0,50 a R\$ 2,00. Para a determinação da máxima lucratividade, a variação entre o valor total da produção menos custo da irrigação (VC) e a lâmina total de irrigação (L), na faixa de 324 a 623 mm foi representada também pela função quadrática (Figura 2b). Com base nessa modelagem, observou-se que o valor de máxima lucratividade foi de 2.990,00 R\$ ha<sup>-1</sup>, correspondente à lâmina total de irrigação de 531 mm. Nesse cálculo, foi considerado o custo médio da lâmina de água de irrigação de R\$ 1,45 mm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> e o preço médio do feijão pago ao produtor de R\$ 1,25 kg<sup>-1</sup>. Como resultado, o ponto de máxima lucratividade ocorreu com a lâmina de irrigação de 531 mm (Figura 2b) e o valor correspondente de tensão da água no solo de 61

kPa (Figura 1b), considerando a produtividade de  $2.990,00 \text{ kg ha}^{-1}$  (Figura 2b). Verifica-se que houve um decréscimo de apenas 7 % na lâmina correspondente ao ponto de máxima lucratividade em relação ao de máximo rendimento de grãos. Calheiros et al. (1996), obtiveram valor médio de lâmina para máxima lucratividade de 409 mm. Em seu trabalho, essa lâmina correspondia a 71% da necessária para o máximo rendimento de grãos. A magnitude das diferenças entre o ponto de máximo rendimento de grãos e máxima lucratividade, depende dos custos associados à irrigação e do preço do feijão a ser recebido pelos produtores. A visualização das possíveis variações desses dois fatores pode ser percebida melhor na Figura 3.



**Figura 3.** Linhas de contorno da tensão da água no solo para obtenção de máximas lucratividades em função do custo associado à irrigação e do preço do feijão a ser pago aos produtores, Planaltina-DF.

Depreende-se da Figura 3 que, quando o custo associado à irrigação for baixo e o preço do feijão for alto, o gerenciamento da irrigação pode ser feito em níveis de tensão da água no solo próximos ao ponto de máxima produtividade de 37 kPa (região A do gráfico). Numa situação econômica média, o gerenciamento da irrigação poderá ser feita considerando-se valores de tensão em torno de 60 kPa. Essa situação média pode ser determinada quando ambos os fatores forem altos (região B do gráfico), quando os dois fatores forem intermediários (região C do gráfico) ou quando ambos os fatores forem baixos (região D do gráfico), ao contrário, quando o custo da irrigação for alto e os preços do feijão forem baixos, este gerenciamento poderá ser feito considerando valores maiores de tensão da água no solo (região E do gráfico), que resultarão em menores lâminas totais consumidas, representando maior economia de água. Nessa análise, considerando-se as faixas estudadas de custos associados à irrigação e de preços do feijão, na situação mais crítica, as diferenças máximas

ocorreram para os custos associados à irrigação de 2,20 R\$ mm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> e de preços do feijão de 0,50 R\$ kg<sup>-1</sup>. Nessa situação, a redução nas lâminas foi de 27 %, em relação à lâmina de 572 mm no ponto de máximo rendimento, correspondendo a um aumento nas tensões de 566,2% e redução na produtividade de apenas 16 %. Essa redução de 27 % nas lâminas de irrigação resultou em uma economia de água de 1.571 m<sup>3</sup>/ha. Deve-se destacar que o ponto de máxima lucratividade obtido nesse trabalho é válido para a eficiência da irrigação do experimento, considerada em 88 %. Caso sejam implementadas técnicas para melhorar a eficiência da irrigação, os pontos de máxima lucratividade tenderão a se aproximar dos pontos de máximo rendimento de grãos, tão quanto maiores forem as eficiências da irrigação.

Finalmente, destaca-se que os resultados obtidos nesse trabalho serviram para demonstrar a viabilidade do gerenciamento da irrigação, levando-se em conta a possibilidade de submeter o cultivo a uma deficiência hídrica programada para obter maior lucratividade. Entretanto, as análises apenas levaram em consideração os custos variáveis da irrigação, sendo que, na prática da irrigação, a decisão do nível de manejo da irrigação também deverá levar em conta o custo total de produção. Da forma como estudado nesse trabalho, apenas pode ser conhecido o ponto de máxima lucratividade do feijoeiro irrigado, porém não permite comparações com outras culturas ou atividades.

## 6 CONCLUSÕES

O gerenciamento da irrigação do feijoeiro nos Cerrados pode ser feito levando-se em conta critérios técnicos e econômicos visando à máxima lucratividade. Isso é possível, pois, apesar das maiores produtividades serem obtidas quando as irrigações são realizadas com o nível de tensão da água no solo em torno de 37 kPa, os pontos de máxima lucratividade dependem dos valores momentâneos dos custos da água de irrigação e as expectativas dos preços do feijão a serem pagos aos produtores.

As maiores lucratividades, considerando-se uma situação média de custo da água de irrigação e preços do feijão, são alcançadas quando as irrigações são feitas com as leituras dos tensiômetros em torno de 61 kPa. Essa mudança das tensões para o início das irrigações, de 37 kPa para 61 kPa, permite uma economia de 41 mm de água no ciclo da cultura.

Os baixos preços do feijão e os altos custos de água de irrigação proporcionam as maiores diferenças entre os pontos de tensão para o máximo rendimento e máxima lucratividade. Numa situação contrária, de altos preços do feijão e de baixos custos de água de irrigação, esses dois pontos tendem a se aproximar.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, J. V. de. **A função de produção na agricultura irrigada**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, Imprensa Universitária, 2005. 196 p.

ALMEIDA, V. M. de et al. Avaliação agrônômica e econômica de sistemas de produção de feijão irrigado (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Prática**, Lavras, v. 14, p. 125-136, 1990.

ARF, O. et al. Manejo do solo, água e nitrogênio no cultivo do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, p.131-138, 2004.

ASSAD, E.D. et al. Veranicos na região dos cerrados brasileiros: frequência e probabilidade de ocorrência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, p. 993-1003, 1993.

BARROS, J. R. M.; RIZZIERI, J. A. B.; PICHETTI, P. **Os efeitos da pesquisa agrícola para o consumidor**. São Paulo: Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas; EMBRAPA, 2001. 68 p.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5. ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1989. 596 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Recursos hídricos**: conjunto de normas legais. 2. ed. Brasília, DF, 2002. 141 p.

CALHEIROS, C. B. M. et al. Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro: água como fator limitante da produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, p. 509–515, 1996.

CHRISTOFIDIS, D. Recursos hídricos, irrigação e segurança alimentar. In.: FREITAS, M. A. V. de (Ed.). **Estado das águas no Brasil**: em busca do equilíbrio. Brasília: ANA, 2002. p. 111-134.

DOLABELLA, R. H. C. **Caracterização agroambiental e avaliação da demanda e da disponibilidade dos recursos hídricos para a agricultura irrigada na Bacia Hidrográfica do Rio Jardim – DF**. 1996. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1996.

FAO. **Deficit irrigation practices**. Rome, 2002. 103 p. (Water Reports, 22).

FIGUERÊDO, S. F. **Estabelecimento do momento de irrigação com base na tensão da água no solo para a cultura do feijoeiro**. 1998. 94 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1998.

FIGUERÊDO, S. F. et al. Estabelecimento do momento de irrigação com base na tensão da água no solo para a cultura do feijoeiro. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 9, p. 35-49, 1998.

FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação**. 1986. 133 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de (Eds.). **Planejamento de irrigação: análise de decisão de investimento**. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2005. 626 p.

GUERRA, A. F.; SILVA, B. D. da; RODRIGUES, G. C. Manejo da irrigação e fertilização nitrogenada para o feijoeiro na região dos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 6, p. 1229-236, 2000.

GUERRA, A. F.; SILVA, E. M. da; AZEVEDO, J. A. Tensão de água no solo: um critério viável para a irrigação do trigo na região do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, p. 631-636, 1994.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Perspectivas para a safra de feijão da seca 2003/04 no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=1237>>. Acesso em: 06 set. 2007.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Racionalização do uso da água nos municípios de Guaira e Casa Branca, SP**. São Paulo, 1994. 2v. (IPT. Relatório 30254).

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. O uso da irrigação no Brasil. In: Freitas; M. A. V. de (Org.). **O estado das águas no Brasil - 1999**: perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos. Brasília: ANEEL; OMM; MMA, 1999. p. 73-82.

MIRANDA, L. N. de et al. Produtividade do feijoeiro em resposta à adubação fosfatada e a regimes de irrigação em solos de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, p. 703-710, 2000.

OLIVEIRA, R. M. B.; OLIVEIRA, F. de A.; GUEDES, K. Fertilização nitrogenada e irrigação na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L) em casa de vegetação. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. Campina Grande, PB, v. 4, n. 2, jul/dez. 2004. Disponível em: <<http://www.uepb.edu.br/eduep/rbct/sumarios/pdf/feijao.pdf>>. Acesso em: 07 set 2007.

PAIVA, A. S. et al. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 25, p. 161-169, 2005.

PAZ, V.P. da S. et al. Otimização do uso da água em sistemas de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 6, p. 404-408, 2002.

PAZ, V.P. da S. et al. Redução da receita líquida por déficit ou excesso de água na cultura do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 32, p. 869-875, 1997.

QUEIROZ, J. E. et al. Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro: terra como fator limitante da produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, p. 55-61, 1996.

REZENDE, R. et al. Função de produção da cultura do milho e do feijão para diferentes lâminas e uniformidade de aplicação de água. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, PR, v.26, n. 4, p.503-511, 2004. Disponível em: <[http://www.eduem.uem.br/acta/agro/2004\\_4/18\\_296\\_03.pdf](http://www.eduem.uem.br/acta/agro/2004_4/18_296_03.pdf)> Acesso em: 07 set 2007.

RODRIGUES, J. R. de M. et al. População de plantas e rendimento de grãos do feijoeiro em função de doses de nitrogênio e fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, MG, v. 26, n.6, nov/dez. 2002. p. 1218 -1227. Disponível em: <[http://www.editora.ufla.br/revista/26\\_6/art14.pdf](http://www.editora.ufla.br/revista/26_6/art14.pdf)> Acesso em: 07 set 2007.

SAAD, A. M.; LIBARDI, P. L. **Uso prático do tensiômetro pelo agricultor irrigante**. São Paulo: IPT, 1992. 27p.

SILVA, E. M. et al. Manejo de irrigação para grandes culturas. In: FARIA, M. A. et al. (Eds.) **Manejo de irrigação**. Poços de Caldas; UFLA; SBEA, 1998. p. 239-280.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, p. 74-82, 2004.

SILVEIRA, P. M. da et al. Efeitos do preparo do solo, plantio direto e de rotações de culturas sobre o rendimento e a economicidade do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.36, p. 257-263, 2001.