

Irrigação do Feijoeiro



CPAC
A994i
1986 2.ed.
ex. 2
LV-2005.00125

Irrigação do feijoeiro.
1986 LV-2005.00125



29824-2

A - MA
Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Estação Experimental dos Cerrados - CPAC

IRRIGAÇÃO DO FEIJOEIRO

Juscelino A. de Azevedo

Tarcísio José Caixeta

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA - MA
 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - CPAC
Planaltina, DF

Exemplares deste documento podem ser solicitados ao:

CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DOS CERRADOS - CPAC

BR 020 - km 18 - Rodovia Brasília-Fortaleza

Caixa Postal 70-0023

73.300 - Planaltina - DF

Telefone: (061) 596-1171

Telex: 0611621

Tiragem: 2.500 exemplares

Editor: Comitê de Publicações

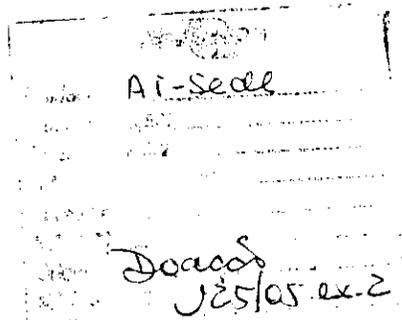
José Carlos Sousa Silva

José Luiz Fernandes Zoby

Luiz Carlos B. Nasser - Presidente

Raul Colvara Rosinha - Secretário

Wenceslau J. Goedert



Editoração: Antonio de Pádua Carneiro

Dilermando Lúcio de Oliveira

Revisão bibliográfica: Suzana Sperry

Composição: Adonias Pereira de Oliveira

Desenho e montagem: Nilda Maria da Cunha Sette

Distribuição: Daniel Venâncio Bezerra

Ficha catalográfica
(Preparada pelo SIDOC do CPAC)

Azevedo, Juscelino Antônio de
Irrigação do feijoeiro, por Juscelino Antônio
de Azevedo e Tarcísio José Caixeta. Planaltina,
EMBRAPA-CPAC, 1986.
60p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 23).

1. Irrigação - Feijoeiro. I. Azevedo, Juscelino
Antônio de, colab. II. Caixeta, Tarcísio José,
colab. III. Título. IV. Série.

CDD 631.7

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
ABSTRACT.....	6
1 INTRODUÇÃO.....	7
2 RELAÇÃO DA IRRIGAÇÃO COM O CLIMA.....	9
3 PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO IRRIGADO.....	12
4 NECESSIDADE DE ÁGUA DO FEIJOEIRO.....	12
5 INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE UMIDADE DO SOLO.....	15
5.1 Sensibilidade ao déficit hídrico.....	15
5.2 Sensibilidade ao excesso de água no solo.....	20
6 CRITÉRIOS PARA PROGRAMAR A IRRIGAÇÃO.....	22
6.1 Tensão de umidade do solo.....	22
6.2 Evaporação do tanque classe A.....	27
6.2.1 Estimativa da ETo.....	28
6.2.2 Estimativa da ETc.....	28
6.3 Cor da folhagem.....	32
7 MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO.....	34
7.1 Escolha do método.....	35
7.1.1 Disponibilidade de recursos.....	35
7.1.2 Características de topografia e permeabilidade do terreno.....	36
7.2 Irrigação por sulcos.....	37
7.2.1 Características gerais.....	37
7.2.2 Declividade dos sulcos.....	38
7.2.3 Forma e espaçamento dos sulcos.....	39
7.2.4 Vazão máxima não erosiva.....	39
7.2.5 Comprimento do sulco.....	40
7.2.6 Infiltração e tempo de aplicação de água.....	42
7.2.7 Sistemas de distribuição de água nos sulcos de irrigação.....	42
7.3 Irrigação por aspersão.....	46
7.4 Subirrigação.....	47
8 MANEJO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO.....	48
9 RENTABILIDADE DO FEIJOEIRO IRRIGADO.....	50
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

IRRIGAÇÃO DO FEIJOEIRO

Juscelino Antônio de Azevedo¹
Tarcísio José Caixeta²

RESUMO

O trabalho reúne informações relativas à prática da irrigação no feijoeiro. Mostra a sua influência na produtividade da cultura e destaca a necessidade de sua utilização, diante da deficiência de água no solo, originada das incertezas do clima nas épocas tradicionais de plantio. Discute em detalhes as reações do feijoeiro a períodos de déficit e de excesso de água. Indica as fases críticas e as necessidades totais e parciais de água. São descritos os critérios que, pela simplicidade de aplicação e maior ocorrência de resultados experimentais, permitem decidir o momento de irrigar e quantificar os volumes de irrigação. De alguns métodos de irrigação, entre os com possibilidade de serem usados no cultivo do feijão (irrigação por sulcos e por aspersão), definem-se parâmetros para aplicação racional de água. Práticas de manejo de água são estabelecidas, visando, principalmente, o cultivo do feijão no inverno. Dados de rentabilidade obtidos com plantios tecnificados são fornecidos para demonstrar a viabilidade econômica da prática da irrigação.

Palavras-chave: Feijão, Produtividade, Evapotranspiração, Manejo de água, Irrigação por sulcos, Irrigação por aspersão, Subirrigação, Déficit hídrico, Rentabilidade.

¹ Eng.-Agr., M.Sc.

² Eng.-Agr., M.Sc. Pesquisador da EPAMIG

IRRIGATION OF BEANS

ABSTRACT

This paper contains informations about the influence of irrigation on beans productivity. It shows the necessity of irrigation by reason of soil water deficit from climatic uncertainty during the normal times of sowing. The behaviour of beans subjected to both water deficit and water excess conditions, is discussed in details, indicating the critical periods and the corresponding total and partial water needs. It is presented some irrigation criteria used to determine the irrigation time and the amount of water dosage, based on research results. Also, some parameters for efficient water application in furrow and sprinkler irrigation are indicated. The water management practices established in this paper are mainly for beans cultivated during the winter season (dry season). It shows also some economic information relating to irrigated beans to assess its economic viability by irrigation use.

Key words: Beans, Yield, Evapotranspiration, Water manegement, Furrow irrigation, Sprinkler irrigation, Sub-irrigation, Water deficit, Irrigation returns.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, um dos maiores produtores e consumidores mundiais de feijão, poucos agricultores empregam irrigação como prática normal e recomendada para elevação do rendimento. Este fato transparece nos dados da Tabela 1. Não se verifica ali nenhuma relação estreita entre o crescimento médio da área irrigada, da ordem de 7,5% ao ano, e a produção e a produtividade de feijão no mesmo período.

TABELA 1. Área irrigada no Brasil (diversas culturas) em comparação com a produção e rendimento de feijão no período de 1969-1983.

	1969-70	1974	1974-76	1977	1979	1980	1981	1983
Área irrigada (1.000 ha) ¹	815	1.200	1.300	1.500	1.700	1.800	1.900	2.185 ³
Produção feijão (1.000t) ²	1.236	2.238	2.120	2.290	2.186	1.968	2.341	1.587
Rendimento (kg/ha) ²	620	521	508	503	519	423	466	390

¹FAO Production Yearbook (Estimativa).

²Fundação IBGE - Anuário Estatístico do Brasil.

³Projetada baseando-se nas estimativas de evolução média dos anos anteriores (7,5%).

As oscilações de rendimento nos três últimos anos, mostradas na Tabela 2, nos sete principais estados produtores de feijão, são explicadas pelas variações de área cultivada. Sobre dados de produção de feijão de 1949 a 1969, Medina (1972) verificou também que aumentos de produção, quando obtidos, não foram resultados de emprego de melhores técnicas. Esses dados sugerem a insignificância da área irrigada com cultivos de feijão.

Pela Tabela 2, verifica-se ainda que nos estados de maior produção (PR, SP, MG, SC e RS), que respondem por cerca de 70% da produção brasileira, os rendimentos são pouco superiores à média nacional, a despeito do total de suas precipitações (mais de 1.200 mm), o suficiente para mais de um cultivo de feijão. É que a distribuição irregular dessas chuvas, algumas vezes em excesso na maturação (plantio "das águas"), outras vezes em falta (plantio "da seca"), tem, ao longo dos anos, comprometido a produtividade do feijão.

TABELA 2. Área colhida, produção e rendimento de feijão¹ no Brasil e nos 7 principais estados produtores no período de 1981 a 1983

Estados	Área colhida (1.000 ha)			Produção (1.000 t)			Rendimento (kg/ha)		
	81	82	83	81	82	83	81	82	83
Paraná	852,8	880,0	699,7	570,9	666,8	347,0	669	758	496
São Paulo	500,1	574,9	551,7	330,3	392,6	322,6	660	683	585
Minas Gerais	753,6	743,8	545,3	393,2	335,8	243,8	521	452	447
Santa Catarina	282,7	373,0	349,1	246,1	321,0	162,4	870	861	465
Bahia	623,5	689,7	437,9	224,1	224,5	100,3	359	326	229
Rio Grande do Sul	212,7	213,5	187,4	127,7	146,8	92,4	600	688	493
Goiás	212,2	232,0	184,4	63,0	95,7	72,5	296	412	393
Brasil	5.027	5.929	4.069	2.341	2.906	1.587	466	490	390

¹ Fundação IBGE - Anuário Estatístico do Brasil - 1983/82/80.

Outros importantes fatores determinantes de baixa produtividade de feijão são: a) o sistema tradicional de cultura consorciada sem maiores tecnologias, adotado em cerca de 70% das plantações (Medina 1972); b) o pouco uso de fertilizantes e corretivos (Malavolta 1972); c) o inexpressivo uso de sementes melhoradas de maior capacidade de produção e resistentes às principais doenças (Medina 1972).

Assim, produtividades médias de feijão em torno de 450 kg/ha (Tabela 2) são muito baixas, quando comparadas com rendimentos acima de 1.800 kg/ha (Tabela 4), que se podem obter com cultivos irrigados.

A irrigação constitui, portanto, uma alternativa viável para a melhoria substancial do rendimento. Possibilita ainda, além da estabilidade de produção, a colheita de até cinco safras em dois anos, desde que se utilize a terceira época de plantio, com muitas vantagens, conforme mencionaram Caixeta et al. (1981).

A irrigação suplementar do feijão "da seca" proporciona rendimentos médios de 900 kg/ha (Sartorato et al. 1982).

A irrigação como prática isolada, entretanto, não trará os benefícios esperados. Precisa estar acompanhada das outras práticas recomendadas, como adubação em níveis e épocas indicadas, uso de sementes melhoradas e combate sistemático às pragas e doenças.

O feijoeiro é sensível tanto a excessos quanto a deficiência de água (Vieira 1967). Portanto, uma boa prática de irrigação exige conhecimentos sobre o manejo correto de água durante as diferentes fases do ciclo da cultura.

Baseado em dados experimentais publicados, este trabalho procura reunir informações referentes às relações solo-água-plantas, de maneira a fornecer indicações sobre volumes, épocas e métodos de aplicação de água na cultura do feijão (Phaseolus vulgaris L.), discutindo, quando possível, as implicações sobre a produtividade.

2. RELAÇÃO DA IRRIGAÇÃO COM O CLIMA

Com exceção da cultura do arroz no Rio Grande do Sul, a agricultura nacional depende das condições climáticas. As flutuações anuais da produção e dos rendimentos unitários acompanham o ciclo das chuvas. Isso afeta as safras de produtos importantes para o País, como a soja, o algodão, o milho, o feijão e a cana-de-açúcar (Villegas 1982).

O feijão é plantado em épocas em que as precipitações permitem alguma produção, sem a prática de irrigação.

No entanto, o risco de quebra de produção é muito grande, pois a distribuição das chuvas é de caráter aleatório. O que se verifica então, na maioria das vezes, são ocorrências de excessos de chuvas na época de secamento das vagens (dezembro a janeiro), no feijão plantado de setembro a novembro (das "águas"), e falta de água para o desenvolvimento satisfatório do feijão plantado de janeiro a março ("da seca"), que, em geral, não apresenta o inconveniente de chuvas na colheita, normalmente feita em maio.

A produção anual de feijão é praticamente a mesma, da ordem de 1,1 a 1,2 milhões de toneladas, com produtividade média de cerca de 600 kg/ha, para a safra das águas, e de 500 kg/ha, para a da seca (Sartorato et al. 1982).

Para a cultura de sequeiro, Porto et al. (1983) desenvolveram um modelo computadorizado que estima o índice médio de rendimento do feijão cultivado no Nordeste, em função da disponibilidade de umidade do solo, a partir de um balanço hídrico do local, o que permite estabelecer a melhor época de plantio, associada ao menor risco. A Tabela 3 fornece um exemplo da saída de dados do modelo, considerando o município de Irecê, no Estado da Bahia. Nesta tabela vê-se que o plantio nos períodos compreendidos na primeira quinzena de novembro permite maiores índices de rendimento.

A irrigação suplementar anula o risco de deficiência hídrica no feijão "da seca", estabilizando e aumentando a produção. Uma boa drenagem, por outro lado, pode minimizar os efeitos de grande concentração de chuvas no feijão das águas.

É evidente que o equipamento ou sistema de irrigação deverá ser planejado ou adquirido, objetivando, além da suplementação de água no caso de escassez na época chuvosa, também o cultivo de inverno (época seca). Esta possibilidade foi aventada por Vieira (1967), com plantio de abril a julho, em áreas em que o inverno não seja rigoroso, como, por exemplo, nos Cerrados.

O plantio de inverno com irrigação proporciona as seguintes vantagens, segundo Caixeta et al. (1981): a) garantia de produção com elevados rendimentos, de 1,5 a 2,5 t/ha; b) maior estabilidade da produção; c) envolvimento do empresário agrícola por exigir investimentos e tecnologias mais avançadas; d) colheita em período seco, na entressafra, com melhor aproveitamento das colheitas extras, solução dos problemas de armazenagem e de qualidade, e melhores preços para o pro-

TABELA 3. Estimativa do índice de rendimento de feijão em Irecê (BA) em diferentes épocas de plantio (parte da tabela original).

Período	Resultado (%)				Índice médio de rendimento	Excedente (% de anos)					Déficit (% de anos)					Excedente médio (mm)	Déficit médio (mm)
	Mau	Reg.	Bom	Ace		0	50	100	150	200	0	50	100	150	200		
						50	100	150	200	+	50	100	150	200	+		
08 SET - 12 SET	100	0	0	0	0,04	62	26	8	2	2	2	2	8	44	44	45	187
13 SET - 17 SET	100	0	0	0	0,05	67	26	2	0	5	3	5	8	55	29	46	181
18 SET - 22 SET	100	0	0	0	0,06	61	29	5	0	5	2	5	20	50	23	55	172
23 SET - 27 SET	100	0	0	0	0,08	53	26	11	2	8	2	8	26	47	17	68	162
28 SET - 02 OUT	100	0	0	0	0,10	56	14	11	11	5	2	11	35	38	14	73	151
03 OUT - 07 OUT	97	2	1	3	0,13	53	17	11	11	8	2	20	41	29	8	79	139
08 OUT - 12 OUT	97	2	1	3	0,17	50	23	5	8	14	2	26	47	20	5	89	127
13 OUT - 17 OUT	90	9	1	10	0,21	49	21	9	9	12	4	36	39	18	3	83	115
18 OUT - 22 OUT	90	9	1	10	0,25	49	21	12	6	12	7	42	36	12	3	77	105
23 OUT - 27 OUT	84	15	1	16	0,31	46	18	15	6	15	13	51	24	12	0	84	97
28 OUT - 01 NOV	75	24	1	25	0,36	40	24	12	9	15	22	39	30	9	0	93	91
02 NOV - 06 NOV	66	33	1	34	0,38	34	18	21	12	15	19	42	30	9	0	110	88
07 NOV - 11 NOV	60	36	4	40	0,40	25	24	18	15	18	25	39	27	9	0	124	88
12 NOV - 16 NOV	60	36	4	40	0,38	25	21	21	12	21	19	39	33	9	0	135	91
17 NOV - 21 NOV	69	30	1	31	0,33	19	21	21	18	21	19	30	42	9	0	129	95
22 NOV - 26 NOV	81	12	7	19	0,30	19	30	18	15	18	19	33	30	15	3	124	99
27 NOV - 01 DEZ	75	18	7	25	0,29	22	24	21	12	21	16	39	27	15	3	116	102
02 DEZ - 06 DEZ	81	15	4	19	0,29	28	27	24	12	9	13	33	42	12	0	100	105
07 DEZ - 11 DEZ	84	12	4	16	0,27	34	21	21	15	9	10	36	36	18	0	103	107
12 DEZ - 16 DEZ	87	12	1	13	0,26	34	24	21	9	12	10	33	42	15	0	101	108
17 DEZ - 21 DEZ	81	18	1	19	0,24	31	33	15	15	6	7	36	39	18	0	101	108
22 DEZ - 26 DEZ	78	18	4	22	0,24	34	30	18	9	9	10	36	39	15	0	98	108
27 DEZ - 31 DEZ	87	9	4	13	0,25	37	30	18	9	6	7	39	36	18	0	92	108

FONTE: Porto et al. (1983).

duto; e) condições excepcionais para a produção de sementes certificadas ou fiscalizadas, de melhores preços que os grãos destinados ao consumo; f) expansão da cultura do feijão sem concorrência com outras culturas, tais como milho, soja e arroz.

3. PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO IRRIGADO

A Tabela 4, que fornece dados experimentais e de lavoura sobre produtividade, dá uma idéia das possibilidades da prática de irrigação do feijão. Constata-se em alguns casos os acréscimos de rendimento devido à irrigação total. Em outros observa-se o efeito da irrigação suplementar em épocas de déficit artificial (simulado) ou natural (distribuição irregular das chuvas) sobre a cultura do feijão. Esses dados revelam ainda que a prática da irrigação, no período seco e no período chuvoso (suplementar), permite rendimentos médios de 1.800 kg/ha, com acréscimos de 260% (3,6 vezes mais), em comparação com o rendimento sem a irrigação, de apenas 504 kg/ha.

Nos experimentos que tiveram tanto a quantidade de água como a época de sua aplicação bem controladas, sem a interferência de nenhum fator negativo (chuvas mal distribuídas e/ou doenças), os rendimentos são da ordem de 2.346 kg/ha (média dos cinco valores acima de 2.100 kg/ha).

Acréscimo de produção de 100% (duas vezes mais), em virtude da irrigação, são comuns na literatura estrangeira, nos países que empregam as melhores técnicas de produção e que estão sujeitos a secas periódicas.

4. NECESSIDADE DE ÁGUA DO FEIJOEIRO

A finalidade básica da irrigação é proporcionar água à cultura de maneira a atender totalmente a exigência hídrica durante todo o seu ciclo. Este é o propósito, quando se deseja a produção máxima e produto de boa qualidade.

Às vezes a necessidade de água é atendida apenas parcialmente, praticando-se a irrigação com algum déficit, em virtude de suprimento limitado de água, de exigência fisiológica da cultura, diminuição dos custos da irrigação, redução da lixiviação de sais ou de combinação desses fatores.

TABELA 4. Produtividade de feijão irrigado, segundo diversos autores.

Local	Solo	Produtividade (kg/ha)		Acréscimo (%)	Observações	Referências
		s/ irrigação	c/irrigação			
Petrolina (PE)	Latossolo arenoso e argilo-arenoso	1.023*	2.216	116,6	Variedade "IPA 74-19" *Irigado c/29 dias de déficit iniciado 1 semana antes da floração	Magalhães & Millar (1978)
Petrolina (PE)	Latossolo arenoso e argilo-arenoso	1.349*	2.136	58,3	Variedade "IPA 74-19" *Irigado c/ déficit no início da floração	Magalhães et al. (1979)
Zona da Mata (PE)	-	620**	1.230*	98,4	Feijão-macassar; * X de 6 variedades **X da var. "40 dias"	IPEANE citado por Guazzelli & Miyasaka (1972)
Jacurici (BA)	-	-	1.676	-	Média de 7 variedades	Earbosa et al. citados por Guazzelli & Miyasaka (1972)
CPAC/EMERAPA	Gley Húmico e Gley Pouco Húmico	-	2.138	-	Variedade c - 178	Opção (1984)
		-	1.330	-	Variedade c - 178	
Alexânia (GO)	Várzea	-	1.800	-	-	
Ponte Nova (MG)	Várzea	346	1.798	419,6	Variedade VI - 1010	Caixeta & Bernardo (1984)
Ponte Nova (MG)	-	1.615	2.077	28,6	Média de 10 variedades houve 105 mm de chuva bem distribuídos	Caixeta et al. (1981)

TABELA 4 (cont.). Produtividade de feijão irrigado, segundo diversos autores.

Local	Solo	Produtividade (kg/ha)		Acréscimo (%)	Observações	Referências
		s/ irrigação	c/irrigação			
Careaçu (MG)	Várzea argilosa	558	1.371	145,7	Variedade "Jalo"	Garrido & Teixeira (1978)
Mocaminho (MG)	-	-	2.809	-	Variedade "Jalo"; média de 3 tratamentos irrigados	Garrido et al. (1978)
Piracicaba (SP)	Terra roxa estruturada	490	1.600	226,5	Variedade carioca	Reichardt et al. (1974)
-	-	-	2.430	-	Variedade "Carloquinha"	Martins (1979)
Monte Alegre Sul (SP)	Podzólico vermelho amarelo	-	1.783	-	Média de 9 variedades e média de 2 métodos de irrigação (subterrânea e aspersão)	Demattê et al. (1974)
Região Cerrados	-	-	1.800	-	Estimativa no período chuvoso com irrigação suplementar	EMBRAPA (1981)
-	-	-	900	-	Estimativa para feijão "da seca" com irrigação suplementar	Sartorato et al. (1982)
-	-	-	1.500 a 2.000	-	Bom rendimento comercial sob irrigação	Doorenbos & Kassan (1979)
	Médias	857 ¹ 504 ²	1.814 1.814	112 260		

¹Incluindo todos os valores.

²Excluindo os valores de Petrolina (PE), irrigado, e o de Ponte Nova (MG), que recebeu chuvas.

A quantidade de água necessária à cultura do feijão é variável com o seu estágio de desenvolvimento, com a variedade, com o local, com as condições do solo e com a época de plantio. De modo geral, é relativamente pequena, quando comparada com a de outras culturas, em razão também do seu menor ciclo vegetativo.

Numa mesma condição de solo e de acordo com o número de dias do ciclo, os requerimentos de água para máxima produção podem variar entre 300 e 500 mm, dependendo do clima (Doorenbos & Kassan, 1979).

Estes valores incluem a necessidade de água para evapotranspiração de muitas variedades de feijão, conseguindo-se, em geral, maiores rendimentos quanto maior for a quantidade de água recebida pela cultura, como mostra a Tabela 5.

O conhecimento prévio das necessidades de água em todo o ciclo do feijão é importante na fase de planejamento da irrigação, pois permite saber que volume será preciso derivar do curso de água para beneficiar uma determinada área. Esses dados permitirão, evidentemente, dimensionar os canais e/ou as tubulações de irrigação, acrescentadas, naturalmente, as perdas associadas com o método de aplicação.

Entretanto, um bom manejo da irrigação a nível de campo exige o cálculo da quantidade de água necessária em cada fase de desenvolvimento do feijoeiro, para garantir aplicações adequadas, sem excesso e sem déficit. Para o feijão, como para a maioria das culturas, a necessidade de água é variável durante o ciclo. A demanda de água em cada fase de desenvolvimento do feijão está no item 6.2, que trata da evaporação do tanque classe A como critério de irrigação.

5. INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE UMIDADE DO SOLO

A cultura do feijão apresenta algumas fases mais sensíveis tanto ao déficit quanto ao excesso de água no solo, nas quais a falta ou excesso podem comprometer a produtividade da cultura ou mesmo ocasionar a morte das plantas.

5.1. Sensibilidade ao déficit hídrico

Os efeitos do déficit hídrico iniciam-se quando a taxa de evapotranspiração suplanta a taxa de absorção de água pelas raízes e sua transmissão para as partes aéreas da planta.

TABELA 5. Rendimento relativo de feijão em função da quantidade de água recebida pela cultura.

Variedade/cultivar tipo/espécie	Ciclo (dias)	Água recebida (mm)	Rendimento relativo (%)	Observações	Referências
Jalo	82	400	100	Nordeste de Minas	Caixeta et al. (1978a)
		300	94		
		200	59		
		100	42		
Carioca; Rico 23; Rjo Tibagi, Mant. Fosco 11, Rico Pardo 896; Costa Rica; + 4 var.		213	100	1° experimento; 105 mm de chuvas; rendimento médio de 10 variedades; plantio em abril	Caixeta et al. (1981)
		190	94		
		164	91		
		105	78		
Santana; Amendoin; Palmital precoce; Estatinha; Preto 53; Sacavém 650; + 4 var.	65	123	100	2° experimento; 33 mm de chuvas; rendimento médio de 10 variedades (6 precoces - 65 dias); plantio agosto	Caixeta et al. (1981)
		105	70		
		76	33		
		33	14		
Jalo	104	455	98	86 mm de chuvas e baixa temperatura	Purcino et al. (1978a)
		365	100		
		276	84		
		185	81		
Jalo	94	603	100	197 mm de chuvas; plantio em 25/3	Purcino et al. (1978b)
		501	91		
		400	82		
		298	77		
Jalo	86	617	98	111 mm de chuvas; plantio em 12/8	Garrido et al. (1978)
		608	100		
		527	92		

TABELA 5 (cont.). Rendimento relativo de feijão em função da quantidade de água recebida pela cultura.

Variedade/cultivar tipo/espécie	Ciclo (dias)	Água recebida (mm)		Rendimento relativo (%)		Observações	Referências		
'Feijão-de-corda' (<i>Vigna sinnensis</i>) "Pitiuba"	-	471		77		23 mm de chuvas; plantio em 2/8; dados para aplicação de 80 kg N/ha	Silva et al. (1978)		
		466		100					
		378		76					
		285		63					
		235		59					
<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	-	375		100		Rendimento de vagens; plantio meados de maio em Washington USA; irrigação uniforme até cobertura total pelo dossel; dados de 1980.	Miller & Burke (1983)		
		315		92					
		255		85					
		195		74					
		135		59					
		75		57					
15		41							
Hallados Alemanos 144	82	451*	328**	100	100	*Irrigação a 70% de água dis- ponível **Irrigação a 30% de água dis- ponível	Miranda & Belmar (1977)		
		442	274	95	76				
		372	228	97	92				
		274	177	81	54				
'Oregon 1604'	63	239 ¹	305 ²	256 ³	100	100	100	1 - 1* exp. = 8 mm chuva 2 - 2* exp. = 36 mm chuva 3 - 3* exp. = 28 mm chuva	Marck & Varseveld (1982)
		130	221	213	51	70	76		
			203	173		57	80		

O déficit hídrico está associado, portanto, a uma redução progressiva da água no solo, acompanhando a profundidade radicular. Quanto maior a redução, mais severo será o déficit.

Na literatura aparecem resultados conflitantes, relativos à sensibilidade das diferentes fases do ciclo do feijão ao stress hídrico.

Kattan & Fleming (1956), por exemplo, não encontraram redução de produtividade ocasionada por seca no período de pré-florescimento, enquanto que Dubetz & Mahalle (1969) constataram 53% de redução de produtividade com stress de água, antes do florescimento. Esse estágio de desenvolvimento foi considerado como o mais sensível ao stress de umidade por Mac Kay & Eaves (1962).

Outras pesquisas mostraram, contudo, que o déficit hídrico durante a floração provoca as maiores reduções de produtividade (Kattan & Fleming 1956, Robins & Domingo 1956, Magalhães et al. 1979, Dubetz & Mahalle 1969, Hostalacio & Válio 1984). Dentro desse período crítico, a redução de produtividade tem relação com o número de dias em que o feijoeiro fica sujeito à redução de umidade, conforme demonstraram Magalhães & Millar (1978). Estes autores registraram reduções de rendimento de 20, 38 e 52% com, respectivamente, 14, 17 e 20 dias sem irrigação.

Doorenbos & Pruitt (1976) estabelecem que o período de floração e de aparecimento das vagens é mais crítico que o período anterior ao florescimento, que, por sua vez, é mais crítico que o de maturação. Esclarecem que, em caso de déficit prévio, o período de maturação é mais sensível que o período anterior à floração.

O déficit de umidade no período que vai do plantio até o aparecimento da quarta folha definitiva determina baixo número de plantas por área, apesar de o consumo de água ser pequeno (Garrido et al. 1978).

Vários trabalhos indicam que as fases de florescimento e início de frutificação do feijoeiro constituem os períodos mais críticos. Nestas fases a falta de água pode ocasionar perdas bastante significativas. Na região do Norte de Minas Gerais, observou-se que, quando ocorre déficit no início e no final da floração, na formação e no crescimento das vagens, a produção diminui de 16%, 42% e 58%, respectivamente, em comparação com tratamento sem deficiência hídrica (Garrido et al. 1979).

Maiores períodos de déficit hídrico durante a floração reduzem tanto o número de vagens quanto o número de sementes por vagem.

Essas perdas em itens de produção são parcialmente compensadas pelo aumento do peso de sementes. Períodos de stress antes da floração atrasam o desenvolvimento da planta. A menos que o stress seja prolongado, a produção de sementes não é apreciavelmente reduzida, se as condições favoráveis de umidade são mantidas após o mesmo. Déficit durante o processo de maturação diminui o rendimento pela redução no peso de sementes, mas apenas se o déficit é severo e prolongado (Robins et al. 1967).

Em áreas irrigadas, onde seja baixa a disponibilidade de água e haja necessidade de reduzir a sua aplicação, é conveniente que, do início de florescimento até a formação das vagens, a cultura não sofra deficiência hídrica, bem como da fase inicial até a formação da quarta folha definitiva. Caso seja necessário suprimir aplicações de água, isto deve ser feito no período de crescimento ou no de maturação dos grãos.

Revisando a literatura, Salter & Goode (1967) salientam a necessidade de especificar claramente nas pesquisas o critério das condições de stress e a resposta da planta. Em várias condições de clima e solo, é desejável o suprimento adequado de água até, pelo menos, a planta completar o florescimento.

A duração das etapas do desenvolvimento do feijão são variáveis com o clima, variedade e práticas culturais. Não existindo dados mais precisos (específicos da variedade e local de plantio), pode-se considerar os dados da Tabela 6.

TABELA 6. Número de dias de diferentes fases de desenvolvimento do feijoeiro¹.

Estabelecimento (Plantio-emerg.)	Desenv. vegetativo (Emerg.-in. floração)	Floração e Maturação	Plantio até Maturação
5 a 6	35 a 40	18	43 a 54
			84 a 95

¹ Dados médios obtidos por Vieira (1967), em Viçosa (MG), de 3 variedades de feijão: Rico-23, Mantelgão-Fosco 11 e Enxofre.

Em locais com temperaturas muito baixas na época de plantio, a emergência pode ser atrasada em até dez dias, o que atrasa também todo o ciclo da cultura.

5.2. Sensibilidade ao excesso de água no solo

O feijão é uma planta relativamente sensível ao excesso de água, o qual prejudica o seu desenvolvimento vegetativo e sua produção. Portanto, é necessário que as áreas irrigadas tenham um bom sistema de drenagem superficial e subsuperficial para proporcionar um adequado arejamento. Em solos com excesso de água, ocorre deficiência de oxigênio, o que provoca, entre outros danos, uma concentração inadequada de oxigênio na planta e redução da atividade microbiana do solo.

Segundo Forsythe & Pinchinat (1971), em locais chuvosos e em áreas irrigadas, o encharcamento é uma função da quantidade e intensidade da precipitação pluvial, da velocidade de infiltração de água no solo e da uniformidade de nivelamento do solo. A informação sobre o grau de tolerância ao excesso de água é valiosa para o manejo da cultura do feijão, ao indicar por quanto tempo se pode permitir o encharcamento depois de uma chuva ou de uma irrigação.

O excesso de umidade pode originar-se de problemas de drenagem deficiente ou de irrigação excessiva.

A drenagem imperfeita, com acumulação de água na superfície do solo, é mais comum em solos de várzeas. Essas condições devem ser evitadas, pois o feijoeiro não suporta, mesmo por pouco tempo, água acumulada (Vieira 1967). Um a dois dias de encharcamento já o sensibilizam (Robins et al. 1967).

Por outro lado, em regime de irrigação, o excesso de água poderá advir de sua aplicação excessiva e/ou de uma drenagem imperfeita.

Existe pouca literatura sobre o efeito do excesso de água na cultura do feijão. Todavia, com o desenvolvimento desta cultura em áreas de várzeas, tem crescido o interesse dos pesquisadores por estas informações.

Forsythe & Pinchinat (1971) observaram que a produtividade do feijão pode reduzir-se em 90%, se a planta ficar sob inundação durante 12 horas por semana. Também Meneses & Pinto (1967), na Baixada Fluminense, constataram elevada redução na produção da cultura, submetida ao excesso de umidade no solo por ocasião das fases de florescimento e frutificação. Nestas condições, a produtividade foi de apenas

56 kg/ha, enquanto que, com umidade ótima, a produtividade foi de 1.042 kg/ha. Silva (1982) observou que todos os parâmetros de produção foram influenciados pela inundação do sistema radicular durante dois, quatro e seis dias. De modo especial reduziu-se a produção por planta, mesmo quando a inundação foi por apenas dois dias. No período de florescimento houve uma redução de 48%, 57% e 68% quando a inundação foi de dois, quatro e seis dias, respectivamente. Observou também que as fases de início de florescimento e de início de formação de vagens são as mais sensíveis à má aeração do solo. Idênticos resultados são citados por outros autores, mostrando que os períodos de florescimento e de frutificação requerem maiores quantidades de oxigênio no solo.

Solo muito úmido durante o período de estabelecimento da cultura favorece geralmente a incidência de doenças radiculares, em virtude de condições propícias ao desenvolvimento dos organismos patogênicos. Da mesma forma, na fase de avançado crescimento vegetativo, uma superfície do solo muito úmida pode aumentar a incidência de organismos patogênicos na parte aérea da planta (Robins et al. 1967).

Excesso de umidade no solo, na época de colheita, atrasa as operações da mesma (Robins et al. 1967) e, quando as vagens estão secas, provoca a germinação de grãos, pondo a perder toda a colheita, ou, na melhor das hipóteses, os grãos ficam manchados, depreciando o produto (Caixeta et al. 1981)

Duthion e Mortier (1977) verificaram um prolongamento do período de desenvolvimento do feijão, com conseqüente atraso na colheita, por efeito do excesso hídrico no solo. Verificaram também que o rendimento final em grãos foi pouco afetado, com redução de apenas 15%. A maior redução ocorreu no tratamento em que se permitiu um molhamento excessivo (sem acumulação superficial de água) durante dez dias, a partir do décimo sétimo dia da germinação. Esses autores verificaram, por fim, que o feijoeiro pode compensar efeitos desfavoráveis de alta umidade, desde que condições satisfatórias de umidade sejam mantidas após o período de umidade excessiva.

De modo geral, os solos mais argilosos e pouco estruturados estão sujeitos a um maior risco de excessos de água, ao passo que aqueles com melhor estruturação, como os Latossolos de Cerrados, são menos sujeitos a excessos de água, uma vez que possuem uma boa drenagem interna.

6. CRITÉRIOS PARA PROGRAMAR A IRRIGAÇÃO

Um bom critério para programar a irrigação deve levar em conta a obtenção de rendimentos culturais favoráveis e o adequado emprego de água. As relações da água com os outros fatores envolvidos devem ser consideradas tanto nos casos de suprimento adequado quanto de suprimento limitado de água.

Existem diferentes maneiras para se controlar a irrigação, tanto no que se refere ao momento da irrigação quanto à quantidade de água a ser aplicada.

Medidas de água no solo e na planta e parâmetros meteorológicos podem servir de base para se estabelecer o calendário ótimo da irrigação, que consiste na determinação da quantidade e do momento de aplicação de água.

Todos os critérios tem suas vantagens e desvantagens. Uns são mais estudados que outros e alguns são de aplicação restrita, pois exigem equipamentos caros e normalmente não disponíveis no mercado.

Diante desse fato e para os propósitos deste trabalho, serão comentados apenas aqueles critérios considerados mais fáceis de serem aproveitados na prática da irrigação do feijão.

6.1. Tensão de umidade do solo

Das medidas ou indicadores do teor de água no solo, aparência ou tato, medida do conteúdo de água e medida de sucção da água, esta última é a melhor correlacionada com a resposta da planta à irrigação (Haise & Hagan 1967).

O reconhecimento da umidade do solo pelo tato exige muita prática e muito trabalho, estando sujeito a muitos erros.

Para determinação da umidade do solo diretamente por gravimetria despense-se muito esforço e muito tempo e seu uso rotineiro é limitado na prática, embora seja utilizado com frequência em trabalhos de pesquisa com irrigação. Requer pelo menos 24 horas para que o resultado da umidade seja conhecido.

A água do solo está retida em diferentes tensões, entre o máximo retido (capacidade de campo) e o máximo de água que a planta consegue retirar (umidade de murchamento), sendo menores os valores próximos à capacidade de campo. Estabelecendo-se a relação entre a produtividade da cultura e a variação de potencial matricial ou tensão de água, é possível determinar o momento de se fazer a irrigação.

Dentre os processos de medir a água disponível no solo e indicar o momento de se fazer a irrigação, a tensiometria tem sido bastante utilizada. É um método direto para a determinação da tensão d'água e indireto para a determinação da sua percentagem no solo. O tensiômetro é constituído de uma cápsula de cerâmica porosa, permeável à água e impermeável ao ar, ligada por meio de um tubo a um manômetro (vacuômetro), no qual a tensão é lida (Bernardo 1982).

A cápsula é enterrada na profundidade do sistema radicular. Cheio de água, o aparelho é fechado hermeticamente, fazendo-se o fluxo de água da cápsula para o solo seco, estabelecendo o vácuo no interior do tubo, que é medido pelo vacuômetro. Teoricamente o aparelho poderia medir até 1 atmosfera de tensão, mas, na prática, só tem capacidade para medir até 0,75 atm. Além deste valor, entra ar no tensiômetro e o mesmo deixará de funcionar. Sendo assim, ele cobre apenas parte da água disponível. Em solos arenosos cobre mais ou menos 70%, e em solos argilosos mais ou menos 40%. Mesmo assim, o seu uso pode ser considerado útil, haja vista a sua boa precisão e a possibilidade de ser usado como controle automático da irrigação (Bernardo 1982).

O uso do tensiômetro exige certa habilidade do operador, tanto no preparo do aparelho como na sua instalação no campo, de modo a promover um íntimo contacto entre o solo e a cápsula. Qualquer entrada de ar prejudica seu funcionamento. Para se usar o tensiômetro deve-se ter, para cada tipo de solo, a curva característica que converta a tensão de umidade lida no aparelho em percentagem de água existente no solo, a fim de que se possa calcular o volume de água a ser aplicado (Daker 1973).

Na Fig. 1, Haise & Hagan (1967), usando dados de vários autores, mostram um exemplo de curvas características dos principais solos. Observa-se que a tensiometria é um bom método para solos arenos-siltosos, franco-arenosos finos e franco-arenosos, pois permite leituras acima de 60% de água disponível, o que é normalmente utilizado em irrigações. Para solos argilosos e sem boa estruturação, o processo é falho, pois consegue medir apenas 25% da água disponível. Cobrindo apenas uma pequena faixa da água disponível, determina irrigações frequentes.

Em Latossolos de Cerrado, Azevedo et al. (1983a) encontraram cerca de 65% da água disponível retida a tensões de até 0,7 atmosferas, incluindo, portanto, a faixa de medida do tensiômetro. Vários trabalhos indicam a tensão do solo no momento de irrigar.

Vittum et al., citados por Taylor (1965), indicam que, para produtividade máxima de feijão cultivado em solos profundos, bem fertilizados e drenados, deve-se manter na profundidade efetiva de raízes uma tensão de 0,75 bar, em locais de elevada demanda evaporativa, e 2,0 bar quando esta é baixa.

Ao agrupar dados de seis trabalhos que avaliaram os efeitos da tensão de água do solo sobre a produção de feijão (Fig. 2), verifica-se que os valores da tensão de umidade não devem ultrapassar 0,6 bar, quando se objetiva produções máximas ou de no mínimo 90% do rendimento potencial. Tensões em torno de 2 bar permitem produzir até 80% do máximo. Tensões a partir de 4 bar reduzem mais de 50% do rendimento.

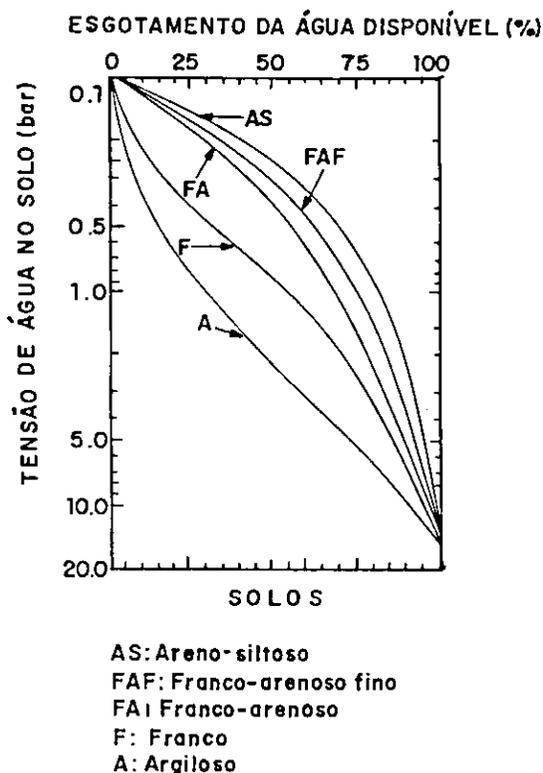


FIG. 1. Tensão de água em solos de diferentes texturas, sob vários níveis de esgotamento da água disponível (Haise & Hagan 1967).

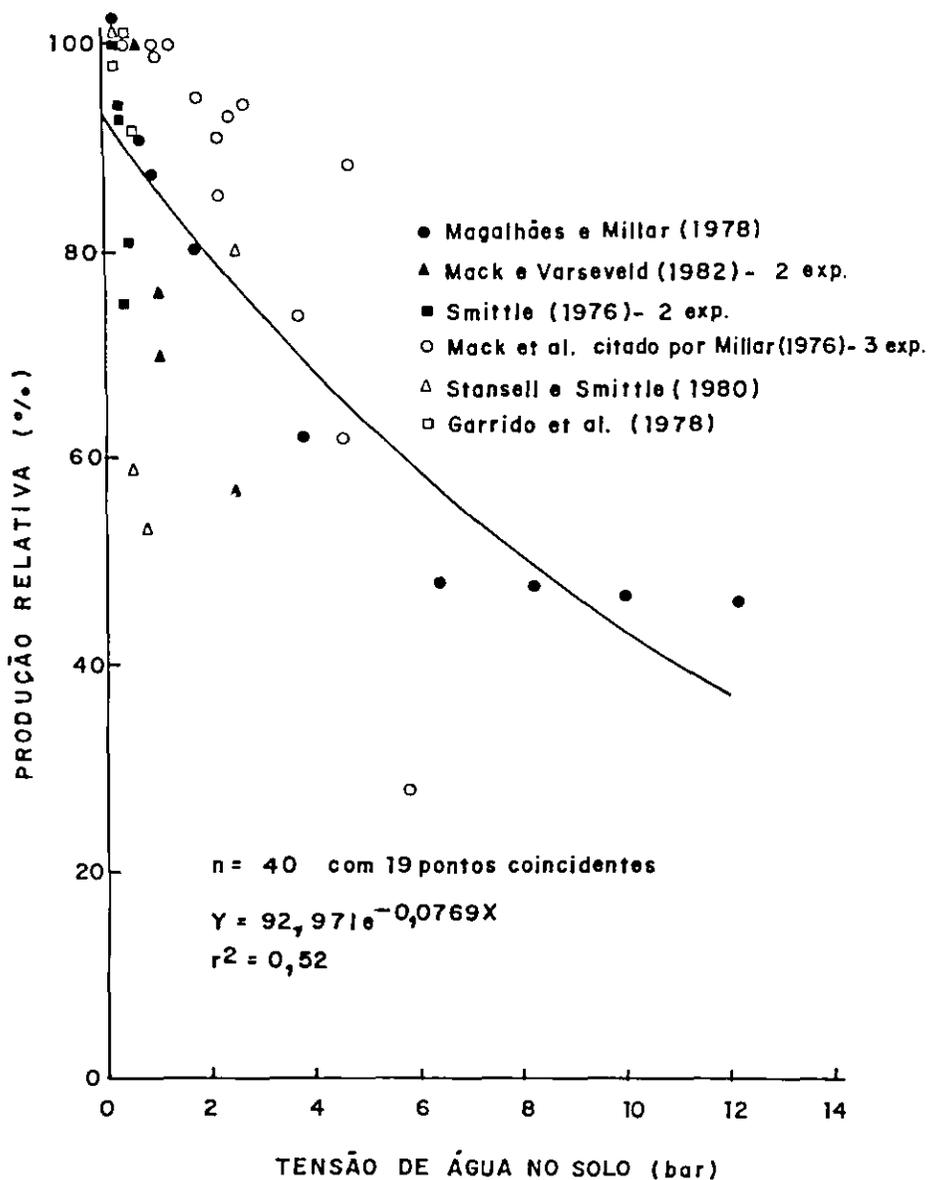


FIG. 2. Rendimento relativo de feijão em função de níveis de tensão de água no solo.

Forsythe & Legarda (1978) demonstraram que a produção de grãos e de matéria seca da parte aérea, e o número de vagens por planta, foram máximos quando se irrigou à tensão de 0,8 bar a 5 cm, ou de 0,6 bar a 15 cm de profundidade do solo, usando a cultivar "27-R". Bernardo et al. (1970) encontraram as maiores produções quando irrigavam a 0,5 bar a 10 cm de profundidade.

Além dos parâmetros climáticos determinando os níveis de tensão permitidos (Taylor 1965), existe a influência combinada da tensão e do período de desenvolvimento do feijão sobre a produtividade. Na Fig. 3, original de Magalhães et al. (1979), verifica-se que uma tensão de 5 bar na camada de 0 a 30 cm do solo, aplicada do início da floração até a floração plena (31 a 38 dias após a emergência), determinou 37% de redução no rendimento, evidenciando a necessidade de irrigação bem dosada neste período crítico. Os demais períodos de desenvolvimento do feijão foram mantidos sem déficit hídrico neste tratamento. A Fig. 3 mostra ainda que 2,7 bar em plena frutificação reduziu (23%) a produtividade, tanto quanto 7 bar no período anterior à floração. Isso mostra que a intensidade do déficit será mais ou menos pre-

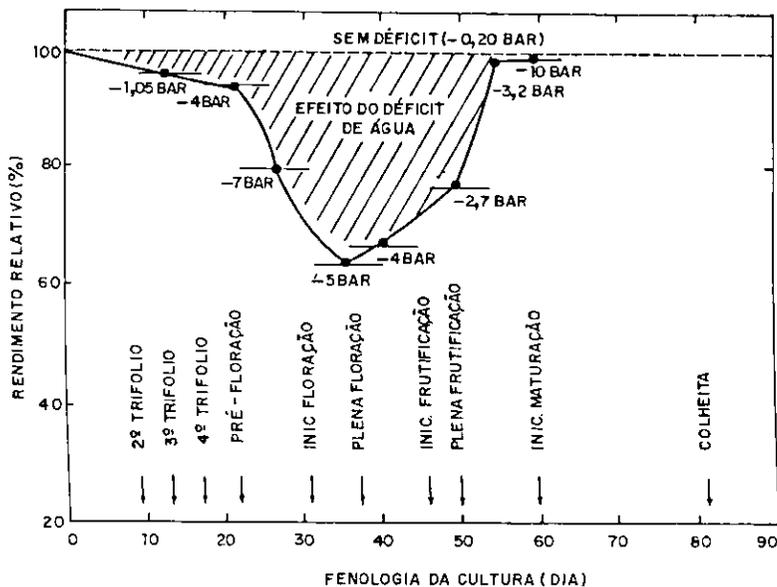


FIG. 3. Efeito do déficit fenológico de água sobre o rendimento relativo do feijão (Magalhães et al. 1979).

judicial, conforme o período em que ocorra. Déficit hídrico na magnitude de 1 a 4 bar de tensão, durante o período de desenvolvimento vegetativo, pouco reduziu o rendimento. O mesmo se verificou no período que vai da frutificação plena até início da maturação, quando a tensão de água no solo chegou até 10 bar.

6.2. Evaporação do tanque classe A

A estreita correlação existente entre a evaporação do tanque classe A e a necessidade de água da cultura foi observada por diversos pesquisadores (Doorenbos & Pruitt 1976).

Por ser um parâmetro climatológico de fácil mensuração e por exigir equipamento simples, a medida da evaporação de uma superfície livre de água contida em um reservatório padrão tem sido largamente usada para estimar a exigência em água, necessária para a evapotranspiração da cultura. Este dado, corrigido por um fator dependente do estágio de desenvolvimento da cultura, constitui a intensidade de irrigação, uma vez adicionadas as perdas devidas ao método de irrigação.

O reservatório consiste de um tanque circular de aço galvanizado, nas dimensões de 1,21 m de diâmetro interno e 25,5 cm de profundidade. É instalado sobre um estrado de madeira de 10 cm de altura, no centro de uma área coberta com vegetação rasteira (grama Batatais, usualmente) de no mínimo 400 m², para evitar o efeito da advecção. Cuidados devem ser tomados para evitar a presença de animais na área próxima ao tanque.

O tanque deve ser preenchido com água até 5 cm da borda superior. A evaporação pode ser medida com micrômetro de gancho no interior do poço tranquilizador colocado dentro do tanque. As medidas da evaporação são feitas sempre em um mesmo horário pela manhã. A oscilação do nível d'água dentro do tanque não deve ultrapassar 2 cm.

Para uma correta utilização do tanque visando à estimativa da água consumida pela planta, é conveniente lembrar algumas definições, de acordo com Doorenbos & Pruitt (1976):

- a) Evapotranspiração (ET): perda de água por evaporação do solo mais a transpiração da planta (mm/período).
- b) Evapotranspiração de referência (ET_o): ocorrente em uma superfície vegetada com grama Batatais (Paspalum notatum), bem suprida de umidade, em fase de desenvolvimento ativo, e com a bordadura adequada.

- c) Evapotranspiração máxima (ETm): ou ideal, ou perda de água por uma cultura em condições de nenhuma restrição de água, em qualquer estágio de desenvolvimento.
- d) Evapotranspiração atual ou real da cultura (ETc): perda de água de uma cultura, com ou sem restrição de água em qualquer estágio de desenvolvimento.
- e) Evaporação do tanque classe A (Ev): perda de água por evaporação a partir da superfície livre do tanque classe A (mm/período).
- f) Coeficiente de cultura (Kc): valor usado para converter ETo em ETc.

6.2.1. Estimativa da ETo

Uma boa estimativa da ETo, a partir dos dados do tanque classe A, depende do valor de Kp escolhido (coeficiente de tanque classe A usado para converter Ev em ETo). Este valor, por sua vez, é função da umidade relativa, velocidade do vento e tamanho da área gramada em volta do tanque. Assim, conhecendo-se o valor de Ev e Kp, pode-se calcular ETo (mm/período) da seguinte forma:

$$ETo = Kp \times Ev \quad (1)$$

A Tabela 7 fornece os valores de Kp.

6.2.2. Estimativa da ETc

A evapotranspiração da cultura (ETc) depende, além de outros fatores, essencialmente de seu estágio de desenvolvimento. O seu valor pode ser estimado a partir de ETo e Kc, onde:

$$ETc = Kc \times ETo \quad (2)$$

A Tabela 8 dá os valores de Kc para o feijoeiro, onde o ciclo da cultura foi dividido em cinco estádios, sendo os três primeiros referentes à fase de desenvolvimento da cultura, e os outros dois, as fases de maturação e colheita.

Substituindo-se a equação (1) por (2), tem-se:

$$ETc = Kc \times Kp \times Ev \quad (3)$$

TABELA 7. Coeficiente de tanque (Kp), para tanque classe A, em diferentes coberturas vegetais, níveis de umidade relativa média e vento, em 24 horas.

Tanque classe A		Tanque colocado em área cultivada com vegetação baixa			Tanque colocado em área não cultivada				
Umíd. Rel. Média (%)	Tamanho da bordadura (grama) m	Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta		
		< 40	40-70	> 70				< 40	40-70
Vento km/dia	Leve < 175	1	0,55	0,65	0,75	1	0,7	0,8	0,85
		10	0,65	0,75	0,85	10	0,6	0,7	0,8
		100	0,7	0,8	0,85	100	0,55	0,65	0,75
		1.000	0,75	0,85	0,85	1.000	0,5	0,6	0,7
	Moderado 175-425	1	0,5	0,6	0,65	1	0,65	0,75	0,8
		10	0,6	0,7	0,75	10	0,55	0,65	0,7
		100	0,65	0,75	0,8	100	0,5	0,6	0,65
		1.000	0,7	0,8	0,8	1.000	0,45	0,55	0,6
	Forte 425-700	1	0,45	0,5	0,6	1	0,6	0,65	0,7
		10	0,55	0,6	0,65	10	0,5	0,55	0,65
		100	0,6	0,65	0,7	100	0,45	0,5	0,6
		1.000	0,65	0,7	0,75	1.000	0,4	0,45	0,55
Muito forte > 700	1	0,4	0,45	0,5	1	0,5	0,6	0,65	
	10	0,45	0,55	0,6	10	0,45	0,5	0,55	
	100	0,5	0,6	0,65	100	0,4	0,45	0,5	
	1.000	0,55	0,6	0,65	1.000	0,35	0,4	0,45	

FONTE: Doorenbos & Pruitt (1976).

TABELA 8. Coeficientes de cultura (Kc) para o feijão.

Cultura	Condições de umid. relat. e ventos	Estádios de desenvolvimento da cultura ¹					Período total de crescimento
		I	II	III	IV	V	
Feijão verde	UR min > 70% V < 5 m/s	0,3	0,65	0,95	0,9	0,85	0,85
	UR min < 20% V > 5 m/s	0,4	0,75	1,05	0,95	0,95	0,90
Feijão seco	UR min > 70% V < 5 m/s	0,3	0,7	1,05	0,65	0,25	0,70
	UR min < 20% V > 5 m/s	0,4	0,8	1,20	0,75	0,30	0,80

- ¹ Estádios - I - Inicial (emergência até 10% do desenvolvimento vegetativo).
 II - Desenvolvimento da cultura (10% até 80% do desenvolvimento vegetativo).
 III - Meio da estação (80% até 100% do desenvolvimento vegetativo, inclusive frutos formados).
 IV - Maturação.
 V - Colheita.

FONTE: Doorenbos & Kassan (1979) - Adaptado.

Para se usar a fórmula (3), anteriormente descrita, pode-se tomar o coeficiente ($K_c \times K_p$) para cada % do ciclo do feijão, recomendado por Hargreaves (1956), dados na Tabela 9.

TABELA 9. Coeficientes ($K_c \times K_p$) para o feijão, soja, milho e algodão em diferentes estádios de desenvolvimento.

% do ciclo da cultura	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$K_c \times K_p$	0,20	0,36	0,50	0,64	0,75	0,84	0,92	0,97	0,99	1,0
% do ciclo da cultura		55	60	65	70	75	80	85	90	95
$K_c \times K_p$		1,0	0,99	0,96	0,91	0,85	0,75	0,60	0,46	0,28

FONTE: Hargreaves (1956).

O CNPAF (Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão) caracterizou os valores da ET_m e K_c durante o ciclo da cultivar CNF-0010 (feijão roxão), em área de Cerrado. Os valores de K_c foram obtidos através da relação ET_m/ET_o , sendo ET_m obtida através de três evapotranspirômetros tipo Thornthwaite, e ET_o através da evaporação corrigida do tanque classe A. Os resultados (Tabela 10) mostram que a fase de maior consumo é a floração, com valor de 6 mm/dia. Durante todo o ciclo (80 dias), a ET_m foi de 364 mm, com a média de 4,5 mm/dia. O valor médio de K_c foi igual a 1,0, durante o ciclo, e igual a 1,28, do início ao final da floração (EMBRAPA 1984).

A Tabela 11 fornece dados adicionais de consumo de água por evapotranspiração e coeficientes que relacionam o consumo real com a evaporação do tanque classe A.

Esses dados (Tabelas 10 e 11) foram obtidos em ambiente da região nuclear dos Cerrados, sendo portanto aplicáveis nos projetos de irrigação de feijão nessa região.

TABELA 10. Evapotranspiração máxima (ETM) e coeficiente da cultura (Kc), em três fases do ciclo do feijão, durante o cultivo de inverno.

Fases de desenvolvimento	Duração (dias)	Idade da planta (dias)	Evapotranspiração da máxima		Coeficiente da cultura (Kc)
			mm/dia	mm	
Emerg.-iníc.-floração	35	35	3,4	120,4	0,69
In. flor.-final floração	25	35-60	6,0	149,7	1,28
Final flor.-maturação	20	61-80	4,7	93,5	1,04
Total/média		80	4,5	363,7	1,00

FONTE: EMBRAPA (1984).

6.3. Cor da folhagem

A cor da folhagem de algumas culturas como feijão, algodão e amendoim, constitui um guia prático para estabelecer o momento de irrigação.

No início do déficit de água na planta ocorre uma mudança na cor da folhagem, de verde normal para verde escuro, à medida que a água do solo vai sendo esgotada.

Haise & Hagan (1967) revelam que o feijão tem sido irrigado com sucesso, apenas pela indicação visual da modificação da cor da folha (verde claro para verde escuro), em muitas regiões dos Estados Unidos. Nessas regiões as produtividades não foram significativamente reduzidas, mesmo quando sintomas de stress de água eram visíveis por um período de cinco dias, antes da irrigação da cultura (Fig. 4). Como resultado desses estudos, agricultores da região ocidental de Nebraska, que antes irrigavam o feijão seis ou mais vezes durante o ciclo, fazem agora unicamente três irrigações. Além disso, o período de cinco dias de déficit é tempo bastante para aplicar água em uma maior área, sem sacrificar a produtividade.

As mudanças na cor das folhas jovens do feijão, causadas pela redução de umidade do solo, diferiram nos vários estágios de cresci-

TABELA 11. Evapotranspiração real de duas cultivares de feijão e relação com a evaporação do tanque classe A.

Período de desenvolvimento	Duração (dias)	Idade da planta (dias)	Evapotranspiração real (ETc)		ETc/ Ev	Referências e observações
			Diária (mm/dia)	No período (mm)		
Germinação-Início floração	36	36	3,24	113,4	0,62	Silveira & Stone (1979)
Início floração-Final floração	24	36-60	3,20	77,1	0,77	Cultivar = Tambó
Desenv. vagens-Maturação	15	60-75	1,97	30,0	0,38	Solo: Lat. Verm. Amar.
Total ou média		75	2,80	220,5	0,59	
Germinação-Início floração	49	49	3,42	167,8	0,65	Silveira et al. (1981)
Início floração-Final floração	28	49-77	3,52	98,6	0,70	Cultivar = Rio Tibagi
Desenv. vagens-Maturação	20	77-97	3,57*	71,6	0,69	Solo: Lat. Verm. Esc. * Em virtude de elevada precipitação no período
Total ou média		97	3,50	338,0	0,68	

mento e foram mais distintas quando as plantas estavam iniciando o crescimento (Burman & Painter 1964).

Algumas variedades de feijão respondem melhor que outras à mudança de cor da folha induzida por baixa umidade. Doenças na folhagem podem dificultar a observação dos sintomas de deficiência hídrica (Haise & Hagan 1967).

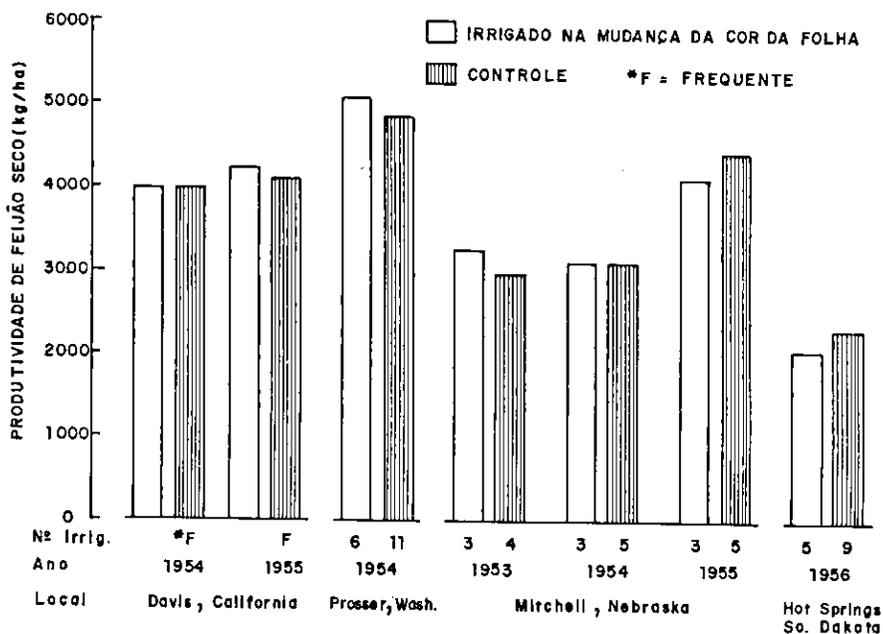


FIG. 4. Produtividade de feijão seco, quando irrigado pela mudança da cor da folha, em comparação com irrigações mais frequentes (controle), em 5 locais nos Estados Unidos (Haise & Hagan 1967).

7. MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO

Vários métodos de irrigação podem ser usados na cultura do feijão, sendo o emprego de um ou de outro método condicionado, muitas vezes, à disponibilidade de equipamentos e a condições locais. Pode-se

dizer que nenhum método é melhor que os demais e, sim, que um determinado método é melhor em determinadas condições impostas pela cultura e pelo nível de tecnologia utilizada (Caixeta 1978).

7.1. Escolha do método

A escolha do método de irrigação apropriado para o feijão, ou qualquer outra cultura, deve visar basicamente as facilidades de manejo de água pelos agricultores e a economicidade do método. Considerando sempre condições técnicas e econômicas, a escolha da modalidade de irrigação mais conveniente dependerá fundamentalmente, entre outros, dos seguintes fatores.

7.1.1. Disponibilidade de recursos

Trata-se principalmente de disponibilidades de água, mão-de-obra e máquinas ou equipamentos. Um ou mais de um desses fatores podem ser limitantes ou determinantes para a escolha do método de irrigação. Assim, se se dispõe de pouco suprimento de água e mão-de-obra reduzida, o agricultor deverá optar por métodos de irrigação mais eficientes em aplicar água e que exigem pouca mão-de-obra, como a aspersão. Ao contrário, se existem água e mão-de-obra suficientes e maquinário capaz de realizar um cuidadoso preparo do solo, os métodos de irrigação superficial (através de sulcos) devem ser preferidos, pois são, na maioria das vezes, de custo de implantação mais baixo que os métodos sob pressão (Azevedo 1982).

A quantidade de água existente determina a área máxima a ser beneficiada com irrigação.

Nos casos em que as vazões disponíveis na seca sejam distribuídas por um número maior de usuários, cabendo a cada um uma fração da vazão total, é sempre conveniente a construção de reservatórios para acumulação de água nas horas em que não se irriga.

No caso dos métodos de irrigação por sulcos, por serem normalmente operados durante 8 a 10 horas por dia, recomenda-se a acumulação nas 14 a 16 horas restantes, de maneira a se dispor no dia seguinte de vazões de distribuição maiores que a de adução e, em consequência, irrigar áreas maiores. Como exemplo, pode-se citar o sistema de irrigação na área do CPAC (EMBRAPA), cuja fonte de suprimento (córrego Sarandi) fornece uma vazão máxima de 100 l/s, o que beneficiaria

somente 17 ha, caso fosse derivado diretamente para a área de irrigação das culturas (considerando uma dotação de rega de 2 l/s.ha, sistema de irrigação superficial bem manejado e um período de irrigação de 8 horas/dia). Com acumulação durante 24 horas (16 horas sem irrigação mais 8 horas com irrigação), o reservatório, com capacidade para 8.640m³, pode derivar uma vazão de até 300 l/s, podendo atender, consequentemente, uma área 3 vezes maior, e igual a 50 ha (Azevedo 1982).

Um equipamento de aspersão convencional móvel com uma dotação de 1,25 l/s.ha, trabalhando o mesmo tempo e usando água acumulada deste sistema, é capaz de irrigar até 80 ha. Já uma irrigação por aspersão através de um equipamento Pivô-Central, bombeando unicamente 75 l/s, sem acumulação e continuamente, funcionando a uma velocidade de 50% da velocidade máxima (52 horas para 1 giro completo), pode irrigar uma área de 117 ha, proporcionando uma dotação de rega de 0,64 l/s.ha (Azevedo 1982).

Verifica-se, portanto, que existem diferentes opções com relação ao aproveitamento parcial ou total do curso d'água, com e sem acumulação.

O recurso mão-de-obra, em muitos casos abundante, é, todavia, desqualificado para a prática da irrigação. Pode, entretanto, ser treinado em tempo relativamente curto.

Quanto à maquinaria, esta se refere principalmente a máquinas e implementos de preparo do solo, incluindo de sistematização, abertura e compactação de canais e drenos e construção de sulcos de irrigação. Existem diferentes tipos de implementos no mercado que atendem as necessidades de preparo de áreas a serem irrigadas.

No CPAC/EMBRAPA foi desenvolvido um sulcador que permite as operações simultâneas de sulcagem, adubação e plantio, e que se adapta facilmente aos principais tipos de semeadeiras-adubadeiras existentes, resultando em economia de tempo, mão-de-obra e combustível. O sulcador, já testado em lavouras de feijão, soja e milho, possui ainda um dispositivo mecânico que pode ser regulado para diferentes espaçamentos e níveis de profundidade, conforme a exigência de cada cultura (Sulcador 1984).

7.1.2. Características de topografia e permeabilidade do terreno

Geralmente não se recomenda a irrigação superficial (inundação ou em sulcos) em solos de permeabilidade acentuada. A alta infil-

tração determina elevado consumo de água. O relevo irregular exige acentuada subdivisão em áreas unitárias muito pequenas, o que dificulta o trabalho com máquinas e exige muita mão-de-obra. Em topografia com declividades pronunciadas, há o perigo de erosão.

Essas idéias gerais constantes dos manuais de irrigação, devem ser tratadas com critério, pois tem-se verificado que é possível nesses casos a irrigação superficial com eficiência satisfatória, desde que conhecidos e aplicados os parâmetros de operação que determinam o manejo da água (Azevedo 1982).

Convém observar que qualquer que seja o método a ser utilizado e por mais minucioso que seja o projeto, nunca funcionará a contento se não for executado convenientemente. Também durante a operação do sistema, são comuns problemas que, à primeira vista, parecem ser decorrentes da deficiência do método, quando, muitas vezes, são provenientes de falhas operacionais ou de falta de manutenção adequada. É sabido que o pessoal de operação e de manutenção inabilitado pode transformar em fracasso um projeto executado com todo rigor técnico, quando da execução das irrigações. Tão importante quanto ter um bom sistema de irrigação, é ter pessoal devidamente habilitado para sua operação.

7.2. Irrigação por sulcos

7.2.1. Características gerais

É um método de irrigação superficial que se adapta à maioria das culturas, principalmente às cultivadas em fileiras, como a do feijão.

Esse método consiste em aplicar água através de sulcos de irrigação, normalmente feitos entre as fileiras das plantas, de maneira a incorporar junto a elas um nível de umidade adequado, através da infiltração da água nos lados e no fundo do sulco.

É um método que exige um bom preparo do solo para irrigar com facilidade e eficiência. A mão-de-obra necessária é geralmente maior, em comparação com qualquer outro método de irrigação superficial (Booher 1974). Por outro lado, requer quase sempre reduzidos investimentos iniciais e proporciona baixa taxa de depreciação (Rawitz 1973).

Os sulcos podem ser retos em terrenos de relevo plano ou de declividade uniforme. Em terrenos ondulados são traçados seguindo

aproximadamente as curvas de nível e são chamados de sulcos em contorno.

7.2.2. Declividade dos sulcos

Em geral a declividade dos sulcos está associada com a natureza do solo, com o comprimento do sulco e com a quantidade de água a ser aplicada em cada sulco.

É necessário algum declive para que a água corra no sulco e, segundo Booher (1974), não deve ultrapassar os 2% na direção do movimento da água. Em terrenos planos podem ser usados sulcos nivelados (declividade zero) e fechados na extremidade final. A grande maioria das áreas a serem irrigadas são levemente onduladas, nas quais se recomenda empregar sulcos em contorno. Estes são adaptáveis a terrenos de 2 a 5%, sendo que as declividades menores são preferíveis (Grassi 1972).

As declividades ótimas do sulco estão entre 0,2% (terrenos sistematizados) a 1% (baixas vazões). O declive dos sulcos não deve ser tão grande que ocasione erosão para uma dada vazão, e nem tão pequeno que provoque transbordamento de água para os sulcos adjacentes. Azevedo & Silva (1983) verificaram que a declividade de 0,5% ao longo dos sulcos permitiu grande variação de vazão (1,4 a 2,5 l/s), sem problemas de erosão ou de transbordamento.

A declividade dos sulcos deve ser uniforme ao longo do comprimento, sob pena de comprometer a eficiência de aplicação de água. Se a topografia não permite esta uniformidade, a sistematização necessária deve ser feita tendo em vista combinar declividades diferentes em 2 ou 3 segmentos do sulco.

A erosão do solo é o principal fator a ser considerado na determinação da declividade dos sulcos, uma vez que está associada com a velocidade da água no sulco e com a maior ou menor erodibilidade do solo. De modo geral os solos argilosos e bem estruturados são menos erodíveis que os arenosos e, por consequência, permitem maiores declividades. Os solos argilosos, cujos agregados são instáveis quando saturados, são facilmente erodidos, exigindo menores declividades (Bernardo 1982).

7.2.3. Forma e espaçamento dos sulcos

Dependem basicamente das características do solo, do equipamento utilizado e da cultura a ser irrigada. Em geral a forma mais comum é a do tipo V, com 20 e 30 cm de largura e 15 a 20 cm de profundidade.

É conveniente, entretanto, a construção de sulcos de forma semicircular, que permita maior corte para movimentação da água no sulco e menor possibilidade de erosão de suas paredes. De modo geral, os sulcadores encontrados no mercado brasileiro não são eficientes para a abertura de sulcos de irrigação, uma vez que o corte do fundo do sulco é muito pequeno, o que facilita a erosão durante as primeiras irrigações, provocando uma diminuição da profundidade do sulco e de sua secção.

O espaçamento do sulco será tanto menor quanto mais permeável seja o solo. Neste caso, em virtude da reduzida infiltração horizontal em relação à vertical o espaçamento é reduzido.

O principal objetivo, ao determinar-se o espaçamento dos sulcos, é assegurar que a movimentação lateral da água entre os sulcos adjacentes umedeça toda a zona radicular do feijoeiro, sem que haja perdas de água abaixo das raízes. De modo geral, tem-se empregado sulcos espaçados de 0,90 a 1,00 m, com duas fileiras de plantas entre eles.

Em áreas de várzeas, sistematizadas e drenadas, em que o tabuleiro apresenta desnível, os sulcos são feitos no sentido da declividade do tabuleiro, com o canal regador aberto junto à taipa superior e o dreno parcelar junto à taipa inferior, conforme o esquema da Fig. 5. Os sulcos são abertos com espaçamento de 0,9 a 1,8 m, dependendo da menor ou maior movimentação lateral da água (Caixeta 1982).

7.2.4. Vazão máxima não erosiva

A vazão máxima não erosiva é o volume de água por tempo, que um sulco comporta sem causar erosão. A vazão máxima não erosiva é maior em sulcos de maior corte. Num mesmo sulco ela diminui à medida que o declive aumenta.

Em condições de Latossolo Vermelho-Escuro (LE) argiloso de Cerrados, verificou-se que 2,5 a 3,0 l/s representam as vazões máximas permitidas em sulcos em contorno, com 0,5% de declive. A vazão de 3

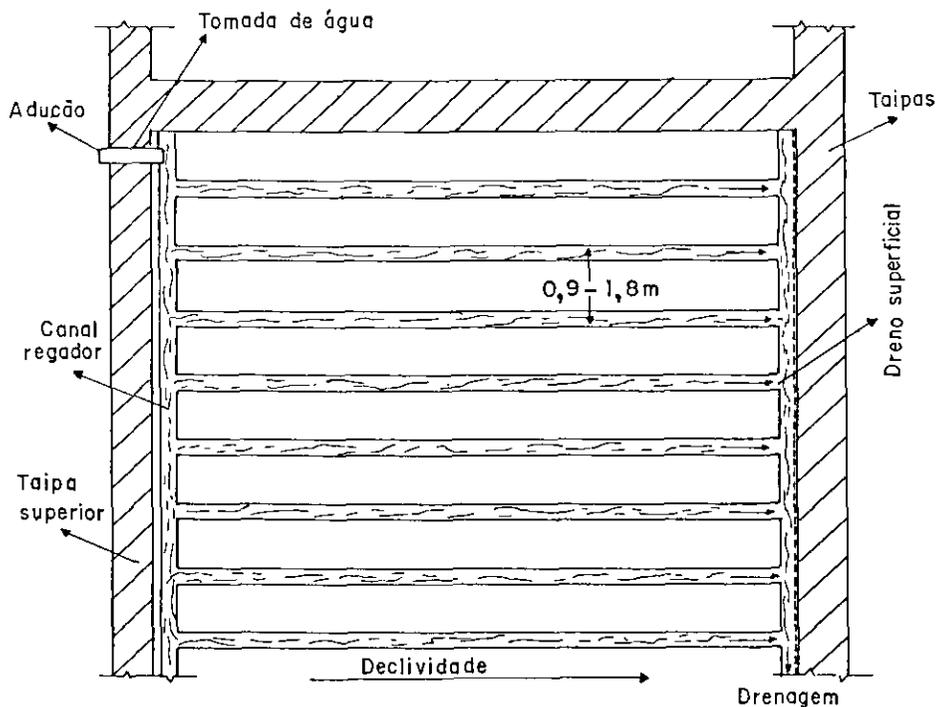


FIG. 5. Esquema de irrigação por sulcos em declive em tabuleiros com desnível (Caixeta 1982).

1/s, quando testada, ocasionou erosão das paredes nos primeiros 15 metros de sulco o que leva a recomendar 2,5 l/s (Azevedo & Silva 1983).

7.2.5. Comprimento do sulco

O comprimento do sulco é um dos fatores de grande importância em um projeto de irrigação. A quantidade de mão-de-obra exigida, o custo de irrigação, a perda de áreas de cultivos e a dificuldade de mecanização aumentam com o decréscimo do comprimento do sulco. Por outro lado, em sulcos compridos aumentam as perdas de água e diminui a eficiência de aplicação, além de maiores riscos de erosão durante as chuvas.

O tamanho dos sulcos depende principalmente do coeficiente de infiltração e da vazão dos mesmos. Normalmente, quanto menor for a infiltração e maior a vazão na cabeceira do sulco, maior será seu comprimento. Quando não se tem valores reais, obtidos em condições locais, assumem-se valores médios de comprimento de sulcos, em função de sua declividade, da natureza do solo e da quantidade de água a ser aplicada. A Tabela 12, adaptada de Quackenbush (1957), Blair (1957) e de trabalhos desenvolvidos em várzeas do sul de Minas (Caixeta et al. 1975) e em solos aluviais do norte de Minas (Caixeta et al. 1978b) dá valores desse parâmetro.

Em sulcos em contorno com 0,5% de declividade, traçados em Latossolo Vermelho-Escuro (LE) argiloso de Cerrados, com inclinação de 4%, verificou-se que de 120 a 150 metros foi o comprimento máximo recomendável para a vazão de operação contínua, em torno de 2 l/s (Azevedo & Silva 1983).

TABELA 12. Comprimentos recomendáveis de sulcos de irrigação, em função de sua declividade, da natureza do solo e da quantidade de água a ser aplicada.

Declividade do sulco (%)	Solo de textura fina		Solo de textura média		Solo de textura grossa	
	Lâmina a aplicar (mm)					
	50	100	50	100	50	100
0,05	200	240	120	240	60	90
0,10	220	240	160	280	90	120
0,15	240	300	200	300	100	130
0,20	300	350	220	330	110	140
0,25	320	400	250	350	120	190
0,30	280	350	220	330	120	180
0,40	240	280	190	250	100	140
0,50	220	260	160	210	90	120
0,75	175	250	140	190	80	115
1,00	150	230	115	165	70	100

7.2.6. Infiltração e tempo de aplicação de água

Constituem dois dos mais importantes parâmetros para o manejo da água de irrigação. O manejo de água em sulcos, normalmente recomendado, é aplicar a vazão máxima não erosiva até a água alcançar o final do sulco, quando então, a vazão é reduzida para o valor que atenda tão somente a infiltração. Em solos permeáveis como Latossolos, recomenda-se reduzir a vazão máxima para um valor algo acima da infiltração, para não correr o risco de a água não alcançar o comprimento determinado, após a redução. Em Latossolo Vermelho-Escuro (LE) argiloso de Cerrado, após 6 horas de determinação, a velocidade de infiltração alcança valores médios de 8 a 9 cm/h, o que corresponde a cerca de 1,47 l/s por 120 metros de sulcos em contorno, espaçados de 70 a 75 cm. Daí, a recomendação de uma vazão reduzida no segundo tempo de irrigação, em torno de 2 l/s.120 m para o sulco em contorno, neste tipo de solo (Azevedo & Silva 1983).

O tempo de aplicação de água dependerá da lâmina a ser aplicada e do comprimento do sulco. A Tabela 13 fornece estes dados, aplicáveis ao Latossolo Vermelho-Escuro (LE) argiloso de Cerrados.

Pela Tabela 13 nota-se que a eficiência de aplicação varia com a lâmina aplicada, com o comprimento do sulco e com o tempo de irrigação. Lâminas baixas como 25 mm, aplicadas em sulcos com comprimentos de 90 a 150 m, levam a baixa eficiência de aplicação. As lâminas de irrigação que proporcionam eficiência aceitável (60 a 66%) em tempo mais curto são as de 75 a 100 mm. Eficiência um pouco maior pode ser conseguida, não sendo, entretanto, vantajosa pois corresponde a tempo de irrigação de mais de 3 horas, com elevadas lâminas.

Nesse solo, em sulcos de irrigação em contorno, com 120 m e 0,5% de declive, um manejo recomendado é aplicar 2,5 l/s até a água chegar ao final, reduzindo para 2 l/s durante 1 hora e 8 minutos. Este manejo aplica de 75 mm a 100 mm de água no final do sulco com uma eficiência de 60%. Para economizar mão-de-obra, pode-se irrigar com uma vazão contínua de 2 l/s durante 1 hora, após a água chegar ao final do sulco, sem comprometer grandemente a eficiência (Azevedo 1982).

7.2.7. Sistemas de distribuição de água nos sulcos de irrigação

A distribuição de água nos sulcos é feita por canais regadores, cuja capacidade vai depender da área a ser irrigada e da quanti-

TABELA 13. Eficiência de aplicação, perdas de água e tempo de irrigação para diferentes lâminas de água e comprimento de sulco de irrigação em contorno, com vazão de 1,04 l/s, espaçados de 70 cm, com declive de 0,5% em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso. EMBRAPA-CPAC.

Lâmina (mm)	Comprimento do sulco (m)	Tempo (min)			R	Perdas de água (%)		Eficiência de aplicação (%)
		Avanço	Infiltração	Irrigação		Percolação	Escorrimento	
25	90	20	22	42	1,10	29,8	22,6	47,6
	120	38	22	60	0,58	44,4	8,9	46,7
	150	75	22	97	0,29	61,1	1,2	37,7
50	90	20	45	65	2,25	17,3	31,2	51,5 ¹
	120	38	45	83	1,18	28,4	14,5	57,1 ¹
	150	75	45	120	0,60	43,6	3,2	53,2
75	90	20	68	88	3,40	12,2	35,7	52,1 ¹
	120	38	68	106	1,79	20,8	18,1	61,1 ¹
	150	75	68	143	0,91	33,9	4,9	61,2 ¹
100	90	20	93	113	4,65	9,2	38,7	52,1
	120	38	93	131	2,45	16,2	20,8	63,0 ¹
	150	75	93	168	1,24	27,4	6,5	66,1
125	90	20	117	137	5,85	7,5	40,6	51,9
	120	38	117	155	3,08	13,3	22,7	64,0
	150	75	117	192	1,56	23,1	7,7	69,1
150	90	20	142	162	7,10	6,3	42,1	51,6
	120	38	142	180	3,74	11,2	24,3	64,5
	150	75	142	217	1,89	19,9	8,8	71,3

¹Dados indicados para planejamento de projetos e manejo de água.

FONTE: Azevedo (1982).

dade de água disponível. Para a adução de água aos sulcos, utilizam-se vários processos, sendo mais comum o uso de sifões de mangueiras de 3/4 a 2 polegadas de diâmetro. Sistemas mais complexos, com menores custos operacionais, podem ser usados, apesar de terem custos iniciais mais elevados. Destes, cita-se o método semi-automático dos "spiles", que reduz a mão-de-obra em mais ou menos 90% com relação ao sistema convencional de irrigação por sulco, além de aplicar a água com maior eficiência, uma vez que faz a redução de vazão inicial, automaticamente (Bernardo 1982).

Sendo os sulcos em contorno traçados no sentido do nível do terreno, o volume de água a ser distribuído ao mesmo tempo nos sulcos de irrigação é derivado no sentido do declive, o que exige estruturas especiais para evitar a erosão do solo. Estas estruturas podem ser degraus colocados em canais de terra no sentido do declive, ou tubo janelado. Os canais de terra, que devem ser elevados em relação ao solo para permitir a derivação de água (por sifões), são indicados para terrenos mais planos e são comumente escavados em aterro. Os sifões derivam para os sulcos uma vazão variável com a carga hidráulica e com o diâmetro do sifão (Azevedo 1982).

O tubo janelado pode ser usado para aplicação de água nos sulcos em áreas planas ou inclinadas. Tem a grande vantagem de ser móvel e permitir a derivação de vazões desde zero a 4 l/s no sulco de irrigação. Silva et al. (1982) desenvolveram uma modalidade de janela que, adaptada a tubos de PVC rígido comercialmente disponíveis, oferece uma excelente opção pela facilidade de manejo de água. O custo deste equipamento é baixo. Um conjunto de 30 m pode irrigar até 15 ha ao final de 7 dias, considerando comprimento do sulco de 100 metros e um tempo de irrigação de 9 horas/dia. Detalhes da construção, material usado e pressão que suporta são encontrados em Silva et al. (1982).

Uma variação do sistema de irrigação por sulcos, combinada com inundação intermitente, tem sido realizada pelos agricultores em áreas de várzeas sistematizadas, onde os tabuleiros possuem desnível zero. O sistema consiste em canais de pequenas dimensões abertos junto às taipas limítrofes do tabuleiro. Após uma irrigação ou precipitação esses canais servirão de drenos superficiais para a retirada do excesso de água. Os sulcos são abertos interligando os canais em nível, de tal modo que, para se fazer a irrigação, a água é aduzida ao tabuleiro em um ou mais pontos do canal e fluirá inundando os sulcos em nível, de modo a não submergir o terreno situado entre os sulcos onde é cultivado o feijão. O excesso de água de chuva ou de irrigação será reti-

rado da área para os drenos implantados junto ao tabuleiro ou mesmo para os tabuleiros situados abaixo, para irrigação destes. A Fig. 6 mostra um esquema básico de irrigação em tabuleiros nivelados, onde são mostrados os sistemas de adução, distribuição e drenagem da água.

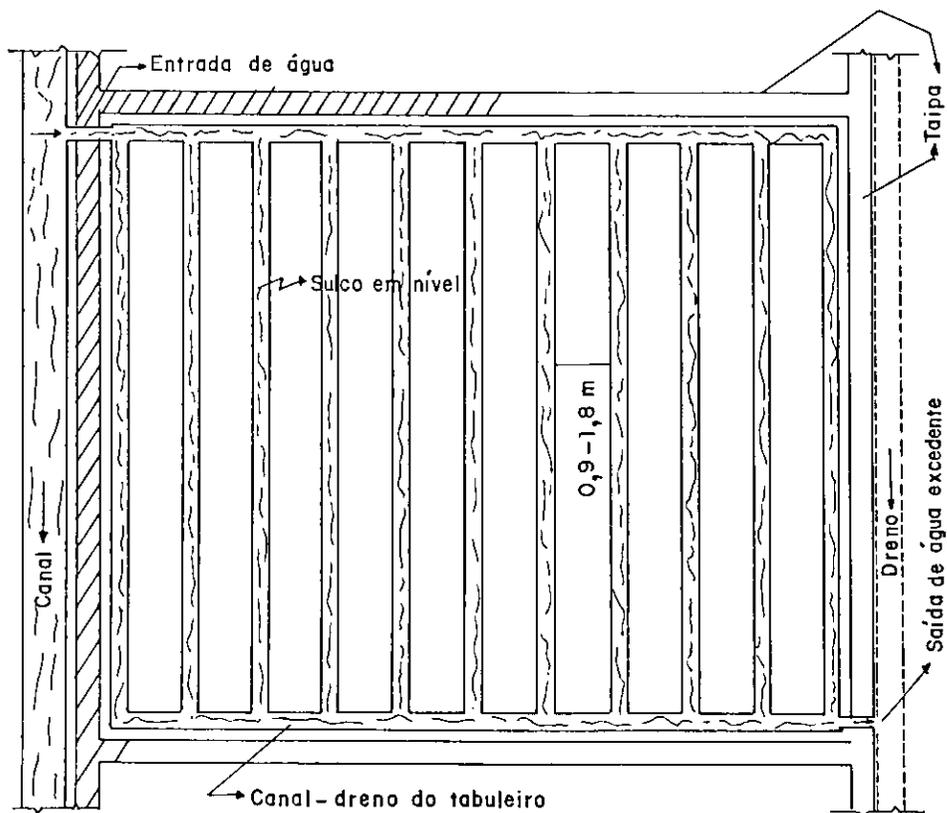


FIG. 6. Esquema de irrigação por sulcos em tabuleiros nivelados.

Para que haja maior uniformidade de germinação, é conveniente que a primeira irrigação seja feita de modo que corra uma pequena lâmina de água por sobre o terreno de plantio, de modo a promover uma irrigação uniforme sobre toda a superfície. Nas demais irrigações, a inundação não deve atingir as plantas, pois o feijoeiro é bastante sensível a baixa aeração do solo, mesmo por tempo relativamente curto.

No intervalo entre irrigações, é necessário que o sistema de drenagem fique aberto para prevenir possíveis inundações ocasionadas por chuvas.

O sistema descrito possui a vantagem de facilitar a irrigação, pois, com a adução de água ao tabuleiro, a mesma é distribuída em todos os sulcos do tabuleiro, sem a necessidade de colocar água em cada sulco.

7.3. Irrigação por aspersão

A irrigação por aspersão consiste em fornecer água sob a forma de chuva artificial, utilizando-se para isso de equipamentos especiais. É um sistema de grande versatilidade e que pode ser usado em qualquer tipo de solo e para quase todas as culturas. O equipamento especial consiste, basicamente, de um conjunto motobomba, de tubulações leves e de aspersores. O jato e o seu fracionamento são obtidos pela passagem de água sob pressão através de pequenos orifícios ou bocais. Para o seu bom funcionamento, entretanto, torna-se necessário um projeto adequado às peculiaridades da área e que leve em conta os aspectos do solo, do clima e da cultura.

Quanto mais grossa for a textura do solo, maior será a vantagem do uso da irrigação por aspersão, em relação à de superfície, pois os solos arenosos, franco-arenosos, ou mesmo argilosos e bem estruturados, possuem alta capacidade de infiltração de água, o que ocasionará muita percolação. Esses solos possuem também baixa capacidade de retenção de água, requerendo irrigações frequentes, com aplicação de menor quantidade de água por irrigação, o que é mais fácil de ser conseguido por aspersão do que por superfície.

A implantação de irrigação por aspersão implica em custos iniciais elevados. Podem estes, entretanto, ser reduzidos por meio de um projeto eficiente e de métodos adequados de operação. Apresenta a grande vantagem de economizar água, irrigando com maior eficiência, além de dispensar o preparo do terreno, necessário nos métodos de irrigação por superfície. Através da irrigação por aspersão, pode-se mais facilmente controlar a quantidade de água aplicada, além de permitir a aplicação simultânea de fertilizantes com a água de irrigação.

No Estado de Minas Gerais, grande parte do feijão cultivado sob regime de irrigação emprega o método de aspersão. Utilizando a capacidade ociosa dos equipamentos adquiridos para a irrigação de outras culturas, obtêm-se altas produtividades de feijão em entressafras, o que vem estimulando um maior aproveitamento deste tipo de equipamento.

Existem diversos tipos de sistemas de irrigação por aspersão, sendo que, para as condições brasileiras e da cultura do feijão, são

mais comuns os sistemas de aspersão portáteis: canhão hidráulico portátil, sistema autopropelido com canhão hidráulico e sistema pivô-central. Todos têm suas vantagens e desvantagens, e funcionam satisfatoriamente desde que bem dimensionados.

Com a irrigação por aspersão deve-se atentar para uma escolha adequada de diâmetro de bocais e funcionamento na pressão de serviço recomendada. Deve-se pulverizar bem as gotas de água, de maneira a contornar uma possível queda excessiva de flores, que pode ocorrer se as gotas forem grandes (EMBRAPA 1981).

Em testes realizados em equipamento convencional com aspersores de média capacidade (1,7 l/s de vazão e 15 m de alcance), Azevedo (1982) verificou que as distâncias de 12 metros entre aspersores na linha, e 18 m entre as linhas laterais, proporcionaram maior eficiência de irrigação. Em testes realizados na área semi-árida do Norte de Minas, utilizando-se aspersores pequenos de 0,36 l/s, em espaçamento de 12 x 12 m, verificou-se que o sistema apresentava uma uniformidade de 91% e uma eficiência de irrigação de 75% (Purcino & Marinato 1980). Utilizando aspersores com diâmetro de 6,0 a 7,5 mm, Gomide (1978) obteve coeficientes de uniformidade de Christiansen acima de 80%, quando os espaçamentos foram de 24 x 24 m e velocidade de vento menor que 0,6 m/s; 24 x 18 na velocidade de vento menor que 1,3 m/s; 24 x 12 na velocidade do vento menor que 1,5 m/s; e espaçamentos de 12 x 12, 18 x 12 e 18 x 18, na velocidade de ventos menor que 4,0 m/s.

Em equipamento de pivô-central, encontra-se eficiência de aplicação de água em torno de 75 a 80%. Este equipamento dispensa quase que totalmente a mão-de-obra, já que uma pessoa pode responder pelo funcionamento de até oito unidades irrigadoras, e permite a irrigação de áreas de até 120 ha com elevada uniformidade de distribuição de água. O sistema permite também a aplicação de adubos, juntamente com a água. Como no caso dos autopropelidos, a sua taxa de aplicação de água varia com a velocidade de deslocamento (Azevedo et al. 1983b).

Características, capacidade e detalhes de operação dos equipamentos de irrigação por aspersão são encontrados em Bernardo (1982), Azevedo et al. (1983b), e Criddle (1956).

7.4. Subirrigação

A subirrigação pode ser definida como o método de irrigação em que a água é aplicada diretamente sob a superfície do solo. A aplicação de água pode ser feita através de tubulações porosas enterradas,

ou mesmo pela manutenção e controle do lençol freático, em profundidades preestabelecidas. Pelo efeito da capilaridade, o lençol líquido dá a formação de uma franja capilar, que supre as raízes de água necessária.

Este sistema só deve ser usado em condições muito especiais, tais como:

- a) O terreno a ser irrigado deve ser plano e sua superfície bem regular. Geralmente há necessidade de um certo nivelamento para se obter melhores resultados.
- b) Deve haver uma camada de solo muito permeável (solos arenosos, orgânicos ou argilosos estruturados), sobrepondo-se a uma camada impermeável (argila densa ou lençol freático natural) localizado a profundidades superiores a 1,0 metro.
- c) Deve haver água abundante e de boa qualidade durante o período de irrigação.
- d) O sistema de distribuição deve permitir que o nível do lençol freático seja levantado ou abaixado.

No Brasil esse método pode ser utilizado em áreas de várzeas drenadas, que normalmente possuem as condições básicas. As muito argilosas possuem o inconveniente de ter uma drenagem muito lenta, comprometendo o desenvolvimento da cultura em virtude da pouca aeração do solo.

Trabalhos de pesquisa conduzidos recentemente mostraram que a manutenção do lençol freático a uma profundidade de 20 até 80 cm não alterou a produtividade do feijão, apesar de maior consumo de água quando o lençol freático foi mantido mais à superfície. Demonstraram também que a produtividade de feijão irrigado por subirrigação é menor do que quando irrigado por superfície (Pinto 1985).

8. MANEJO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

É necessário que a semente, por ocasião do plantio, encontre condições de umidade satisfatórias para uma boa germinação.

Estando o solo, a 20 cm de profundidade, com uma capacidade de armazenamento de água de 60% ou menos, deve-se aplicar uma irrigação de aproximadamente 10 a 20 mm, imediatamente após o plantio, para repor a umidade na camada superficial do solo e garantir germinação uniforme.

No início do desenvolvimento do feijoeiro, o seu sistema radicular tem capacidade de explorar apenas a porção mais superficial do solo. Nessa fase, em virtude da pequena área foliar, determinante do baixo consumo de água, e para evitar perdas significativas de água por evaporação da superfície do solo, as irrigações devem ser feitas com lâminas pequenas, de 20 a 25 mm, aplicadas no momento em que a tensão no solo alcançar 0,6 bar, a 15 cm de profundidade. Este manejo determina um controle mais efetivo sobre a lixiviação de nutrientes, principalmente de nitrogênio na forma de nitrato, que pode se perder juntamente com a água percolada para profundidade abaixo das raízes, se a irrigação for excessiva.

A medida que o feijoeiro vai crescendo, as raízes crescem também até um máximo, na época em que aparecem as primeiras vagens. A extensão das raízes na direção horizontal e vertical é variável e dependente de condições de densidade, umidade, aeração e teor de nutrientes do solo. Em comparação com outras culturas, o feijoeiro possui raízes bastante superficiais. Reichardt et al. (1974) encontraram que 90% das raízes concentravam-se nos primeiros 30 cm de solo. Em solos do Estado de São Paulo, verificou-se que mais de 80% das raízes (Inforzato et al. 1964) e cerca de 73% (Inforzato & Myiasaka 1963) localizavam-se até os 20 cm de profundidade. Segundo Robins et al. (1967), mesmo sob condições favoráveis, camadas de solo além de 1 m de profundidade são raramente exploradas pelas raízes do feijoeiro.

Essa característica de raízes rasas, aliada a condições de elevada permeabilidade, como é o caso dos Latossolos em geral, determinará irrigações espaçadas de quatro a sete dias, dependendo da demanda de água imposta pelas condições de clima e pela fase de desenvolvimento da cultura. Em solos de maior capacidade de reter água, o intervalo entre irrigações é ampliado. Irrigações muito frequentes, como um dia (Silveira et al. 1984) ou dois dias (Resende et al. 1981) não determinaram modificações apreciáveis na produção de feijão. Os custos maiores que pressupõe essa prática inviabilizam a sua recomendação. Essas considerações, evidentemente, não valem para a irrigação por aspersão com pivô-central que, por aplicar lâminas pequenas com eficiência satisfatória, exige necessariamente maiores frequências (menores intervalos entre irrigações). A maior ou menor velocidade, com que é operado o equipamento, pode determinar uma maior ou menor frequência das irrigações. Hostalacio & Valio (1984) encontraram benefícios de irrigações em duas vezes por semana nos componentes de produção do feijão.

Dos dados apresentados nas Tabelas 10 e 11, referentes ao feijão cultivado em Latossolo de Cerrado, e sabendo-se que a tensão de umidade de 0,6 a 0,8 bar ocorre em geral num intervalo de 8 a 11 dias, na fase inicial, e de quatro a sete dias nas fases posteriores de desenvolvimento, depreende-se que, naquelas condições, serão necessárias de dez a doze irrigações por cultivo, assim distribuídas: quatro da emergência até início da floração, quatro durante o período de floração e aparecimento das primeiras vagens, e mais três após essa fase.

A irrigação deve ser suspensa dez a quinze dias antes da data prevista para colheita, ou quando 50% das vagens mudarem de coloração (Santorato et al. 1982).

Computando-se as perdas associadas ao método de aplicação, serão necessários em cada aplicação de água cerca de 35 a 40 mm na irrigação por aspersão convencional, com 75% de eficiência, e pelo menos 70 mm na irrigação por sulcos, com 50% de eficiência.

Bascur & Fritsch (1975) não encontraram vantagens em produção com a irrigação alternada em comparação com a irrigação simultânea dos sulcos. A primeira modalidade, entretanto, permite o acesso fácil em algum ponto do sulco que necessite de reparos, e diminui também as possibilidades de desmoronamento de sulco vizinho por efeito de aplicação excessiva de água.

9. RENTABILIDADE DO FEIJOEIRO IRRIGADO

A prática de irrigação na cultura do feijão, nos últimos anos, tem sido incrementada graças ao bom preço obtido pelo produto. Em vista disso, constitui uma rotação cultural quase constante em todas as áreas irrigadas. Somente no PROVÁRZEAS-MG, no período de 1980 a 1981, foram colhidas 8.040 t de feijão, com produtividade de até 6,2 vezes a média estadual. Também se têm informações que nas áreas irrigadas por aspersão a cultura do feijão tem constituído a principal exploração no período de inverno.

Araújo (1981), trabalhando em campos de demonstração na Zona da Mata de Minas Gerais constatou que tanto o feijão "da seca", plantado em fevereiro com irrigação suplementar, como o feijão de terceira época, plantado em julho, com irrigação exclusiva, apresentaram bons rendimentos e uma margem líquida de receita bastante significativa, aos níveis de 1981, conforme é mostrado na Tabela 14.

TABELA 14. Produção de grãos, custos variáveis, receita bruta, margem líquida e relação benefício/custo, obtidos com a cultura do feijão, utilizando a irrigação suplementar e exclusiva.

Sistemas	Produção (kg/ha)	Custos variáveis (Cr\$/ha)	Receita bruta (Cr\$/ha)	Margem líquida (Cr\$/ha)	Relação benef./ custo
Irrigado ¹	1.620	28.000	137.000	107.000	3,82
Sequeiro ¹	792	25.860	66.000	40.140	1,55
Irrigado ²	1.662	17.442	166.400	148.958	8,54

¹Plantio "da seca" (fevereiro).

²Plantio de terceira época (julho).

FONTE: Araújo (1981) - adaptado.

Em trabalho realizado no Sul de Minas, em 1975, constatou-se que a produtividade mínima do feijão, necessária para o aproveitamento econômico da irrigação por aspersão, foi de 1.500 kg/ha (Teixeira et al. 1978). Acredita-se que atualmente são necessários menores rendimentos para que o sistema seja econômico, estimando-se em 1.200 kg/ha, como o nível mínimo de produtividade de feijão.

Sartorato et al. (1982) avaliaram a viabilidade econômica de duas tecnologias de produção de feijão, em regiões do Centro-Oeste e do Sudeste: a) o sistema tradicional (sem o emprego de adubos, defensivos e herbicidas), usando capina e colheita manuais; b) o sistema tecnificado com três irrigações suplementares. Os autores encontraram os dados estimativos apresentados na Tabela 15, concluindo que os rendimentos de 890 kg/ha (safra das águas) e 840 kg/ha (safra da seca) proporcionaram uma renda igual à obtida pelos métodos tradicionais, com rendimentos de 500 kg/ha na primeira e 450 kg/ha na segunda safra. Sabendo-se que as estimativas de rendimento com o cultivo tecnificado de feijão, usando irrigação suplementar, são da ordem de 1.500 a 1.800 kg/ha, comprovaram a elevada remuneração proporcionada pela tecnificação da cultura e emprego da irrigação suplementar.

Rosolen (1984) também demonstrou a viabilidade econômica da irrigação no feijão através dos dados mostrados na Tabela 16.

TABELA 15.. Estimativa de custos de produção da cultura de feijão em dois níveis tecnológicos.

Discriminação	Custos de produção - Cr\$ ¹	
	Tradicional ²	Tecnificado com irrigação suplementar
1. Preparo do solo e plantio		
- aração, gradagem e plantio (Cr\$ 500,00/ha/trator)	1.500	3.000
2. Insumos		
- 45 kg de semente ³	4.500	9.000
- 250 kg de adubo (4-30-15 + Zn) ⁴	-	6.250
- 20 kg de sulfato de magnésio	-	700
- 100 kg de sulfato de amônio	-	1.500
- Herbicida ⁵	-	1.200
- Defensivos (eventuais) ⁵	-	3.000
3. Práticas culturais		
- Aplicação e incorporação de herbicida (0,5 horas trator)	-	250
- Aplicação de inseticida e/ou fungicida (2 vezes = 1 hora trator)	-	500
- Adubação de cobertura (1,0 dias homem)	-	300
- Capina e cultivos 12 d/h - capina 1,5 hora/trator - cultivo	3.600	750
4. Irrigação suplementar (3 vezes)		
- Combustível e lubrificante	-	1.800
- Mão-de-obra	-	2.000
5. Colheita		
- Manual (15 dias homem)	4.500	-
- Mecânica (50% mais do que a manual)	-	6.750
6. Juros		
- Considerando-se o valor despendido desde o plantio até a colheita, na atual modalidade de juros de crédito rural	2.640	6.890
Total	16.740	43.890

Diferença = 27.150 = 390 kg de feijão

¹ Considerando-se preços da safra de 1980/81.

² Plantio sem utilização de insumos.

³ Semeio de grãos para o sistema tradicional e semente fiscalizada para a tecnologia proposta.

⁴ Estimado com base em uma das fórmulas recomendadas.

⁵ Custos estimados.

FONTE: Sartorato et al. (1982).

TABELA 16. Análise benefício/custo para o feijão (estimativas).

Parâmetros	Sem Irrigação	Com Irrigação	Diferença (%)	
			+	-
Produtividade (kg/ha)	780	1.638	858(110) ³	-
Custo operacional (US\$/ha) ¹	387	542	155 (40)	-
Custo oper. unitário (US\$/Kg)	0,50	0,33	-	0,17(34)
Renda (US\$/ha) ²	332	697	365(109)	-
Relação renda/custo	0,86	1,28	0,42 (49)	-

¹ Custos variáveis + Custos fixos relativos à safra de 82/83, transformados em dolar com cotação de nov./82.

² Cotação de janeiro/83.

³ Os números entre parênteses correspondem a diferenças percentuais.

FONTE: Rosolen (1984) - Adaptado.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, G.A. de A. Alternativas para a produção de feijão na Zona da Mata de Minas Gerais. Belo Horizonte, EPAMIG, 1981. Folder (Pesquisando, 34).
- AZEVEDO, J.A. de. Potencial e perspectivas da agricultura irrigada nos Cerrados. Piracicaba, ESALQ. 1982 65p. Trabalho apresentado à disciplina Seminários de Solos e Nutrição de Plantas (LSG-799) do Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas.
- AZEVEDO, J.A. de; FREIRE, J.C. & SILVA, E.M. da. Características físico-hídricas importantes para a irrigação de solos representativos de cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 11, Brasília, DF, 1981. Anais... Brasília, SBEA, 1983a. v.2, p.843-4.
- AZEVEDO, J.A. de; SILVA, E.M. da; RESENDE, M. & GUERRA, A.F. Aspectos sobre o manejo da irrigação por aspersão para o cerrado. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1983b. 53p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 16).
- AZEVEDO, J.A. de & SILVA, E.M. da. Parâmetros da irrigação por sulcos em solo de cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 11., Brasília, DF, 1981. Anais... Brasília, SBEA, 1983. v.2, p.841-2.
- BASCUR, G.B. & FRITSCH, N.F. Efectos de métodos y frecuencias de riego sobre componentes de rendimiento en frijol (Phaseolus vulgaris L.). Agricultura Técnica, Santiago, 35(3):147-52, 1975.
- BERNARDO, S.; GALVAO, J.D.; GUERINI, H. & CARVALHO, J.B. de. Efeito dos níveis de água no solo sobre a produção do feijoeiro (Phaseolus vulgaris). Seiva, Viçosa 30(71):7-13, 1970.
- BERNARDO, S. Manual de irrigação. Viçosa, UFV, 1982. 463p.
- ELAIR, E. Manual de riegos e avenamientos. Lima, IICA/OEA, 1957. 364p. (Proyecto, 39).
- BOOHER, L.J. El riego superficial. Roma, FAO, 1974. 162p.
- BURMAN, R.D. & PAINTER, L.I. Influence of soil moisture on leaf color and foliage volume of beans grown under greenhouse conditions. Agron J., 56:420-3, 1964.
- CAIXETA, T.J.; VIEIRA, J.; GARRIDO, M.A.T. & SILVA, A.M. da. Parâmetros de irrigação por infiltração em sulcos. In: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. Belo Horizonte. Atividades de pesquisa agropecuária; Vale do Sapucaí. Belo Horizonte, 1975. p.82-3. (Relatório Técnico, 11).
- CAIXETA, T.J.; MARINATO, R. & FRANÇA-DANTAS, M.S. Efeito da aplicação de quatro lâminas totais de água e três níveis de fertilizantes no

- rendimento do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) In: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. Belo Horizonte. Projeto feijão; relatório 73/75. Belo Horizonte, 1978a. p.7-9.
- CAIXETA, T.J.; GARRIDO, M.A.T. & LIMA, C.A.S. Determinação de parâmetros de irrigação por infiltração em sulcos. In: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. Belo Horizonte. Relatório de pesquisa do DAIJ. Belo Horizonte, 1978b.
- CAIXETA, T.J. Irrigação de feijoeiro. Inf. agropec., Belo Horizonte, 4(46):36-40, 1978.
- CAIXETA, T.J.; VIEIRA, C. & BARTHOLLO, G.F. A terceira época de plantio do feijão. Viçosa, UFV, 1981. 4p. (Informe técnico, 15).
- CAIXETA, T.J. & BERNARDO, S. Manejo de irrigação na cultura do feijoeiro em várzeas. Belo Horizonte, EPAMIG, 1984. n.p. Apresentado no Congresso Nacional de Engenharia Agrícola, 14, Fortaleza, 1984.
- CAIXETA, T.J. Utilização de tecnologia de baixo custo para adequação de pequenas várzeas. Belo Horizonte, EPAMIG, 1982. n.p. Apresentado no 6o. Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, Belo Horizonte, 1982.
- CRIDDLE, W.D. Methods of avaiation irrigation systems. Washington, Soil Conservation Service, 1956. 24p. (Agricultural Handbook, 82).
- DAKER, A. A água na agricultura; irrigação e drenagem. 4.ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1973. v.3, 453p.
- DEMATTE, J.B.I.; BULISANI, E.A.; ALMEIDA, L.D.A. & ALVES, S. Irrigação do feijoeiro. Campinas, IAC, 1974. 23p. (Circular, 37).
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, FAO, 1976. 194p. (Estudio FAO: Riego y Drenaje, 24).
- DOORENBOS, J. & KASSAN, A.H. Yield response to water. Roma, FAO, 1979. 193p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33).
- DUBETZ, S. & MAHALE, P.S. Effect of soil water stress on bush beans (*Phaseolus vulgaris* L.) at three stages of growth. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 94:479-81, 1969.
- DUTHION, C. & MORTIER, J. Effect d'un excès d'eau sur la feverole de printemps. Competes rendus des séances de L'Académie D'Agriculture de France, (6):416-21, 1977.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Programa de financiamento para aquisição de equipamentos de irrigação (PROFIR). Brasília, 1981. 168p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Feijão; irrigação. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Brasília, DF. EMBRAPA

- ANO 11; destaque dos principais resultados de pesquisa de 1983. Brasília, 1984. p.15.
- FORSYTHE, W.M. & PINCHINAT, A.M. Tolerancia de la variedad de frijol 27-R a la inundación. Turrialba, Costa Rica, 21:228-30, 1971.
- FORSYTHE, W.M. & LEGARDA, L.B. Soil water and aeration and red bean production. I. Mean maximum soil moisture suction. Turrialba, Costa Rica, 28(1):81-6, 1978.
- GARRIDO, M.A.T. & TEIXEIRA, H.A. Efeito de diferentes níveis de umidade do solo sobre o rendimento do feijoeiro comum na região sul de Minas Gerais. In: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. Projeto feijão; relatório 76/77. Belo Horizonte, 1978. p.25-7.
- GARRIDO, M.A.T.; PURCINO, J.R.C. & LIMA, C.A.S. Efeito de diferentes níveis de umidade do solo sobre o rendimento do feijoeiro comum, na região norte de Minas Gerais. In: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. Projeto feijão; relatório 76/77. Belo Horizonte, 1978. p.28-30.
- GARRIDO, M.A.T.; PURCINO, J.R.C. & LIMA, C.A.S. Efeitos de diferentes regimes de irrigação sobre o rendimento do feijoeiro na região Norte de Minas Gerais. In: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. Projeto feijão; relatório 77/78. Belo Horizonte, 1979. p.27-9.
- GOMIDE, R.L. Determinação e análise da uniformidade de distribuição da água no sistema de irrigação por aspersão. Viçosa, UFV, 1978. 87p. Tese-MS.
- GRASSI, J.C. Métodos de riego. Merida, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, 1972. 270p. (Proyecto 213; Documento 72).
- GUAZZELLI, R.J. & MIYASAKA, S. Práticas agrícolas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FEIJÃO, 1., Viçosa, 1971. Anais... Viçosa, UFV, 1972. v.1, p.245-72.
- HAISE, H.R. & HAGAN, R.M. Soil, plant, and evaporative measurements as criteria for scheduling irrigation. In: HAGAN, R.M.; HAISE, H.R. & EDMINSTER, T.W., ed. Irrigation of agricultural lands. Madison, ASA, 1967, p.577-604.
- HARGREAVES, G.H. Irrigation requirements based on climatic data; formal of the irrigation and drainage division. In: AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. Proceedings. s.l., 1956. p.10.
- HOSTALACIO, S. & VÁLIO, I.F.M. Desenvolvimento de plantas de feijão cv. Goiano Precoce, em diferentes regimes de irrigação. Pesq. agrop.bras., Brasília, 19(2):211-8, 1984.

- INFORZATO, R. & MIYASAKA, S. Sistema radicular do feijoeiro em dois tipos de solo do Estado de São Paulo. Bragantia, 22:477-81, 1963.
- INFORZATO, R.; GUIMARÃES, G. & BORGONOVÍ, M. Desenvolvimento do sistema radicular do arroz e do feijoeiro em duas séries de solo do Vale do Paraíba. Bragantia, 23:365-9, 1964.
- KATTAN, A.A. & FLEMING, J.W. Effect of irrigation at specific stages of development on yield, quality, growth and composition of snap beans. Proc.Amer.Soc.Hort.Sci., 68:329-42, 1956.
- MAC KAY, D.C. & EAVES, C.A. Influence of irrigation treatments on yields and on fertilizer utilization by sweet corn and snap beans. Can.J.Plant Sci., 42:219-28, 1962.
- MACK, H.J. & VARSEVELD, G.W. Response of bush beans (Phaseolus vulgaris L.) to irrigation and plant density. J.Amer.Soc.Hort.Sci., 107(2):286-90, 1982.
- MAGALHÃES, A.A. & MILLAR, A.A. Efeito do déficit de água no período reprodutivo sobre a produção de feijão. Pesq.agropec.bras., Brasília, 13(2):55-60, 1978.
- MAGALHÃES, A.A.; MILLAR, A.A. & CHOUDHURY, E.N. Efeito do déficit fenológico de água sobre a produção de feijão. Turrialba, Costa Rica, 29(4):269-73, 1979.
- MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FEIJÃO, 1., Viçosa, 1971. Anais... Viçosa, UFV, 1972. v.1, p. 211-42.
- MARTINS, J.L. Produtividade ou como plantar menor área e colher mais. O Manda-Chuva. São Bernardo do Campo, 1(3):3, 1979.
- MEDINA, J.C. Aspectos gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FEIJÃO, 1., Viçosa, 1971. Anais... Viçosa, UFV, 1972. p.3-106.
- MENESES, D.M. & PINTO, M.M. Influência do fator hídrico no desenvolvimento da cultura do feijão (Phaseolus vulgaris L.) na baixada fluminense. Pesq.agropec.bras., Rio de Janeiro, 2:383-9, 1967.
- MILLAR, A.A. Respuesta de los cultivos al deficit de agua como información básica para el manejo del riego. Trabalho apresentado no Seminário Sobre Manejo de Água. COVESVASF/FAO/USAID/ABID, Brasília, 1976. 62p.
- MILLER, D.E. & BURKE, D.W. Response of dry beans to daily deficit sprinkler irrigation. Agron.J., 75:775-8, 1983.
- MIRANDA, O.N. & BELMAR, C.N. Déficit hídrico y frecuencia de riego en frijol (Phaseolus vulgaris L.). Agricultura Técnica, Santiago, 37(3):111-7, 1977.
- OPÇÃO para entressafra; feijão. Bol. Provárzeas & Profir, Brasília, 3(32):8-9, out. 1984.

- PINTO, J.M. Efeito de diferentes regimes hídricos no solo sobre a produção e os componentes da produção do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.). Viçosa, UFV, 1985. 59p. Tese-MS.
- PORTO, E.R.; GARAGORRY, F.L.; SILVA, A. de S. & MOITA, A.W. Estimativa de sucesso da agricultura dependente de chuva para diferentes épocas de plantio. I - Cultura do feijão (Phaseolus vulgaris L.) Petrolina, EMBRAPA-CPATSA, 1983. 129p. (Documentos, 23).
- PURCINO, J.R.C.; CAIXETA, T.J. & GARRIDO, M.A.T. Efeito da aplicação de quatro lâminas totais de água e três níveis de fertilizantes no rendimento do feijoeiro comum (Phaseolus vulgaris L.). In: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. Projeto feijão; relatório 73/75. Belo Horizonte, 1978a. p.30-4.
- PURCINO, J.R.C.; CAIXETA, T.J. & GARRIDO, M.A.T. Efeito da aplicação de quatro lâminas totais de água e três níveis de fertilizantes no rendimento do feijoeiro comum. In: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. Projeto feijão; relatório 76/77. Belo Horizonte, 1978b. p.20-3.
- PURCINO, J.R.C. & MARINATO, R. Irrigação. Inf.agropec., Belo Horizonte, 6(68):26-34, 1980.
- QUACKENBUSH, T.H. & THORNE, M.D. Irrigation in the East. The yearbook of agriculture. Washington, 368-78, 1957.
- RAWITZ, E. Sprinkler and gravity irrigation. In: _____. Arid zone irrigation. New York, Springer-Verlag, 1973. p.303-37.
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L. & SANTOS, J.M. dos. An analysis of soil-water movement in the field: II - water balance in a snap bean crop. Piracicaba, CENA/ESALQ/USP, 1974. 19p. (Boletim Científico, 22).
- RESENDE, M.; HENDERSON, D.W. & FERERES, E. Frequência de irrigação, desenvolvimento e produção do feijão Kidney. Pesq.agropec.bras., Brasília, 16(3):363-70, 1981.
- ROBINS, J.S. & DOMINGO, C.E. Moisture deficit in relation to the growth and development of dry beans. Agron.J., 48:67-70, 1956.
- ROBINS, J.S.; MUSICK, J.T.; FINFROCK, D.C. & RHOADES, H.F. Grain and field crops. In: HAGAN, R.M. et al. ed. Irrigation of agricultural lands. Madison, American Society of Agronomy, 1967. p.622-39.
- ROSOLEN, J.E. A relação benefícios/custos na irrigação. A Granja. 40(436):52-4, 1984.
- SALTER, P.J. & GOODE, J.E. Crop responses to water at different stages of growth. Farmhan Royal, CAB, 1967. 246p. (Research review, 2).

- SARTORATO, A.; AQUINO, A.R.L. de; CONTO, A.J. de; SEIJAS, C.A.R.; OLIVEIRA, I.P. de; KLUTHCOUSKI, J.; ROCHA, J.A.M.; YOKAYAMA, M.; SILVEIRA, P.M. da & GUAZZELLI, R.J. Recomendações técnicas para a cultura de feijão com irrigação suplementar. Goiânia, EMBRAPA/CNPAF, 1982. 22p. (EMBRAPA-CNPAF. Circular técnica, 16).
- SILVA, E.L. Suscetibilidade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Goiano precoce a inundações temporárias do sistema radicular em diferentes fases do seu ciclo vegetativo. Piracicaba, ESALQ, 1982. 76p. Tese-MS.
- SILVA, E.M. da; AZEVEDO, J.A. de & RESENDE, M. Desenvolvimento e teste de tubo janelado para irrigação por sulco. Pesq.agropec.bras., Brasília, 17(3):441-5, 1982.
- SILVA, M.A. da; MILLAR, A.A.; BERNARDO, S. & CONDE, A.R. Efeito da lâmina d'água e da adubação nitrogenada sobre a produção de feijão "Macassar" utilizando o sistema de irrigação por aspersão em linha. Salvador, ABID, 1978. 20p.
- SILVEIRA, P.M. da & STONE, L.F. Balanço de água na cultura do feijão em Latossolo Vermelho-Amarelo. Pesq.agropec.bras., Brasília, 14(2):111-5, 1979.
- SILVEIRA, P.M. da; FONSECA, J.R. & GUIMARÃES, C.M. Consumo de água pelo feijão de 3a. época irrigado por aspersão. Goiânia, EMBRAPA-CNPAF, 1981. 5p. (EMBRAPA-CNPAF. Comunicado técnico, 9).
- SILVEIRA, P.M. da; STEINMETZ, S.; GUIMARÃES, C.M. AIDAR, H. & CARVALHO, J.R.P. de. Lâminas de água e turnos de rega na cultura do feijoeiro de inverno. Pesq.agropec.bras., Brasília, 19(2):219-23, 1984.
- SMITTLE, D.A. Response of snap bean to irrigation, nitrogen fertilization, and plant population. J.Amer.Soc.Hort.Sci., 101(1):37-40, 1976.
- STANSELL, J.R. & SMITTLE, D.A. Effects of irrigation regimes on yield and water use of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). J.Amer.Soc.Hort.Sci., 105(6):869-73, 1980.
- SULCADOR, Pesquisa em foco CPAC, Planaltina, (1):6, nov./dez. 1984.
- TAYLOR, S.A. Managing irrigation water on the farm. Am.Soc.Agri.Eng., 8:433-36, 1965.
- TEIXEIRA, H.A.; RAMALHO, M.A.P.; LIMA, L.A. de P.; ANDRADE, M.A. de & SANTA CECÍLIA, F.C. Viabilidade do cultivo de feijão no período de inverno em Lavras, MG. In: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. Projeto feijão; relatório 73/75. Belo Horizonte, 1978. p. 39-40.

VIEIRA, C. O Feijoeiro comum; cultura, doenças e melhoramento. Viçosa, UREMG, 1967. 220p.

VILLEGAS, J.M. Irrigação = Produtividade + Emprego. Item; irrigação e tecnologia moderna, Brasília, (10):18-23, 1982.