

**CONSUMO RELATIVO DE ÁGUA DO
FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.) NO SISTEMA
PLANTIO DIRETO EM FUNÇÃO DA
PORCENTAGEM DE COBERTURA MORTA DO
SOLO**

RUI DA SILVA ANDRADE

2001

RUI DA SILVA ANDRADE

**CONSUMO RELATIVO DE ÁGUA DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris*
L.) NO SISTEMA PLANTIO DIRETO EM FUNÇÃO DA
PORCENTAGEM DE COBERTURA MORTA DO SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Dr. Prof. Jacinto de Assunção Carvalho

LAVRAS

MINAS GERAIS - BRASIL

2001

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Andrade, Rui da Silva

Consumo relativo de água do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) no sistema plantio direto em função da porcentagem de cobertura morta do solo / Rui da Silva Andrade. -- Lavras : UFLA, 2001.

52 p. : il.

Orientador: Jacinto de Assunção Carvalh

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. *Phaseolus vulgaris*. 2. Economia de água. 3. Irrigação. 4. Cobertura morta.
I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-631.58

-635.65287

RUI DA SILVA ANDRADE

**CONSUMO RELATIVO DE ÁGUA DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris*
L.) NO SISTEMA PLANTIO DIRETO EM FUNÇÃO DA
PORCENTAGEM DE COBERTURA MORTA DO SOLO**

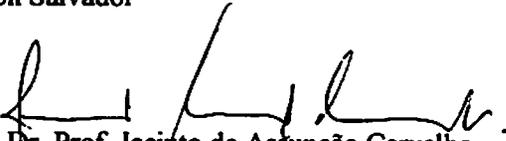
Dissertação apresentada à Universidade Federal
de Lavras, como parte das exigências do
Programa de Pós-graduação em Engenharia
Agrícola, área de concentração em Irrigação e
Drenagem, para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em terça-feira, 14 de maio de 2001

Prof. Jacinto de Assunção Carvalho UFLA

Prof. Élio Lemos da Silva UFLA

Prof. Nilson Salvador UFLA



Dr. Prof. Jacinto de Assunção Carvalho

**UFLA
(Orientador)**

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL**

A Deus, pela Sua paciência infinita de aturar alguns de meus
sentimentos de fraqueza;

A Maria Izabel da Silva por não me esquecer em momento
algum;

A José Brito Andrade, *in memoriam*, que, a seu
modo, me fez entender o quão importante é a ciência para o homem;

A Ruth da Silva Andrade, irmã e amiga de
sempre;

OFEREÇO

A Marta Regina, a companheira eterna;

A Andrezinho, o filho e amigo que sempre sonhei ter;

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Gostaria, na oportunidade, de conferir meus sinceros agradecimentos:

Especialmente ao Prof. Dr. Jacinto de Assunção Carvalho pela sua participação efetiva como orientador.

Ao Jacinto, o grande e inesquecível amigo nas demais ocasiões.

A todos os professores da UFLA que direta ou indiretamente contribuíram para minha aquisição e revisão de conceitos sobre irrigação/drenagem.

Ao apoio dispensado a mim pelos contemporâneos de curso: Ricardo da Silva, Vagner Vilela e Marcelo Carazo.

Ao Marcelo Carazo pela sua valiosa ajuda no processo de montagem de minha apresentação final de tese.

Ao Pesquisador Dr. Luiz Fernando Stone, da Embrapa, por sempre ser solícito quando tive dúvidas no processo de dissertação.

Aos funcionários da Embrapa: Pesquisadores Dr. José Aloísio Alves Moreira e Dr. Pedro Marques da Silveira, Laboratorista Adilson Francisco da Costa Vilela, Técnicos Agrícolas Antônio Afonso Ribeiro e Marcos Antônio de Ataíde, e ao incansável, e sempre presente no experimento, Mestre Rural Francisco Aristides David.

3.5.3 Deflúvio superficial (R)	25
3.5.4 Drenagem interna (D).....	25
3.5.5 Variação da armazenagem no solo (Δh).....	27
3.6. Determinação do coeficiente relativo de cultura (K_r)	28
3.7. Determinação de características agronômicas	29
3.7.1 Altura de plantas (AP).....	29
3.7.2 Produção e seus componentes	29
3.8 Determinação da eficiência do uso da água (EUA).....	29
3.9 Determinação do índice de área foliar (IAF)	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Manejo da irrigação.....	31
4.2 Balanço hídrico	32
4.2.1 Evapotranspiração de cultura	32
4.2.2 Coeficiente relativo de cultura.....	34
4.3 Altura de plantas, produtividade e seus componentes	37
4.4 Eficiência do uso da água.....	38
4.5 Índice de área foliar.....	40
5 CONCLUSÕES.....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

RESUMO

ANDRADE, Rui da Silva. **Consumo Relativo de Água do Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) no Sistema Plantio Direto em Função da Porcentagem de Cobertura Morta do Solo.** LAVRAS: UFLA, 2001. 52p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Agrícola)*

Na região do Cerrado, grande parte das áreas de cultivo do feijoeiro irrigado vem sendo conduzida em plantio direto, sobre a palhada da cultura anterior. A palhada na superfície do solo reduz a taxa de evaporação do solo, refletindo no manejo da irrigação. Dependendo da porcentagem de cobertura do solo, poderá haver economia nos custos de operação do sistema de irrigação. O presente trabalho objetivou determinar o consumo relativo de água (K_r) pelo feijoeiro, em seus distintos estádios de desenvolvimento, sistema plantio direto, sob o efeito de cobertura na superfície do solo, para fins de manejo da cultura irrigada. Os tratamentos constaram de cinco porcentagens de cobertura morta proveniente de palhada de sorgo, resíduo da cultura anterior ao experimento, pelo delineamento experimental blocos ao acaso com quatro repetições. Os percentuais de cobertura morta, 0 %, 25 %, 50 %, 75 % e 100 %, foram definidos a partir de fotografias digitais, para cada ação de retirada, e/ou de reposição de palhadas, analisadas posteriormente pelo software SIARCS 3.0. O experimento foi conduzido na Embrapa Arroz e Feijão, município de Santo Antônio de Goiás, GO, a 16° 28'00" de latitude sul, 49° 17'00" de longitude oeste e 823 m de altitude, num Latossolo Vermelho, período de julho a outubro de 2000. A cultivar de feijão utilizada foi a Pérola, espaçamento 0,45 m, com 15 sementes por metro. Para o manejo da irrigação utilizou-se do método das leituras de tensiômetros e da curva de retenção de água no solo, sendo a irrigação iniciada quando o tensiômetro de decisão acusava a leitura média entre 30 e 35 kPa. Foram avaliados a evapotranspiração de cultura (ET_c), K_r , a altura de plantas, produção e seus componentes, a eficiência no uso da água (EUA) e o índice de área foliar (IAF). O aumento da porcentagem de cobertura morta proporcionou diminuição da ET_c , do número de irrigações e da lâmina total de água aplicada. Observou-se uma diminuição dos K_r máximos com aumento da cobertura do solo, sendo iguais a 1,25, 1,24, 1,15, 1,12 e 1,01, respectivamente às porcentagens de cobertura 0, 25, 50, 75 e 100 %. A produção não foi afetada significativamente pelos percentuais de cobertura morta. Isto, somado à redução da ET_c , fez com que houvesse maior EUA com o aumento da cobertura do solo.

* Comitê Orientador: Jacinto de Assunção Carvalho - UFLA (Orientador), José Aloísio Alves Moreira – Embrapa (Coorientador).

ABSTRACT

ANDRADE, Rui da Silva. **Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Relative consumption of water under Notillages System in Relation to Percentage of Soil Cover by Mulch.** Lavras: UFLA, 2001. 52p. (Dissertation – Master Program in Agricultural Engineering).*

In Brazilian savannas, large part of irrigated common bean is seeded under no-tillage system. The mulch reduces the rate of soil evaporation, which affects the management of irrigation. Depending on the percentage of soil covered by the mulch, it may cause significant irrigation system operation economy. The present study was conducted to determine relative consumption of water (K_r), at different common bean growth stages, under no-tillage system, related to the percentage of soil covered by the mulch. The experiment was conducted in a randomized complete block design, with four replications. The treatments were five different percentages of soil cover with sorghum mulch: 0%, 25%, 50%, 75%, and 100 %. These percentages were established by adding or removing sorghum straw according to digital picture analyzed by the software SIARCS 3.0. The experiment was conducted at Embrapa Rice & Bean Experimental Station, located in the city of Santo Antônio de Goiás, GO, 16° 28' 00" South Latitude, 49° 17' 00" West Longitude, and 823 m of altitude, in a Oxisol, from July to October 2000. The common bean cultivar used was "Pérola", in the row spacing of 0.45 m with 15 seeds per meter. The irrigation water management was done by using tensiometers and soil-water retention curve. The irrigation was done when the soil-water tension reached in the range of 30 to 35 kPa. Parameters evaluated were the crop evapotranspiration (ET_c), K_r , plant height, grain yield and its components, water use efficiency (WUE), and leaf area index (LAI). The ET_c , the number of irrigations, and the total amount of water applied decreased, and the interval between irrigations increased as the percentage of soil cover increased. It was observed a decrease in the maximum K_r value as the soil cover increased. The maximum K_r values were 1.25, 1.24, 1.15, 1.12, and 1.01 to the percentages of soil cover of 0, 25, 50, 75, and 100 %, respectively. As the grain yield was not significantly affected by the soil cover treatments, the decrease in ET_c with the increase of the percentage of soil cover caused a increase in WU.

* Guidance Committee: Jacinto de Assunção Carvalho - UFLA (Major Professor), José Aloísio Alves Moreira – Embrapa (Adviser).

1 INTRODUÇÃO

A região dos cerrados tem se constituído, ao longo dos últimos anos, como região de elevado potencial para as atividades agropecuárias, contribuindo decisivamente para produção nacional de alimentos e de matérias primas (Ker et al. 1992). Goedert, Lobato e Wagner (1980) avaliam esse potencial produtivo, numa eventual ocupação integral das terras, de maneira racional e intensiva, como sendo de 150 milhões de toneladas de grãos, 8 milhões de toneladas de carne e 600 milhões de metros cúbicos de madeira por ano.

Durante o período chuvoso, é possível a ocorrência de irregularidade ocasional nas precipitações, os chamados veranicos, os quais, coincidindo com a fase de floração da maioria das culturas de interesse econômico, podem afetar significativamente a produção e acarretar enormes prejuízos à agricultura da região.

A tecnologia de irrigação não só elimina os riscos de déficit hídrico na estação chuvosa, como também propicia a realização de até cinco cultivos a cada dois anos, com produtividades bem superiores às de sequeiros, o que possibilita grande aumento da produção. E a estabilidade dessa produção agrícola só se adquire se se proceder à irrigação durante o período de inverno (Kluthcouski, 1998).

A principal alternativa para o inverno é o cultivo do feijoeiro irrigado, também denominado de terceira época ou de entressafra. O estado de Goiás destaca-se, na região Centro-Oeste, como o maior produtor de feijão de inverno, tendo como indicador de incremento significativo o intervalo de 1990 a 1994. Em 1990, a área cultivada foi de 21,1 mil hectares, quando se registrou a produção de 37,6 mil toneladas. Já em 1994, a área cultivada foi de 41,9 mil

hectares, quando foi alcançada a produção de 81,0 mil toneladas. Isto representou aumentos na ordem de 99 % para a área cultivada e de 115 % para a produção de feijão (Yokoyama, Banno e Kluthcouski, 1996).

Ultimamente, o sistema de plantio de feijão irrigado mais largamente empregado é o direto, sobre a palhada da cultura anterior, o que, indubitavelmente, reduz os custos de produção, quando comparado ao sistema de plantio convencional.

Apesar deste desenvolvimento, percebe-se, ainda nas condições atuais, que os sistemas agrícolas irrigados enfrentam dificuldades, devido ao manejo inadequado do solo, à falta de controle da irrigação e ao despreparo do produtor quanto ao planejamento e gerenciamento do sistema produtivo (Urchei, 1996). Aumento na eficiência do emprego do recurso hídrico proporciona altas produtividades. Barros e Hanks (1993) e Moreira e Stone (1995), em sistema de plantio direto com cobertura morta, observaram maior eficiência no uso da água em relação a outros sistemas de preparo do solo, obtendo maiores produtividades com menor quantidade de água aplicada.

A palha na superfície do solo altera a relação solo-água, pois previne a evaporação - reduzindo-se assim a taxa de evapotranspiração das plantas -, e propicia aumento do intervalo entre irrigações, o que diminui a frequência do uso dessa tecnologia. Deste modo, espera-se que com o incremento do nível de cobertura do solo, poderá haver uma economia significativa nos custos de operação do sistema de irrigação (Moreira e Silveira, 2000).

Como se depreende, o processo de se remover ou de se deixar uma cobertura na superfície do solo pode alterar o consumo hídrico de plantas, afetando o consumo relativo de água (K_r), importante parâmetro utilizado no manejo da irrigação de culturas irrigadas.

Assim sendo, desenvolveu-se o presente trabalho com o objetivo de determinar, para a cultura do feijoeiro, valores de K_r , em função de diferentes

porcentagens de cobertura do solo, para o manejo adequado da irrigação desta cultura.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Produção da cultura do feijoeiro no Cerrado

Estatísticas da FAO (1993) apontam o Brasil como segundo maior produtor de feijão do mundo. Se se considerar apenas o gênero *Phaseolus*, o Brasil passa a ocupar a posição de destaque como primeiro produtor mundial, seguido pelo México.

O feijão, no Brasil, é uma importante fonte de alimentação humana, e nos últimos anos o seu cultivo vem ocupando mais de 20% da área total plantada no mundo. As épocas tradicionais de cultivo são as “águas” (semeadura em outubro/novembro) ou a “seca” (semeadura em janeiro/fevereiro). A safra das “águas” corre o risco de chuvas no período da colheita, e a das “secas”, segundo Fiegenbaum, Santos e Mello (1991), em virtude de eventual irregularidade na distribuição pluviométrica, pode apresentar sensível queda de produtividade. Uma outra inconveniência relevante para essas safras é a mosca branca (*Bemisia tabaci* Gen), vetor de doenças, muito comum nas lavouras de soja e algodão, que acarreta prejuízos irreversíveis ao feijoeiro, quando estas lavouras são cultivadas na mesma região.

Uma terceira alternativa de safra, comum entre os usuários de maior tecnologia - grande produtores -, é a de “inverno” (período seco), produzida sob regime de irrigação, que tem apresentado consideráveis resultados. Esta safra proporciona altas produtividades, redução dos riscos mencionados, melhor qualidade das sementes, podendo a comercialização do produto podendo ser feita fora da época convencional.

O cultivo de “inverno” já é uma realidade em grande escala. No entanto, Stone e Pereira (1994a) advertem que muitas informações sobre este cultivo ainda são necessárias, uma vez que se têm utilizado tecnologias adaptadas às de

cultivo de sequeiro, sendo imperativas, pois, modificações no que se refere à cultivar, adubação e população de plantas, quando do emprego da tecnologia irrigação para o feijoeiro.

Na região Centro-Oeste, o estado de Goiás aparece como maior produtor de feijão, sendo responsável por 45%, 62% e 90% da produção das “águas”, “seca” e de “inverno”, respectivamente (Yokoyama, Banno e Kluthcouski, 1996).

Atualmente, pouquíssimas são as pesquisas com o feijoeiro em plantio direto, principalmente irrigado (Nascimento, 1998). Reduzidos ainda são os trabalhos de pesquisas com o feijoeiro irrigado, em plantio direto e sob diferentes porcentagem de cobertura morta na superfície do solo.

2.2 Interação solo, água, planta e atmosfera

2.2.1 Aspectos gerais

Sob sistema de irrigação via pivô central, Del Peloso, Silveira e Silva (1996) afirmam que o feijoeiro é a principal cultura explorada, no período de outono/inverno, e que, para tanto, os parâmetros de água e temperatura não são limitantes.

Da aparente abundância do recurso hídrico em nosso planeta, que numa escala mundial cobre cerca de três quartos da superfície terrestre, é sabido que apenas e aproximadamente 2,95% deste recurso são de água doce, com cerca de 95%, ainda, na forma de gelo (Nascimento, 1998). É esperado o desencadeamento, num futuro muito breve, de uma crise que a humanidade irá enfrentar com a falta desse precioso líquido.

O consumo de água na produção de alimentos é um fator preocupante (Nascimento, 1998). Como exemplo, para a produção de cada kg de arroz ou feijão são necessários mais de 2000 L de água (Gassen e Gassen, 1996).

Por outro lado, déficit hídrico no solo pode ocasionar prejuízos, dependendo de sua duração, severidade e do estágio de desenvolvimento do feijoeiro (Kramer, 1983).

As distintas cultivares de feijoeiro, em sua grande maioria, apresentam os estádios de desenvolvimento pré-floração, floração e enchimentos de grãos como críticos a um eventual déficit hídrico (Doorenbos e Pruitt, 1977). Via de regra, nestes estádios e nas leguminosas, há uma redução dos parâmetros de rendimento, tais como número de vagens por planta, de grãos por vagem e massa dos grãos.

Guimarães (1988) classifica o feijoeiro como planta muito sensível ao déficit hídrico, em virtude de sua baixa capacidade de recuperação após estresse e do seu sistema radicular pouco desenvolvido. Pelo fato de este sistema radicular ser pouco desenvolvido, a cultura também pode ser afetada pelo excesso de umidade no solo (Nascimento, 1998).

Estudando os componentes de rendimento do *Phaseolus vulgaris* L. em função do déficit hídrico nos estádios fenológicos de pré-floração, floração, formação de vagens e enchimento de grãos, Magalhães e Millar (1978) verificaram uma polinização deficiente, abscisão de flores e redução do número de grãos por vagem. Uma redução substancial do número de vagens por planta e número de sementes por vagem em feijão miúdo foram observados por Herbert e Baggerman (1983) ao submeterem o feijoeiro a um déficit de água em seu período reprodutivo.

Plantas estressadas, no período da pré-floração, propiciam abortamento de flores, comprometendo a produção e a qualidade de vagens e grãos em razão do encurtamento deste estágio. Há uma redução da massa e do tamanho dos grãos se o estresse ocorrer no período de enchimento desses grãos (Vieira, 1984).

O componente de rendimento mais afetado pelo déficit hídrico na cultura do feijoeiro, durante a floração, foi o número de vagens por planta, segundo os resultados obtidos por Fiegenbaum, Santos e Mello (1991). Reduziram-se também, em função do déficit hídrico assinalado, o crescimento de plantas, o tamanho da vagem e o número de sementes por vagem. Contudo, a massa de 100 sementes aumentou na cultivar Rio Tibagi sob esta circunstância.

Períodos de déficit hídrico em cultivares diferentes de feijão produziram comportamentos diferentes, segundo Sawazaki, Teixeira e Almeida (1981). Foram estudadas dez cultivares, com dois períodos de déficit hídrico (um de 14 dias, iniciados aos 16 dias após a germinação, e outro de sete dias, durante a floração), constatando-se redução significativa da produção de sementes por planta. As cultivares Jalo e Roseli apresentaram menor redução quando comparadas com as Aroana, Moruna e Rico-23.

A inter-relação entre solo, planta e atmosfera influencia a demanda de água de uma cultura, a qual, por sua vez, depende da energia disponível, direção e magnitude do gradiente de potencial hídrico e resistência estomática à passagem de vapor d'água (Santos e André, 1992). Estudando a cultura do feijoeiro, esses autores verificaram que a demanda de água está correlacionada com o desenvolvimento da cultura, tendo o coeficiente de cultura K_c mostrado ser diretamente proporcional ao índice de área foliar (IAF) durante todo o ciclo de desenvolvimento.

O coeficiente de cultura K_c pode ser definido como sendo a relação entre a evapotranspiração máxima (ET_m) da cultura pela evapotranspiração de referência (ET_o). A ET_m é definida como a perda de água para a atmosfera por evaporação e transpiração de uma cultura em condições ótimas de densidade de plantas, fertilidade e disponibilidade de água no solo, com determinada bordadura e condições atmosféricas típicas, em qualquer estágio de desenvolvimento. A ET_o é a evapotranspiração ocorrente em uma superfície

vegetada com grama batatais (*Paspalum notatum* Flüggé), bem provida de água, em fase de desenvolvimento ativo e com bordadura adequada (Stone e Silveira, 1995).

O clima é o fator mais importante para a perda de água de uma cultura. Entretanto, condições de solos, doenças, pragas, a própria cultura e suas características de crescimento, além das práticas culturais, também influenciam a transferência de água para a atmosfera (Klar, 1984).

2.2.2 Cultivar, hábitos de crescimento, população/densidade de plantas e época de plantio

Doorenbos e Kassan (1979) apontam valores de K_c para diferentes estádios de desenvolvimento do feijoeiro: 0,3 – 0,4 (estabelecimento da cultura); 0,7 – 0,8 (período vegetativo); 1,05 – 1,20 (florescimento) e 0,65 – 0,75 (formação e enchimento das vagens). Steinmetz (1984), em experimento conduzido na Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás, com o feijoeiro de inverno conduzido sob preparo convencional, determinou valores de K_c para as fases de emergência ao início de florescimento, início ao final do florescimento e final do florescimento à maturação fisiológica, que foram iguais a 0,69, 1,28 e 1,04, respectivamente.

A cultivar, a estrutura e a coloração das plantas modificam o albedo, acarretando, concomitantemente, variação no balanço de energia da superfície transpirante, radiação líquida e variação da perda de água pelas plantas para a atmosfera (Nascimento, 1998). O índice de área foliar (IAF) influenciou diretamente a evapotranspiração da cultivar Aroana 80, segundo Bergamaschi, Vieira e Ometto (1988). Ainda, Bergamaschi, Vieira e Libardi (1989) verificaram que a evapotranspiração do feijoeiro oscilou de acordo com o IAF até certo limite de estabilização, natural e biologicamente esperado. Moreira (1993) observou, em feijão-vagem, valor máximo de IAF antecipado em sete

dias no tratamento mais irrigado (20 kPa), em relação ao menos irrigado (50 kPa), em decorrência da antecipação da senescência e/ou abscisão foliar. O autor atribui este fato ao autosombreamento decorrido do excessivo desenvolvimento das plantas sob o efeito do tratamento mais irrigado. Oliveira e Silva (1990) constataram o efeito da área foliar fotossinteticamente ativa na demanda de água pelas plantas, em que a máxima evapotranspiração ocorreu junto com o maior IAF.

Para a cultivar Safira, de porte ereto e crescimento indeterminado, no período de formação e enchimento das vagens, Stone e Pereira (1994b) encontraram valor de $K_c = 0,88$ superior ao da linhagem TC 1558-1, de $K_c = 0,65$, de mesmo hábito de crescimento e porte, e ao do cultivar Emgopa 201-Ouro, de $K_c = 0,81$, de mesmo hábito, porém de porte um pouco menos ereto.

Silveira, Stone e Rios (1996) constataram que o consumo hídrico é afetado pela população de plantas e que esta, por sua vez, pode influenciar a arquitetura das mesmas, IAF e densidade radicular. No estudo de comparação das populações 43 e 21,5 plantas por m^2 , Mack e Varseveld (1982) verificaram que houve uma maior perda de água pelo solo na maior população. Guimarães, Steinmetz e Portes (1982) verificaram maior economia de água para a população de 20 plantas por m^2 , quando comparada à população de 30 plantas por m^2 . Para um mesmo estande de 15 plantas por metro, variando o espaçamento entre linhas (0,30 m para 0,50 m), Stone e Pereira (1994b) concluíram que o consumo médio de água, expresso pelo valor de K_c , foi menor para o espaçamento maior (0,50 m). Estes autores determinaram valores de K_c de 0,83 e 0,78 para os estádios de formação e enchimento das vagens para a cultivar Emgopa 201-Ouro, de 0,90 e 0,87 para a Safira e de 0,69 e 0,58 para a linhagem TC 1558-1, respectivamente com as populações de 50 e 30 plantas por m^2 .

A época de plantio afeta o consumo de água pelo feijoeiro, já que este estará submetido a variações climáticas. As magnitudes da evapotranspiração e

da lâmina de irrigação são ditadas pelos principais elementos de clima, radiação solar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, e esses elementos variam com a época do ano (Nascimento, 1998). As evapotranspirações máximas do feijoeiro do município de Santo Antônio de Goiás para os meses de maio, junho, julho, agosto e setembro são, respectivamente, 4,6; 4,8; 5,5; 6,7 e 6,5 mm/dia, de acordo com os trabalhos experimentais de Stone e Silveira (1995), evidenciando-se, desta forma, aumento gradativo das perdas de água por evapotranspiração quanto mais tardiamente fosse realizado o plantio daquela cultura.

2.2.3 Sistema de plantio

Quanto ao sistema de plantio, verifica-se que este altera as condições hídricas do solo, influenciando nas relações solo-água-plantas. O sistema plantio direto traz benefícios para as características de retenção de água e propriedades físicas do solo: diminuição da temperatura e da evaporação da água do solo, elevação da capacidade de armazenamento de água, da capacidade de infiltração, da porosidade e do número de agregados (Nascimento, 1998).

Vieira (1981) constatou ser o teor de água no solo, sob preparo convencional, significativamente inferior ao do sistema plantio direto. Para as tensões 6, 33 e 100 kPa, Sidiras, Henklain e Derpsch (1982) verificaram que o conteúdo de umidade do solo, sob plantio direto, superava consideravelmente o do preparo convencional do solo. Nas profundidades 3 – 10 cm, 11 – 20 cm e 21 – 30 cm, o conteúdo de água na “capacidade de campo” em plantio direto superou ao sistema convencional em 31%, 20% e 5%, respectivamente. Em Latossolo Roxo, por sete anos, Derpsch et al. (1991) observaram que a capacidade de retenção de água para o sistema plantio direto foi significativamente superior ao preparo convencional, nas camadas de 0 – 10 e 10 – 20 cm de profundidade.

Algumas pesquisas têm registrado o efeito de sistemas empregados (convencional ou direto) na produtividade do feijoeiro. Stone e Moreira (1999) apontaram maior produtividade para o sistema plantio direto em comparação ao sistema de preparo com arado e grade. Já Mullins e Straw (1988), Sampaio et al. (1989), Siqueira (1989) e Nascimento (1998) destacaram uma maior produtividade a favor do preparo convencional do solo.

O sistema de plantio utilizado afeta o consumo de água do feijoeiro, devido às alterações na retenção de água ao longo do perfil do solo, em função do requerimento hídrico para desenvolvimento e produtividade da cultura (Urchei, 1996).

O manejo de solos, em função do sistema empregado, deve procurar o incremento da taxa de infiltração, o que reduziria as perdas da água pelo deflúvio superficial e a diminuição da evaporação, o que elevaria a água armazenada no solo (Castro, Vieira e Maria 1987).

O manejo correto e sustentável de sistemas agrícolas intensivos, do cultivo mínimo ao plantio direto, tem se mostrado como prática que considera as condições agroecológicas do cerrado (Urchei, 1996). No sistema de semeadura direto, a semente é colocada no solo, com manutenção da resteva de cultura anterior e as plantas daninhas sendo controladas por herbicidas específicos. Com isto, pode-se atenuar a energia do impacto das gotas pelos restos culturais remanescentes, guardadas as devidas proporções, controlando-se a erosão de forma eficaz.

O controle da erosão, com conseqüente conservação do solo, pode ser evidenciado pela redução ao mínimo das operações de preparo dos solos, o que diminui a pulverização da camada superficial, fazendo com que o plantio direto faça parte dos sistemas agroecológicos integrados, em obediência às condições climáticas do cerrado (Blancaneaux et al., 1993). Esses autores, trabalhando em Latossolo Vermelho-Escuro, pós-correção química, verificaram que a rotação

contínua plantio direto – aração profunda – plantio direto foi mais viável para as áreas irrigadas dos cerrados, já que esta prática garantiu a manutenção da condição estrutural do solo - distribuição de poros e drenagem interna boas -, uma melhor atividade biológica, diminuição do uso de agrotóxicos, combustíveis e adubos e, sobretudo, altos rendimentos para os diferentes cultivos econômicos adotados.

Vieira (1985) menciona que talvez o preparo do solo seja a prática que mais interfere no comportamento físico do solo ao atuar diretamente sobre sua estrutura, pela intensidade de revolvimento ou trânsito, tipo de equipamentos utilizados, manejo dos resíduos vegetais e condições do solo no momento do trabalho.

Devido ao arranjo natural da camada superficial do solo, principalmente os argilosos, pela sua não movimentação, tem-se observado aumento gradual da densidade do solo até certo limite de anos, quando esta densidade começa a diminuir em parte pelo o aumento do conteúdo de matéria orgânica nessa camada superficial, o que favorece uma melhoria da estrutura do solo (Fernandes et al. 1983; Reeves, 1995).

2.2.4 Manejo da irrigação

Inúmeros trabalhos têm sido realizados para se apontar a tensão máxima que a água no solo pode atingir sem comprometer a produtividade do feijoeiro.

A curva tensão-rendimento depende da demanda evaporativa do ambiente, o que quer dizer que quanto maiores forem as demandas, menores serão as tensões que as plantas poderão suportar, sem prejuízo para a produção (Nascimento, 1998).

Ao longo do ciclo da cultura feijoeiro, Smittle (1976) observou que os maiores rendimentos eram alcançados quando a tensão da água no solo era mantida baixa. O abortamento de óvulos, refletindo negativamente na

porcentagem do vingamento de flores e conseqüente redução da produção de grãos, foram verificados por Stone, Moreira e Silva (1988) quando da elevação da tensão da água do solo. Irrigação sob tensão de 12,5 kPa significou a ocorrência de maior rendimento físico do feijoeiro e de irrigações mais freqüentes. Em diferentes experimentos, o rendimento máximo operacional econômico, admitindo-se redução da produção em torno de 20% na curva tensão-rendimento do feijoeiro, foi alcançado com a tensão entre 25-30 kPa, significando aproximadamente uma redução de 50% da freqüência de irrigação, com conseqüente diminuição dos custos de operação do sistema de irrigação.

Já Moreira, Stone e Silveira (1998) observaram que, em irrigações feitas no feijoeiro sob plantio direto, a tensão da água no solo em torno de 20,7 kPa resulta em alta produtividade e alta freqüência no turno de rega, aumentando os custos de produção e as perdas de água por evaporação. Esses autores sugerem uma adequação para o manejo da irrigação com o objetivo de obter produtividade ótima econômica, elevando-se a tensão da água para 35 kPa e admitindo-se uma redução da produtividade na ordem de 10%, com incremento no turno de rega e conseqüente redução dos custos de operação do sistema de irrigação.

Para maximizar a produtividade, minimizar o uso da água e da energia, aumentar a eficiência da utilização dos adubos e manter ou melhorar as condições químicas e físicas dos solos, Silveira e Stone (1994) afirmam que é importante o manejo adequado da irrigação e que, por isso, é necessário que se tenha conhecimentos acerca do momento oportuno de irrigar e da quantidade suficiente de água para atendimento das necessidades hídricas do feijoeiro.

As condições climáticas reinantes, as características físico-hídricas, o sistema de irrigação e a cultivar são os principais parâmetros que irão ditar a lâmina d'água a aplicar, o número de irrigações e o intervalo entre estas (Caixeta, 1978).

De acordo com Purcino, Caixeta e Garrido (1978), turno de rega variando entre quatro a sete dias tem mostrado ser viável, tecnicamente, no atendimento às necessidades hídricas do feijoeiro.

O controle da irrigação, ou seja, o momento oportuno e a quantidade de água a aplicar, podem ser definidos tanto pelo sintoma como pela medição da deficiência de água na planta (Bernardo, 1989). Esse controle também pode ser determinado pela disponibilidade de água no solo, pela evapotranspiração máxima, pelo turno de rega e pelo balanço de água no solo.

Os métodos que combinam o uso do tensiômetro com a curva de retenção da água do solo ou tanque USWS classe A, ou o tanque com a curva de retenção da água do solo, têm sido os mais utilizados no controle da irrigação.

Os tensiômetros medem a tensão ou potencial matricial da água do solo. Por circunstâncias diversas, incluindo as de construção, estes instrumentos seriam apropriados para medições até - 100 kPa, entretanto só são confiáveis até - 80 kPa. Os tipos mais comuns de tensiômetros são os de vacuômetros de Bourdon e os de mercúrio. Os tensiômetros a vacuômetros, devido à sua simplicidade e facilidade de operação, são os mais empregados no controle das irrigações. Em latossolos de cerrados, Azevedo et al. (1983) verificaram que cerca de 65% da água disponível estão retidos no solo a tensões de até 70 kPa, estando, portanto, na faixa de alcance dos tensiômetros, o que sugere a indicação deste instrumento para as condições referidas, com a atenção voltada para seu baixo custo.

Diversos pesquisadores sugerem variadas tensões máximas de água permitidas para obtenção de rendimento econômico dos cultivos. Os valores informados de tensão são distintos, já que diferentes também são a profundidade da medição, a distância dos medidores em relação à planta e a demanda atmosférica local. Para a cultura do feijão, uma boa recomendação é a de fazer a irrigação toda vez que os tensiômetros de decisão acusarem o intervalo de 35 a

40 kPa (Silveira e Stone, 1994). Segundo esses autores, cada bateria de tensiômetros se constituirá de um tensiômetro a 15 cm de profundidade, denominado de tensiômetro de decisão, e outro, a 30 cm de profundidade, denominado de tensiômetro de controle. Para o sistema pivô central, no mínimo três baterias devem ser instaladas e acompanhadas de um pluviômetro. A denominação tensiômetro de decisão indica o momento de irrigar, e a de tensiômetro de controle verifica se a irrigação está alcançando a profundidade almejada, para que não haja excesso ou falta de água (Saad e Libardi, 1992).

2.2.5 Cobertura do solo

Uma cobertura adequada da superfície do solo, com a resteva da cultura anterior, resulta em economia de água. Para a cultura do feijoeiro, a magnitude desta economia depende, basicamente, do sistema empregado de cultivo, da cultivar (hábito de crescimento) e do percentual de palhada utilizada na cobertura dessa superfície.

Quanto à eficiência do uso da água em sistemas de plantio, o sistema plantio direto mais cobertura morta superou ao sistema de preparo convencional com grade aradora (Stone e Moreira, 1998). Estes autores verificaram, ainda, que a cultivar Safira, de plantas eretas, sob plantio direto e com gastos de 240 mm de água durante seu ciclo, proporcionou produtividade semelhante à obtida no preparo com grade, cuja demanda foi de 400 mm, representando, pois, uma significativa economia de 40% de água. Já para a cultivar Aporé, por ter plantas prostradas, esta economia foi menos expressiva, 14%, em função dos consumos hídricos registrados, 343 mm para sistema plantio direto contra 400 mm requeridos pelo preparo com grade.

A palhada atua nas reduções da taxa de evaporação do solo e da condutividade hidráulica deste solo, devido à reflexão da energia radiante. Estas reduções dependem do percentual de cobertura do solo, do quanto perdure essa

cobertura durante o ciclo em função de sua decomposição e da arquitetura e dossel da planta cultivada. O benefício da cobertura já não será tão expressivo quando da decomposição rápida da palhada associada à rápida cobertura do solo pelas plantas do feijoeiro. Esta é a diferença fundamental do sistema plantio direto do sistema plantio direto mais a cobertura morta na superfície do solo (Moreira, Stone e Pereira, 1999). Concluem, ainda, estes autores, que a economia de água começa a ser importante a partir dos 50% de cobertura do solo pela palhada, implicando em menor número de irrigações do feijoeiro.

Na cultura irrigada do feijoeiro sob cobertura morta, Barros e Hanks (1993) verificaram aumento do rendimento da cultura concomitante ao eficiente uso da água. Os autores perceberam diferenças entre a cultura sob tratamento cobertura morta e a cultura sem a cobertura morta no que concerne à relação entre evapotranspiração e o seu rendimento.

Em solos tropicais, Lal (1974) constatou aumento no rendimento de grãos de milho de 46, 52 e 22 % em três anos sucessivos, cultivados sob cobertura morta. Para o trigo, sorgo e cevada, os ganhos respectivos de produtividades foram 25, 80 e 10 % (Icar, 1982).

Trabalhando com resteva de aveia preta nas culturas de soja e milho, Sidiras, Derpsch e Heinzmann (1984) constataram menores perdas da água por evaporação quando comparadas às do solo descoberto, e menores temperaturas a favor dessa prática cultural.

No desenvolvimento de sistemas sustentáveis de produção, a cobertura morta influencia positivamente a taxa de infiltração do solo, fazendo com que plantas de adubação verde associadas a esta cobertura morta passem a desempenhar papel preponderante na conservação dos solos (Derpsch, 1993). A cobertura morta é prática essencial para proteção do solo contra o impacto das gotas de chuvas e da radiação solar, favorecendo, ainda, o controle de plantas

daninhas e a criação de ambiente favorável à vida no solo (Gassen e Gassen, 1996).

Trabalhando com a cultura milho Melo Filho e Silva (1993) observaram a redução significativa de 233 mm, lâmina empregada para a mesma cultura sob preparo convencional, para 184 mm sob regime de plantio direto mais resteva cultural. Andrade, Wolfe e Fereres (1994), avaliando o efeito de sistemas de preparo sobre o conteúdo de água na cultura da soja, em solo franco arenoso, verificaram que o plantio direto, com cobertura morta oriunda do trigo, reduziu a evaporação, conservando a água por mais tempo no solo, quando comparado ao plantio sob preparo convencional.

Ao comparar os sistemas convencionais, convencionais mais cobertura, plantio direto capinado e o não capinado, Jones, Mody e Lillard (1969) verificaram os menores valores de escoamento superficial e maiores conteúdos de água pelos solos nos sistemas que se utilizavam da cobertura, o que levou a estes autores a concluírem que o efeito da cobertura morta independe do sistema de preparo empregado.

A palhada reduz a variação da temperatura do solo, facilitando os processos biológicos e a vida no solo (Saturnino e Landers, 1997), uma vez que os raios solares não incidem diretamente na sua superfície (Balbino et al., 1996). O húmus e a matéria orgânica são decisivos na redução das variações diárias de temperaturas, pois são maus condutores de calor (Costa, 1985).

Espera-se que com todo esse processo de alteração de fatores físicos dos solos, o consumo de água pelo feijoeiro seja afetado pelo sistema de preparo do solo.

De fato, utilizando a metodologia lisímetro de carga constante para a cultivar Aporé em plantio direto mais cobertura morta na superfície do solo, no município de Santo Antônio de Goiás, Stone e Silva (1999) verificaram que o valor mais elevado de K_c , 1,06, ocorreu dos 45 aos 54 dias após a emergência.

Ao comparar este valor com o valor máximo de K_c obtido por Steinmetz (1984), no sistema de preparo convencional do solo, que foi igual a 1,28, observa-se que o plantio direto propiciou economia de água de cerca de 20 %.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Características e localização da área experimental

3.1.1 Local

O experimento foi conduzido no Centro Nacional de Arroz e Feijão (CNPAP) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), situado no município de Santo Antônio de Goiás, Goiás, de coordenadas geográficas 16° 28'00" de latitude sul, 49° 17'00" de longitude oeste, e a uma altitude de 823 m.

3.1.2 Clima

Segundo classificação de Köppen, o clima é do tipo AW, tropical de savana, de moderada deficiência hídrica no inverno, temperatura média anual de 22,6° C e precipitação média anual de 1487,6 mm (EMBRAPA, 1994).

3.1.3 Solo

A camada de solo 0 – 50 cm apresenta uma granulometria média de 484, 194 e 322 g.kg⁻¹, para os respectivos teores de areia, silte e argila, o que confere ao perfil deste solo a classe textural franco-argilo-arenoso. A curva característica de retenção de água no solo na camada de 0 – 30 cm é representada, segundo Pereira (2000), ao conduzir seu experimento no mesmo local, pela equação de ajuste de Van Genuchten:

$$UR = 0,274 + 0,235/[1 + (0,4793 \cdot \phi_m)^{1,5564}]^{0,3575} \quad \text{equação 1}$$

onde:

UR = umidade real (cm³.cm⁻³);

ϕ_m = potencial mátrico (kPa).

3.1.4 Descrição da área experimental

A área do ensaio em questão possui o histórico de quatro safras consecutivas sob regime de plantio direto. Na última safra, esta área foi cultivada com sorgo, sendo dessecado com o herbicida glyphosate, para o posterior aproveitamento da palhada que definiu os tratamentos realizados.

3.1.5 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com cinco tratamentos e quatro repetições. O delineamento completo pode ser visualizado na Figura 1.

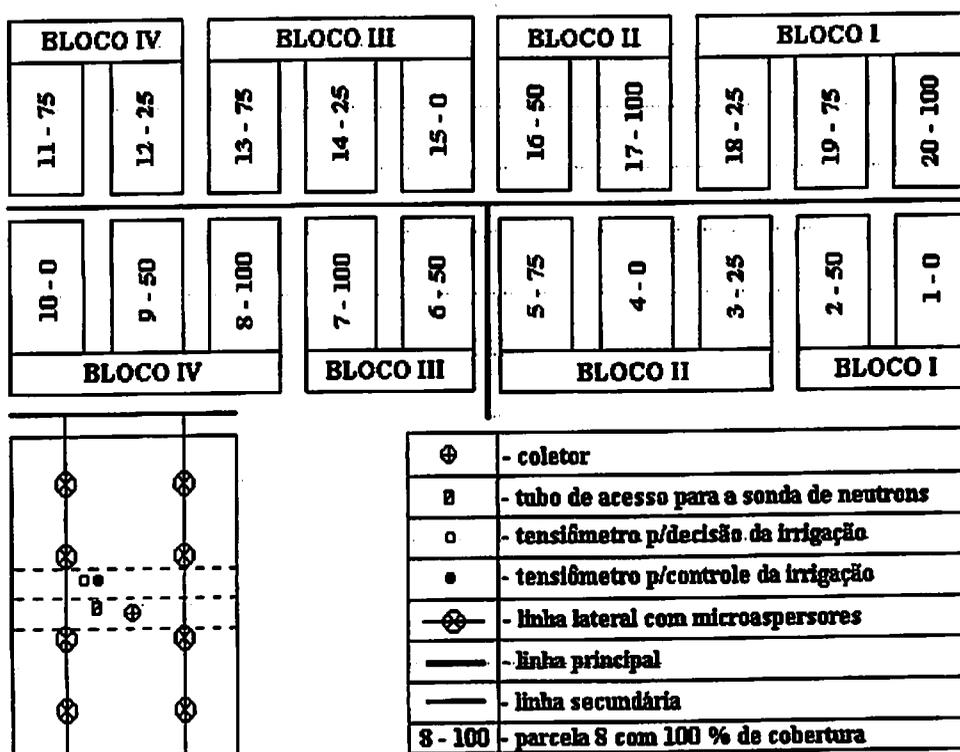


FIGURA 1 - Esquema do delineamento blocos ao acaso e do sistema de irrigação microaspersão

efeito de tratamento; b_j o efeito de bloco e e_{ij} o erro não observável associado à observação y_{ij} .

O delineamento contou, ainda, com uma parcela perdida. Para estimar a ET_c desta parcela, utilizou-se o método matricial pela seguinte fórmula:

$$\hat{X} = (I.T + J.B - G)/[(I - 1).(J - 1)] \quad \text{equação 3}$$

onde:

\hat{X} = valor estimado da ET_c da parcela perdida (mm);

I = tratamento;

T = total da linha que continha a parcela perdida (mm);

J = repetição (no caso igual ao número de blocos);

B = total da coluna que continha a parcela perdida (mm);

G = total das 19 parcelas (mm).

O estudo do efeito dos tratamentos, por se tratarem de níveis quantitativos, foi por intermédio da análise de regressão.

3.2 Cultivares e práticas culturais

O plantio direto foi realizado com semeadora-adubadora específica para tal fim, no dia 20/07/2000. A cultivar usada foi a Pérola, no espaçamento de 0,45 m e densidade de 15 sementes. m^{-1} , com a intenção de obter uma população final de 300 000 plantas. ha^{-1} . A germinação ocorreu em 26/07/2000 e o estande final médio ficou em torno de 9 plantas. m^{-1} .

A adubação no plantio foi efetuada com 400 kg. ha^{-1} da fórmula 5 - 30 - 16 + Zn, e a de cobertura, com o adubo simples sulfato de amônio, no total de 100 kg, distribuídos igual e parceladamente aos 30 e 45 dias após a emergência.

Durante o ciclo da cultura foram realizados controle de plantas daninhas com 2,8 L de fusilade mais 1 L de flex, em duas etapas, e aplicação de 2 L de hostathion para a mosca minadora, também em duas etapas.

Todas as parcelas foram colhidas em 19/10/2000 (90 dias após o plantio), quando os grãos apresentaram baixo teor de água e as vagens a cor característica amarelo palha. As plantas provenientes dos 4,5 m² foram colocadas à sombra para secar com a posterior operação de debulha e correção do teor de umidade dos grãos para 14 %.

3.3 Sistema de irrigação

Até o 12º dia após a emergência, o sistema utilizado foi a aspersão convencional com aspersores tipo canhão, em que todos os tratamentos foram irrigados igualmente. A partir daí, o sistema empregado foi a microaspersão com a vazão no microaspersor de 42 l.h⁻¹. As linhas de irrigação (duas) foram dispostas entre as fileiras de plantio e as laterais de irrigação dispostas perpendicularmente. O sistema obedeceu ao espaçamento de 2 m entre linhas laterais e 1,5 m entre microaspersores, cujo esquema pode ser observado na Figura 1.

3.4 Manejo da irrigação

Iniciou-se a irrigação todas as vezes que os tensiômetros de decisão acusavam a leitura média de 30 a 35 kPa (Moreira, Stone e Silveira, 1998). A partir da equação 1, para essa média de tensão, estimou-se o conteúdo de água no solo (θ_i) e, para a tensão de 8 kPa, o teor de água no solo em seu limite superior correspondente à capacidade de campo (θ_{cc}). Para obter a Quantidade Real Necessária de água (QRN), ou lâmina líquida, fez-se uso da seguinte equação:

$$QRN = 0,1 \cdot (\theta_{cc} - \theta_i) \cdot P_e \quad \text{equação 4}$$

onde:

QRN = quantidade real de água necessária (mm);

θ_{cc} = umidade na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$);

θ_i = umidade para irrigação ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$);

P_e = profundidade efetiva do sistema radicular (cm).

3.5 Determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c)

Utilizou-se a metodologia balanço hídrico no campo. Basicamente, esta consiste na contabilização da entrada e saída d'água de um determinado volume de solo, num certo período de tempo. A representação matemática final para a determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c) tem a seguinte forma:

$$ET_c = P + I \pm D \pm R - \Delta h \quad \text{equação 5}$$

onde:

ET_c = evapotranspiração da cultura (mm);

P = precipitação pluvial (mm);

I = irrigação (mm);

D = drenagem interna (mm);

R = deflúvio superficial (mm);

Δh = variação de armazenagem (mm).

3.5.1 Precipitação pluviométrica (P)

Para o presente estudo, os dados de precipitação (P) foram obtidos por meio de coletores instalados em todas as parcelas.

3.5.2 Irrigação (I)

A quantidade de água (I) aplicada a cada irrigação foi medida por meio de coletores instalados nas parcelas.

3.5.3 Deflúvio superficial (R)

O deflúvio (R) não ocorreu, logo $R = 0$.

3.5.4 Drenagem interna (D)

O cálculo da drenagem interna (D), no limite inferior da camada de solo que continha o sistema radicular do feijoeiro ($z = 30$ cm), foi feito por meio da equação de Darcy-Buckingham (Libardi, 1999), sendo considerada apenas a direção vertical.

$$q_z = -K(\theta) \cdot \partial\phi/\partial z \quad \text{equação 6}$$

onde:

q_z = densidade de fluxo da água no solo (mm/dia);

$K(\theta)$ = condutividade hidráulica do solo (mm/dia);

$\partial\phi/\partial z$ = gradiente de potencial total (m/m);

ϕ_1 = potencial total (m).

A condutividade hidráulica determinada "in situ" baseou-se no Método do Perfil Instantâneo (MPI), para o lençol freático ausente, proposto por Hillel, Krentos e Stylianou (1972).

Assim sendo, um ensaio foi conduzido, ao lado das parcelas com o feijoeiro, numa área de 25 m^2 ($5 \times 5 \text{ m}$). Nesta área, cercada por diques de terra, foram instaladas uma tubulação de alumínio para recepção da sonda de nêutrons e duas baterias de tensiômetros com coluna de mercúrio, cada uma delas constituída de cinco tensiômetros, instalados em linhas dispostas perpendicularmente, nas profundidades de 10, 20, 30, 40 e 50 cm.

Esta área foi previamente saturada e coberta com filme plástico mais resíduos culturais, com a finalidade de evitar as perdas por evaporação no perfil do solo e os efeitos ocasionados pelas chuvas eventuais.

Uma vez saturado o perfil do solo, foram feitas leituras simultâneas dos tensiômetros e da sonda de nêutrons (de 10 em 10 cm até 60 cm), conferindo ao processo a quase instantaneidade requerida nestas circunstâncias.

A condutividade hidráulica foi determinada por meio da equação seguinte:

$$K(\theta)_z = \frac{-\int_z^0 \frac{\partial \theta}{\partial t} dz}{\left. \frac{\partial \phi_t}{\partial z} \right|_z} \quad \text{equação 7}$$

para $\theta = \theta(z,t)$.

A equação 7 foi simplificada pela criação de duas tabelas: uma para determinação da densidade de fluxo de água no solo nas diversas profundidades e nos diversos tempos a partir da integral dessa equação, aproximando esta integral para um somatório, sendo $\partial\theta/\partial t$ medida graficamente em pontos particulares no tempo nas curvas θ versus t ; e a outra para o cálculo da condutividade em cada profundidade e para diferentes umidades, dividindo os fluxos apresentados na primeira tabela pelos gradientes de potencial também obtidos graficamente a partir dos gráficos de perfis de potencial total para os diversos tempos (Libardi, 1999).

Assim, a condutividade hidráulica do solo $K(\theta)$, em cm/h, posteriormente convertida em mm/dia, na camada de 20 a 30 cm e efetivamente utilizada nos tratamentos cobertura morta do solo, pode ser visualizada por intermédio da Figura 2. Sua equação exponencial de ajuste, em função do teor de água no solo, tem a seguinte forma:

$$K(\theta) = 1,1918 \cdot 10^{-21} \cdot e^{126,92\theta} \quad (R^2 = 0,999**) \quad \text{equação 8}$$

onde:

$K(\theta)$ = condutividade hidráulica do solo ($\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$);

θ = teor de água no solo ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$).

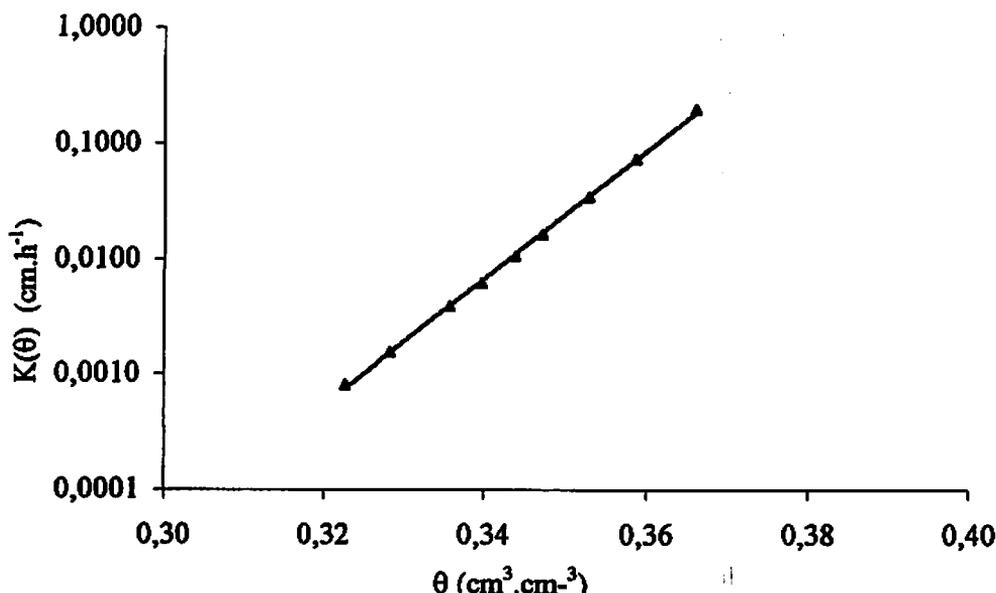


FIGURA 2 – Condutividade hidráulica na profundidade do solo de 30 cm

O gradiente de potencial ($\partial\phi_s/\partial z$) da equação 6 foi estimado, para cada parcela, a partir da equação 1 e em função da umidade calibrada (equação 1 - %) proveniente de leituras da sonda de nêutrons (de dois em dois dias).

A drenagem (D) para todas as parcelas foi o resultado do produto da densidade de fluxo q , em mm/h, pelo intervalo de tempo considerado para obtenção das leituras de umidade. Gradientes positivos implicam em fluxos negativos, significando dizer que está ocorrendo drenagem interna do perfil do solo (-D). No entanto, gradientes de potencial negativos implicam no processo denominado de ascensão capilar (+D).

3.5.5 Variação da armazenagem no solo (Δh)

Para a estimativa da variação da armazenagem no solo (Δh) é imperativo que se determinem armazenagens periódicas (h_L) até a profundidade considerada (30 cm). Como dificilmente uma curva ($\theta \times z$) obtida pode ser

integrada, utilizou-se o artifício integração numérica através da regra de Simpson, cuja equação geral para essa estimativa tem a seguinte forma:

$$h_L = \int_0^L \theta(z)dz \cong \theta(z_1)\Delta z + 1/3\Delta z [\theta(z_1) + 4\theta(z_2) + 2\theta(z_3) + 4\theta(z_4) + 2\theta(z_5) + \dots + 2\theta(z_{2m-2}) + 4\theta(z_{2m-1}) + \theta(z_{2m})]$$

equação 9

onde:

$\theta(z)$ = umidade real na camada z ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$);

Δz = camada em consideração (cm).

A variação de armazenagem (Δh), em mm, foi calculada pela diferença de armazenagens h_1 e h_2 , respectivamente nos instantes t_1 e t_2 , considerados quando da leitura efetiva do equipamento sonda de nêutrons.

3.6 Determinação do coeficiente relativo de cultura (K_r)

A denominação coeficiente relativo (K_r), no lugar de K_c , passou a ser adotada em virtude do manejo da irrigação empregado no experimento, quando os tensiômetros de decisão apontavam leitura média de 30 a 35 kPa – tensão da água no solo correspondente à produtividade ótima econômica do feijoeiro (Moreira, Stone e Silveira, 1998).

Assim sendo, a estimativa de K_r , para os tratamentos cobertura morta do solo, obedeceu à fórmula seguinte:

$$K_r = ET_r / ET_c$$

equação 10

onde:

K_r = coeficiente relativo, adimensional;

ET_c = evapotranspiração de cultura em $\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$;

ET_r = evapotranspiração de referência em $\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$, obtida na estação agrometeorológica do CNPAF, a partir da evaporação do tanque USWS Classe A.

3.7 Determinação de características agronômicas

3.7.1 Altura de plantas (AP)

A altura das plantas (AP) em metro foi obtida pela média de quatro plantas retiradas em cada parcela ao acaso e consoante às recomendações da Embrapa.

3.7.2 Produção e seus componentes

A componente população final de plantas (PFP) foi obtida pelo quociente do estande, em 10 m de linha de plantio, pela área da parcela (4,5 m²). Já os componentes de produção número de vagens por planta (NV), número de grãos por vagem (NG) e massa de 100 grãos em g (M100) foram determinados em cinco plantas de cada parcela experimental, plantas estas separadas antes da colheita. A produtividade de grãos em kg.ha⁻¹ (PG) foi o resultado da colheita manual de cinco linhas de 2 m cada e posterior operação de trilhagem. Tudo em obediência às recomendações da Embrapa CNPAF.

3.8 Determinação da eficiência do uso da água (EUA)

A eficiência do uso da água, em kg.ha⁻¹.mm⁻¹, foi determinada, para cada tratamento, pela relação entre a produtividade de grãos, em kg.ha⁻¹, e a evapotranspiração máxima durante o ciclo do feijoeiro, em mm.

3.9 Determinação do índice de área foliar (IAF)

Durante o ciclo da cultura, foram realizadas 20 coletas de plantas a cada sete dias, iniciando-se aos 30 dias após a emergência, em todas as parcelas do experimento. Para cada amostragem, uma planta foi retirada a 1 m fora da área útil da parcela. As medidas de área foliar (cm²) foram feitas com medidor

automático. O índice de área foliar ($m^2 \cdot m^{-2}$) foi determinado pelo produto da área foliar média de uma planta, em m^2 , pela PFP. Assim, ajustou-se a curva exponencial quadrática aos valores de IAF obtidos em função do tempo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Manejo da irrigação

Pode ser observado, na tabela 1, que o manejo da irrigação foi afetado pela porcentagem de cobertura do solo. O turno de rega aumentou com o aumento da porcentagem de cobertura do solo. Isto indica a importância da palhada na redução da evaporação da água do solo, como observou Pereira (2000) em seu trabalho com a mesma cultivar de feijoeiro, comparando diferentes tratamentos com cobertura morta proveniente de braquiária, o que propicia redução dos custos operacionais com sistemas de irrigação.

TABELA 1 - Precipitação, lâminas de irrigação, número de irrigações e turno de rega em função da cobertura do solo durante o ciclo da cultura do feijoeiro. CNPAF - S^{to} Antônio de Goiás-Go - 2000.

Cobertura do solo (c) (%)	Precipitação (mm)	Lâmina de irrigação (L _i) (mm)	Lâmina de água total (mm)	Turno de rega (T _r) (dias)
0	148,60	261,1	409,7	4
25	148,60	257,8	406,4	4
50	148,60	180,9	329,5	6
75	148,60	182,5	331,1	6
100	148,60	149,9	298,5	8

Equações de ajustes para os dados contidos na Tabela 1:

1) Lâmina total (L_t) em mm função da cobertura do solo (c) em %:

$$L_t = 414,58 - 1,1908.c \quad (R^2 = 0,882^*) \quad \text{equação 11}$$

2) Turno de rega (T_r) em dias função da cobertura do solo (c) em %:

$$T_r = 3,6 + 0,04.c \quad (R^2 = 0,893^*) \quad \text{equação 12}$$

4.2 Balanço hídrico

4.2.1 Evapotranspiração de cultura

Na Tabela 2 pode ser observada a análise de variância para a ET_c , levando-se em consideração a parcela cinco corrigida estatisticamente pela equação 3. A ET_c desta parcela ficou comprometida em virtude de formigueiro que prejudicou as leituras de umidade pela sonda de nêutrons. Esta tabela apresenta F calculado, para os tratamentos, superior ao F tabelado, o que quer dizer que existe pelo menos um contraste entre duas médias dos tratamentos, relativamente aos efeitos destas ao nível de 5% de significância, verificando-se que o nível de cobertura morta (palhada de sorgo) exerceu um comportamento diferenciado no que se refere à evapotranspiração de cultura ET_c do experimento.

TABELA 2 - ANAVA dos dados de ET_c com uma parcela perdida

F. V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	Fc	Ftab. (5%)
Blocos	3	20,28	6,76	0,09	3,59
Trat.(ajustado)	4	13.851,36	3.462,84	44,89	3,36
Resíduo	11	848,55	77,14		
Total	18	14.720,19			

Como houve efeito de tratamento, restou saber quais tratamentos tiveram comportamento diferente dos demais. Observando a Figura 3, verifica-se que existe a tendência de resposta decrescente da ET_c à medida que a cobertura do solo aumenta. Neste caso, em que os tratamentos são quantitativos e em mais de dois níveis, optou-se pela análise completa de regressão (Tabela 3), sendo suficiente a utilização de somente um grau de liberdade dos tratamentos (Regressão Linear).

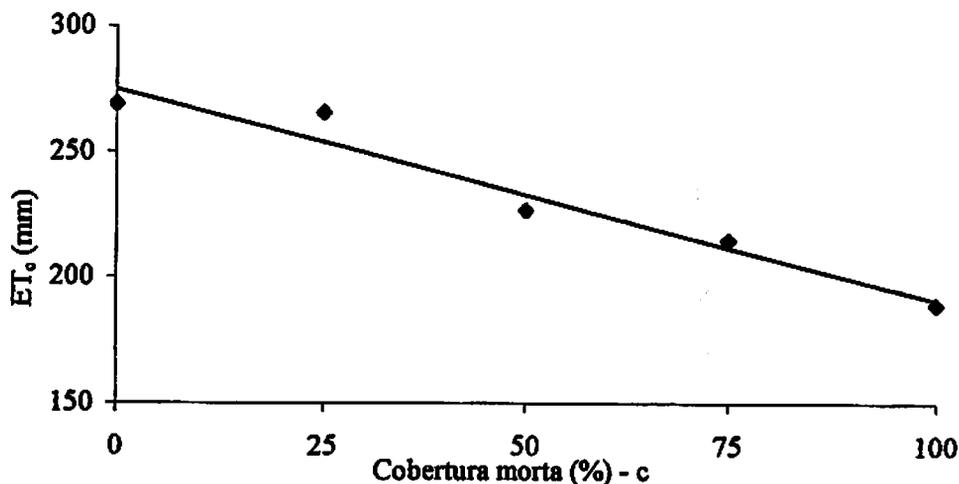


FIGURA 3 - Efeitos da cobertura do solo sobre a ET_c do feijoeiro

A equação de ajuste entre a ET_c e a cobertura do solo é:

$$ET_c = -0,8392.c + 274,79 \quad (R^2 = 0,952^{**}) \quad \text{equação 13}$$

TABELA 3 - ANAVA com desdobramento dos tratamentos em efeito de regressão

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	Fc	F de sig.
Trat.	(4)	18487,2			
R.L.	1	17608,24	17608,24	60,10	0,00449
Desvio (Resíduo)	3	878,9	292,97		
Total	19	36974,3			

O efeito do sistema de plantio mais cobertura morta proporcionando maior retenção de água pelo solo, com conseqüente diminuição da ET_c, pode ser verificado em outros trabalhos experimentais, com o de Derpsch et al. (1991), que verificaram que a maior disponibilidade de água no solo se deve, principalmente, à diminuição das perdas por evaporação e ao aumento da taxa de infiltração em função da cobertura morta sobre a superfície do solo; o de Melo Filho e Silva (1993), que estudando teor de água no solo, em milho sob regime

de plantio direto, observaram redução significativa de 233 mm, lâmina no preparo convencional, para 184 mm como lâmina no plantio direto com resteva de cultura anterior; o de Andrade, Wolfe e Fereres (1994), que avaliando o efeito de sistemas de preparo sobre o conteúdo de água no solo, na cultura da soja e em solo franco arenoso, verificaram que o plantio direto, com cobertura morta oriunda do trigo, reduziu a evaporação, conservando a água por mais tempo no solo, quando comparado ao plantio sob preparo convencional.

4.2.2 Coeficiente relativo de cultura

Para a determinação dos coeficientes relativos de cultura médios (K_c), necessitou-se dos parâmetros médios do balanço hídrico, qual sejam: precipitação (P), irrigação (I), drenagem (D), variação de armazenagem (Δh) e evapotranspiração de cultura (ET_c), assim obtidos da média dos dados de todas as parcelas do experimento (Tabela 4).

TABELA 4 - Estimativa dos diversos parâmetros médios do balanço hídrico, nos diferentes estádios de desenvolvimento do feijoeiro. Ago-Out/2000 - S^o Antônio de Goiás-Go, 2000

Nível	Período	P (mm)	I (mm)	D (mm)	Δh (mm)	ET_m (mm)	ET_m (mm/dia)	ET_0 (mm/dia)
0 %	8 - 14/8	0	31,2	-8,5	-1,7	24,4	3,49	5,40
	15 - 21/8	0	15,9	7,5	-3,4	26,8	3,83	5,00
	22 - 28/8	23,1	31,5	-11,8	5,7	37,1	5,30	5,00
	29 - 4/9	59,2	0	-34,0	3,3	21,9	3,13	2,50
	5 - 11/9	38,4	0	-8,2	-1,9	32,1	4,59	3,70
	12 - 18/9	26,8	16,7	-13,3	-3,4	33,6	4,80	4,00
	19 - 25/9	0	33,7	2	-4,6	40,3	5,76	6,10
	26 - 2/10	1,1	33,7	-1,4	2,2	31,2	4,46	5,60
	3 - 9/10	0,2	17	-0,2	-4,6	21,6	3,09	4,60
2 %	8 - 14/8	0	32,4	-8	-0,8	25,2	3,60	5,40
	15 - 21/8	0	15,6	12,7	-1,1	29,4	4,20	5,00
	22 - 28/8	23,1	31,5	-20,2	-0,3	34,7	4,96	5,00

...continua...

TABELA 4, Cont.

	29 - 4/9	59,2	0	-31,3	6,2	21,7	3,10	2,50
	5 - 11/9	38,4	0	-9,1	-2,8	32,1	4,59	3,70
	12 - 18/9	26,8	16,5	-12,2	-3,1	34,2	4,88	4,00
	19 - 25/9	0	32,3	-0,4	-2,8	34,7	4,96	6,10
	26 - 2/10	1,1	32,4	-1,8	-0,6	32,3	4,61	5,60
	3 - 9/10	0,2	16,2	0,8	-4,1	21,3	3,04	4,60
50 %	8 - 14/8	0	16,5	0,5	-3,4	20,4	2,92	5,40
	15 - 21/8	0	16,7	5,7	-2,1	24,5	3,50	5,00
	22 - 28/8	23,1	16,7	-11,5	-1,4	29,7	4,24	5,00
	29 - 4/9	59,2	0	-29,5	9,6	20,1	2,88	2,50
	5 - 11/9	38,4	0	-12,2	-3,1	29,3	4,18	3,70
	12 - 18/9	26,8	0	1,3	-1,3	29,4	4,20	4,00
	19 - 25/9	0	16,5	19,6	-5,4	41,5	5,93	6,10
	26 - 2/10	1,1	16,7	0,5	0,4	17,9	2,56	4,20
	3 - 9/10	0,2	0	9,8	-5,2	15,2	2,17	4,60
	75 %	8 - 14/8	0	16,7	-2,1	-3,9	18,5	2,64
15 - 21/8		0	16,7	5,3	-2,8	24,8	3,54	5,00
22 - 28/8		23,1	0	7,2	1,2	29,1	4,16	5,00
29 - 4/9		59,2	0	-33,5	6,1	19,6	2,80	2,50
5 - 11/9		38,4	0	-13,6	-3,9	28,7	4,11	3,70
12 - 18/9		26,8	0	-1,8	-1,9	26,9	3,84	4,00
19 - 25/9		0	17,2	19	-0,4	36,6	5,23	6,10
26 - 2/10		1,1	33,7	-19,3	-0,7	16,2	2,31	4,20
3 - 9/10		0,2	0	12,2	-2,1	14,5	2,07	4,60
100 %		8 - 14/8	0	0	9,2	-4,4	13,6	1,94
	15 - 21/8	0	0	18,6	-1,4	20,0	2,85	5,00
	22 - 28/8	23,1	17	-8,3	0	31,8	4,54	5,00
	29 - 4/9	59,2	0	-33,1	8,4	17,7	2,53	2,50
	5 - 11/9	38,4	0	-18,2	-5,2	25,4	3,63	3,70
	12 - 18/9	26,8	17,2	-17,8	1	25,2	3,60	4,00
	19 - 25/9	0	0	20	-5,5	25,5	3,64	6,10
	26 - 2/10	1,1	17,5	1,6	1,6	18,6	2,66	5,60
	3 - 9/10	0,2	17,2	-4,7	0,9	11,8	1,69	4,60

A Tabela 5 informa a média dos coeficientes relativos de cultura K_r , para cada tratamento, obtidos no experimento em função dos estádios de desenvolvimento do feijoeiro no período considerado:

TABELA 5 - Coeficientes relativos de cultura médios, nos diferentes estádios de desenvolvimento do feijoeiro, cultivar Pérola, em relação aos tratamentos de cobertura morta no solo. Ago-Out/2000 - S^{to} Antônio de Goiás-Go, 2000

Coeficientes relativos de cultura (K_r)						
Período	Dias após a emergência (d)	Cobertura do solo (%)				
		0	25	50	75	100
8 - 14/8	20	0,65	0,67	0,54	0,49	0,36
15 - 21/8	27	0,77	0,84	0,70	0,71	0,57
22 - 28/8	34	1,06	0,99	0,85	0,83	0,91
29 - 4/9	41	1,25	1,24	1,15	1,12	1,01
5 - 11/9	48	1,24	1,24	1,13	1,11	0,98
12 - 18/9	55	1,20	1,22	1,05	0,96	0,90
19 - 25/9	62	0,94	0,81	0,97	0,86	0,60
26 - 2/10	69	0,80	0,82	0,61	0,55	0,47
3 - 9/10	76	0,67	0,66	0,47	0,45	0,37

As equações de ajustes (K_r x d) obtidas para os tratamentos cobertura morta têm as seguintes formas, respectivamente para tratamentos 0 %, 25 %, 50 %, 75 % e 100 %:

$$K_r = -0,00076d^2 + 0,07285d - 0,5402 \quad (R^2 = 0,913^{**}) \quad \text{equação 14}$$

$$K_r = -0,00071d^2 + 0,06690d - 0,4034 \quad (R^2 = 0,831^*) \quad \text{equação 15}$$

$$K_r = -0,00082d^2 + 0,07784d - 0,7476 \quad (R^2 = 0,928^{**}) \quad \text{equação 16}$$

$$K_r = -0,00079d^2 + 0,07431d - 0,6939 \quad (R^2 = 0,922^{**}) \quad \text{equação 17}$$

$$K_r = -0,00081d^2 + 0,07522d - 0,7999 \quad (R^2 = 0,884^{**}) \quad \text{equação 18}$$

Os dados da Tabela 5 permitem a conclusão do ponto de máximo consumo hídrico, no que concerne ao estádio de desenvolvimento do feijoeiro,

como sendo aproximadamente aos 41 dias - no presente caso início da floração. Stone e Silva (1999) verificaram que o valor mais elevado, $K_c = 1,06$, ocorreu dos 45 aos 54 dias após a emergência da cultivar Aporé, cujo hábito de crescimento é diferente do da cultivar Pérola. Em função do ponto considerado, 41 dias, verificam-se os máximos $K_r = 1,25$ e $K_r = 1,12$, respectivamente para os tratamentos 0 % e 75 %, evidenciando-se, deste modo, uma economia de água e energia em torno de 12 %. Relativamente ao tratamento 100 %, $K_r = 1,01$, representaria uma economia expressiva em torno de 24 %, quando comparado ao tratamento 0 %. No entanto, isto praticamente seria impossível, em vista da enorme dificuldade de proporcionar e manter uma cobertura efetiva de 100 % em plantios de grande escala.

Ainda com relação às economias de água e energia, quando se compara $K_r = 1,12$ máximo (Tabela 5), proveniente do tratamento 75 %, com o obtido por Steinmetz (1984), no sistema de preparo convencional, $K_c = 1,28$ máximo, também se verifica a economia em torno de 14 %.

4.3 Altura de plantas, produtividade e seus componentes

A tabela 6 apresenta dados médios de altura de plantas, produtividade e seus componentes.

TABELA 6 – Dados médios da altura média da planta (AP), população final de plantas (PFP), número de grãos por vagem (NG), número de vagens por planta (NV), massa de 100 grãos (M100) e produtividade de grãos (PG). Ago-Out/2000 - S^o Antônio de Goiás-Go, 2000

Tratamento	AP (cm)	PFP (n ^o .m ⁻²)	NV	NG	M100 (g)	PG (kg.ha ⁻¹)
0	114	20,5	13,2	5,9	28,6	2937
25	117	20,6	9,6	5,4	28,4	2786
50	111	18,0	12,2	6,6	27,9	2718
75	123	19,8	10,4	6,3	26,0	2742
100	114	20,1	11,7	5,9	28,4	2779

Ao nível de 5% de probabilidade, a altura de plantas e todos os componentes da produtividade não foram afetados pelos tratamentos cobertura morta (Tabela 7). Pode este fato estar relacionado com a utilização dos mesmos parâmetros de adubação, tratos culturais/fitossanitários e manejo de irrigação.

TABELA 7 - ANAVA com desdobramento dos tratamentos em efeitos de regressão

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	Fc	F de significação
Tratamentos	(4)	0,035007			
R.L. (AP)	1	0,001384	0,00138 ^{ns}	0,123447	0,748553
Desvios (Resíduos)	3	0,033623	0,01121		
Tratamentos	(4)	17,59012			
R.L. (PFP)	1	0,967901	0,96790 ^{ns}	0,174688	0,704092
Desvios (Resíduos)	3	16,62222	5,540741		
Tratamentos	(4)	32,532			
R.L. (N.V.)	1	2,209	2,209 ^{ns}	0,218547	0,672012
Desvios (Resíduos)	3	30,323	10,10767		
Tratamentos	(4)	3,5			
R.L. (N.G.)	1	0,217563	0,21756 ^{ns}	0,200908	0,684383
Desvios (Resíduos)	3	3,2	1,082896		
Tratamentos	(4)	18,42801			
R.L. (M100)	1	3,029782	3,02978 ^{ns}	0,590285	0,498248
Desvios (Resíduos)	3	15,39823	5,132742		
Tratamentos	(4)	116507,5			
R.L. (P.G.)	1	51632,21	51632,21 ^{ns}	2,387605	0,220013
Desvios (Resíduos)	3	64875,32	21625,11		

4.4 Eficiência do uso da água

A análise de regressão (Tabela 8) mostrou efeito linear significativo dos tratamentos de cobertura do solo sobre a eficiência no uso da água (EUA). Observa-se que o tratamento de 100 % de cobertura do solo propiciou aumento de cerca de 38 % na EUA em relação ao tratamento sem cobertura (Figura 4). Isto reforça a idéia da economia de água proporcionada pela cobertura do solo. Sidiras, Derpsch e Heinzmann (1984), Barros e Hanks (1993) e Jones, Mody e

Lillard (1969) também verificaram maior economia de água quando da utilização do sistema plantio direto mais cobertura morta no solo.

A equação de ajuste da EUA em função da cobertura morta no solo (c) tem a seguinte forma:

$$EUA = 0,0391.c + 10,236 \quad (R^2 = 0,868^*) \quad \text{equação 19}$$

TABELA 8 - Análise de variância de regressão proveniente de todos os dados das parcelas no que concerne à eficiência no uso da água (EUA) em função dos tratamentos cobertura morta.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	Fc	F de significação
Tratamentos	(4)	44,0			
R.L. (EUA)	1	38,1447065	38,14470**	19,643688	0,0213435
Desvios (Resíduo)	3	5,8	1,94183016		

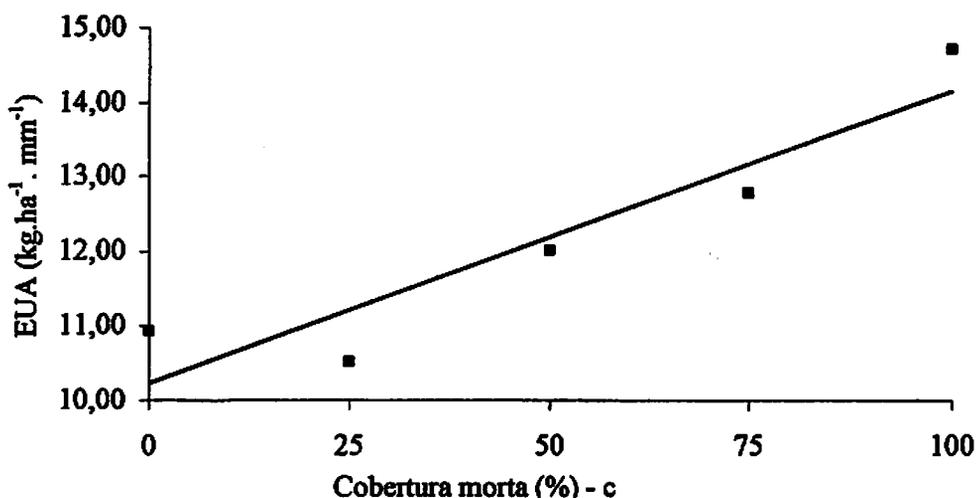


FIGURA 4 – Eficiência do uso da água (EUA) em função do percentual de cobertura morta c

Pereira (2000), para a mesma cultivar de feijoeiro (Pérola) e mesmo solo, alcançou valores de 7,36, 9,01 e 9,90 kg.ha⁻¹ para cada mm de água aplicada, em função das respectivas coberturas mortas proporcionadas ao solo:

50 %, 75 % e 100 %. Stone e Moreira (2000) também observaram maior EUA no sistema plantio direto mais cobertura morta ao concluírem a economia de 30 % de água deste quando comparado com o arado de aiveca, para a cultivar Aporé.

4.5 Índice de área foliar (IAF)

A Figura 5 mostra o comportamento do índice de área foliar (IAF) nos distintos estádios de desenvolvimento do feijoeiro em função, ainda, dos percentuais de cobertura morta do solo.

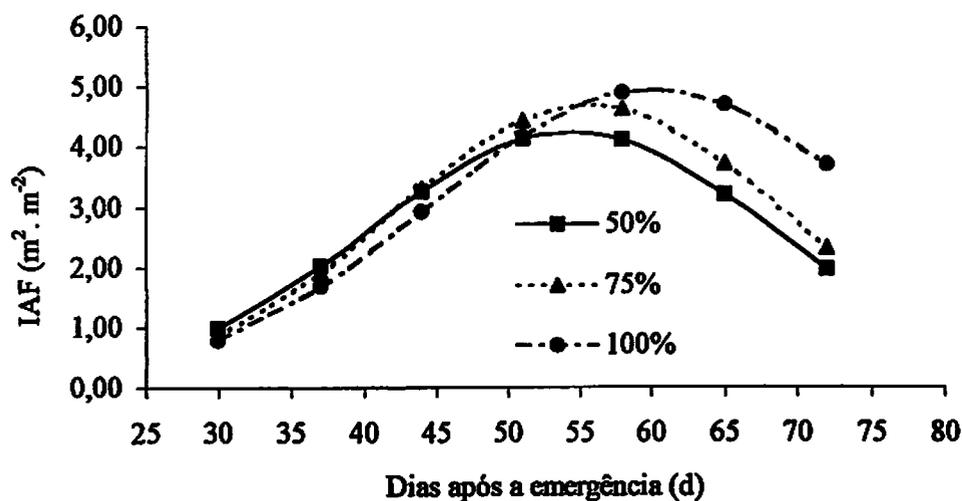


FIGURA 5 - IAF em função de dias após emergência (d)

As equações de ajustes dos IAF da Figura 5 para os tratamentos 50 %, 75 % e 100 % têm a seguinte forma, respectivamente:

$$IAF = 2,7404 \cdot 10^{-3} \exp(0,27049d - 2,48931 \cdot 10^{-3}d^2) \quad (R^2 = 0,954^{**})$$

..... equação 20

$$\text{IAF} = 1,47340 \cdot 10^{-3} \exp(0,29026d - 2,61121 \cdot 10^{-3}d^2) \quad (R^2 = 0,913^{**})$$

..... equação 21

$$\text{IAF} = 3,28097 \cdot 10^{-3} \exp(0,24336d - 2,02383 \cdot 10^{-3}d^2) \quad (R^2 = 0,998^{**})$$

..... equação 22

O IAF, além de crescer naturalmente com o desenvolvimento da cultura, apresentou a tendência de pontos de máximos crescentes 54, 56 e 60 dias após a emergência (d), derivadas das equações 21, 22 e 23, respectivamente para os tratamentos 50%, 75% e 100% de cobertura, evidenciando-se, deste modo, que a magnitude da cobertura morta tende a influenciar no retardamento de obtenção dos maiores IAF. Os tratamentos 0 % e 25 % apresentaram IAF máximos semelhantes entre si.

Stone, Portes e Moreira (1988b) verificaram que os valores máximos de IAF ocorreram na floração, sendo que, para o tratamento com tensão mais baixa (12,5 kPa), o IAF máximo ocorreu cerca de 5 dias após dois outros tratamentos (25 kPa e 75 kPa), pois com a maior disponibilidade de água, as folhas permaneceram verdes por mais tempo e a abscisão foliar foi retardada. Em contrapartida, Moreira (1993) observou, em feijão-vagem, valor máximo de IAF sendo antecipado em sete dias no tratamento mais irrigado (20 kPa) em relação ao menos irrigado (50 kPa), pela antecipação da senescência e/ou abscisão foliar. Este autor atribui este fato ao autosombreamento em virtude do excessivo desenvolvimento das plantas sob o efeito do tratamento mais irrigado.

Em todos os tratamentos verificou-se a tendência da simultaneidade do máximo IAF com a máxima ET_m . O efeito da área foliar fotossinteticamente ativa na demanda de água pelas plantas foi constatado por Oliveira e Silva (1990), segundo os quais a máxima evapotranspiração ocorreu junto com o maior IAF.

Verifica-se, ainda, na Figura 5, a tendência crescente do IAF com o aumento dos pontos de máximos, IAF iguais a 4,25; 4,69 e 4,93 $m^2 \cdot m^{-2}$, para

dias após a emergência iguais a 54, 56 e 60 dias, respectivamente para os tratamentos 50, 75 e 100 %.

5 CONCLUSÕES

A evapotranspiração de cultura durante o ciclo do feijoeiro foi menor para uma maior cobertura morta no solo, ocasionando maior economia de água.

O consumo relativo de água, em cada estágio fenológico do ciclo do feijoeiro, apresentou valores inversamente proporcionais à porcentagem de cobertura morta no solo.

A eficiência do uso da água aumentou com o incremento da cobertura morta no solo. A produção de grãos não foi afetada significativamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, A.P.; WOLFE, D.W.; FERERES, E. Sistemas de preparo do solo: I. Efeito sobre o conteúdo de água e temperatura do solo na cultura da soja. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10, 1994, Florianópolis. Resumos... Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. p.184-185.
- AZEVEDO, J.A.; SILVA, E.M.; RESENDE, M.; GUERRA, A.F. Aspectos sobre o manejo da irrigação por aspersão para o cerrado. Brasília: EMBRAPA Cerrados, 1983. 53 p. (EMBRAPA Cerrados, Documento, 23).
- BALBINO, L.C.; MOREIRA, J.A.A.; SILVA, J.G.; OLIVEIRA, E.F.; OLIVEIRA, I.P. Plantio direto. In: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. (Coords.) Cultura do feijoeiro comum no Brasil. Piracicaba: Potafos, 1996. p.301-352.
- BARROS, L.C.G.; HANKS, R.J. Evapotranspiration and yield of beans as affected by mulch and irrigation. *Agronomy Journal*, Madison, v.85, n.4, p.692-697, Jul./Aug.1993.
- BERGAMASCHI, H.; VIEIRA, H.J.; LIBARDI, P.L. Deficiência hídrica em feijoeiro. III. Evapotranspiração máxima e relações com a evapotranspiração calculada pelo método de Penman e com a evaporação do tanque "Classe A". *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.24, p.387-392, 1989.
- BERGAMASCHI, H.; VIEIRA, H.J.; OMETTO, J.C. Deficiência hídrica em feijoeiro. I. Análise de crescimento e fenologia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.23, n.7, p.733-743, Jul.1988.
- BERNARDO, S. Manual de irrigação, 5. ed. Viçosa: UFV Impr. Univ., 1989. 556 p.
- BLANCANEUX, P.; FREITAS, P.L.; CARVALHO, A.M.; AMBILE, M.F.; COURET, S. Plantio direto como prática de conservação dos solos sob vegetação de cerrados do Centro-Oeste brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 1993. Goiânia. Resumos... Goiânia: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1993, v.3, p.129-130.
- CAIXETA, T.J. Irrigação do feijoeiro. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.4, n.46, p.36-40, out.1978.

- CASTRO, O.M.; VIEIRA, S.R.; MARIA, I.C. Sistemas de preparo do solo e disponibilidade de água. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 1987, Campinas. Anais... Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.27-51.
- COSTA, M.B.B. Adubação orgânica: nova síntese e novo caminho para a agricultura. São Paulo: ÍCONE, 1985. 104 p.
- DEL PELOSO, M.J.; SILVEIRA, P.M.da; SILVA, C.C. DA ET AL. Cultivo irrigado em terras altas. In: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.de O. (Coords.) Cultura do feijoeiro comum no Brasil, Piracicaba: POTAFOS, 1996. p.571-588.
- DERPSCH, R. Importância da rotação de culturas e da adubação verde nos sistemas de produção trigo/soja no sul do Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PLANTIO DIRETO EM SISTEMAS SUSTENTÁVEIS, 1993, Castro. Anais... Castro: Fundação ABC, 1993. p.58-75.
- DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, V. Controle de erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: Dt. Ges. Für Techn. Zusammenarbeit (GTZ) Gmbh, Fundação IAPAR, 1991. 292 p.
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. Yield response to water. Rome: FAO, 1979. 133p. (FAO. Irrigation and Drainage, 33).
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Crop water requirements. Rome: FAO, 1977, 144p. (FAO. Irrigation and Drainage, 24).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. Relatório Técnico do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão: 1990-1992. Goiânia, 1994. 325 p. (EMBRAPA - CNPAF. Documentos, 51).
- FAO PRODUCTION YEARBOOK. Rome: FAO, 1993. v.47.
- FERNANDES, B.; GALLOWAY, H.M.; BRONSON, R.D.; MANNERING, J.V. Efeito de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição dos poros, em dois solos (Typic Argiaquoll e Typic Hapludalf). Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.7, n.3, p.329-333, set./dez.1983.

- FIEGENBAUM, V.; SANTOS, D.S.B.; MELLO, V.D.C.** Influência do déficit hídrico sobre os componentes e rendimento de três cultivares de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, n.2, p.275-280, fev.1991.
- GASSEN, D.N.; GASSEN, F.R.** Plantio direto: o caminho do futuro. Passo Fundo: Aldeia do Sul Editora, 1996. 207 p.
- GOEDERT, W.J.; LOBATO, E., WAGNER E.** Potencial agrícola da região dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 15, n.1, p.1-17, jan.1980.
- GUIMARÃES, C.M.** Efeitos fisiológicos do estresse hídrico. In: **ZIMMERMANN, M.J.O. (Ed.).** Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa do Potássio e do Fósforo, 1988. p.157-174.
- GUIMARÃES, C.M.; STEINMETZ, S.; PORTES, T.A.** Uso de microlisímetros na determinação da evapotranspiração do feijoeiro da seca. In: **REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1982, Goiânia. Anais... Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1982. p.133-137. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 1).**
- HEBERT, S.J.; BAGGERMAN, F.D.** Cowpea response to row width, density and irrigation. **Agronomy journal**, Madison, v.75, n.6, p.982-986, Nov./Dez.1983.
- HILLEL, D.; KRENTOS, V.D.; STYLIANOU, Y.** Procedure and test of an internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics in situ. **Soil Sciences: Printed in U.S.A: v.114, n.5, p.395-400, 1972.**
- ICAR.** A decade of dryland agricultural research in India. **All-India Coordinated Research Project of Dryland Agriculture.** Saidabad, Hyderabad, 1982. n.p.
- JONES JR., J.N.; MODY, J.E.; LILLARD, J.H.** Effects of tillage, no tillage and mulch on soil and plant growth. **Agronomy Journal**, Madison, v.16, n.5, p.719-721, Sept./Out.1969.
- JORGE, L.A.C. SIARCS 3.0: Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo.** São Carlos: EMBRAPA-CNPAP, 1996. 1 disquete 3 1/2". Ambiente Windows.

- KER, J.C.; PEREIRA, N.R.; CARVALHO JUNIOR, W. de et al. Cerrados: solos, aptidão e potencial agrícola. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1, 1990, Goiânia-Go. Anais... Campinas: Fundação Cargill, 1992. p.1-31.
- KLAR, A.E. A água no sistema solo-planta-atmosfera. São Paulo: Nobel, 1984. 408p
- KLUTHCOUSKI, J. Efeito de manejo em alguns atributos de um latossolo roxo sob cerrado e nas características produtivas de milho, soja, arroz e feijão, após oito anos de plantio direto. Piracicaba, 1998. 179 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- KRAMER, P.J. Water relations of plants. New York: Academic Press, 1983. 489p.
- LAL, R. Soil temperature, soil moisture and maize yield from mulched and unmulched tropical soils. Plant and Soil, The Hague, v.40, n.1, p.129-143, Feb.1974.
- LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo: 2.ed. Piracicaba:CENA/USP, 1999. 497 p.
- MACK, H.J.; VARSEVELD, G.H. Response of bush snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to irrigation and plant density. Journal of the American Society for Horticultural Science, Alexandria, v.107, n.2, p.286-290, March 1982.
- MAGALHÃES, A.A.; MILLAR, A.A. Efeito do déficit de água no período reprodutivo sobre a produção de feijão. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.13, n.1, p.55-60, jan.1978.
- MELO FILHO, J.F.; SILVA J.R.C. Erosão, teor de água no solo e produtividade do milho em plantio direto e preparo convencional de um Podzólico Vermelho-Amarelo no Ceará. Revista Brasileira Ciência do Solo, Campinas, v.17, n.2, p.291-297, maio/ago.1993.
- MOREIRA, J.A.A. Efeitos da tensão da água do solo e do parcelamento da adubação nitrogenada, sobre o crescimento e produtividade do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.). Botucatu, 1993. 100 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.

- MOREIRA, J.A.A.; SILVEIRA, P.M.** Estudo da tensão da água do solo para as culturas do feijão, milho e trigo cultivados em plantio direto, visando a irrigação por aspersão. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 2000. 8p. (EMBRAPA. Projeto 01.0.94.337.18). Relatório final.
- MOREIRA, J.A.A.; STONE, L.F.** Sistema radicular do feijoeiro afetado pelo preparo do solo e pela lâmina de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa. Resumos... Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. v.3, p.1746-1748.
- MOREIRA, J.A.A.; STONE, L.F.; PEREIRA, A.L.** Manejo da irrigação do feijoeiro em plantio direto: cobertura do solo. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 2p. (Embrapa Arroz e Feijão. Pesquisa em Foco, 26).
- MOREIRA, J.A.A.; STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. da.** Manejo da irrigação do feijoeiro em plantio direto: tensão da água do solo. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 1998. 2p. (Embrapa Arroz e Feijão. Pesquisa em foco, 13).
- MULLINS, C.A.; STRAW, R.A.** Production of snap beans as effected by soil tillage method and row spacing. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, Alexandria, v.113, n.4, p.667-669, July 1988.
- NASCIMENTO, J.L.** Respostas de duas cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) a cinco lâminas de irrigação aplicadas durante o estágio de desenvolvimento vegetativo nos sistemas de plantio direto e convencional. Goiânia, 1998. 137p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás.
- OLIVEIRA, F.A.; SILVA, J.S.S.** Evapotranspiração, índice de área foliar e desenvolvimento radicular do feijão irrigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.25, n.3, p.317-322, mar.1990.
- PEREIRA, A.L.** Efeito de níveis de cobertura do solo sobre o manejo da irrigação, a produtividade, a temperatura do solo e crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), no sistema plantio direto: Botucatu, São Paulo, 2000. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências da UNESP.
- PURCINO, J.R.C.; CALXETA, T.J.; GARRIDO, M.A.T.** Efeito da aplicação de quatro lâminas totais e três níveis de fertilizantes no rendimento do feijoeiro

- comum. In: EPAMIG. **Projeto feijão: relatório 73/75**. Belo Horizonte, 1978. p.30-34.
- REEVES, D.W. Soil manegement under no tillage: soil physical aspects. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1, 1995, Passo Fundo. **Resumos...** Passo Fundo: EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, 1995. p.127-130.
- SAAD, A.M.; LIBARDI, P.L. **Uso do tensiômetro pelo agricultor irrigante**. São Paulo: Instituto de Pesquisa Tecnológicas, 1992, 27 p.
- SAMPAIO, G.V.; GALVÃO, J.D.; FONTES L.A.N.; FIGUEIREDO, M. de S.; CARDOSO, A.A. Efeitos de sistemas de preparo do solo sobre o consórcio de milho-feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, Viçosa, v.36, n.208, p.465-482, nov./dez.1989.
- SANTOS, R.Z.; ANDRÉ, R.G.B. Consumo de água nos diferentes estádios de crescimento da cultura do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.4, p543-548, abr.1992.
- SATURNINO, H.M.; LANDERS, J.N. Introdução. In: **O meio ambiente e o plantio direto**. Brasília: EMBRAPA - SPI, 1997. p.13.
- SAWAZAKI, H.E.; TEIXEIRA, J.P.F.; ALMEIDA, L. Estresse de água no crescimento, produtividade e acúmulo de proteína em feijão. **Bragantia**, Campinas, v.40, n.14, p.157-166, out.1981.
- SIDIRAS, N.; DERPSCH, R.; HEINZMANN, F. Influência da adubação verde de inverno e seu efeito residual sobre os rendimentos nas culturas de verão, em latossolo roxo distrófico. **Plantio direto**, Ponta Grossa, v.2, p.4-5, 1984.
- SIDIRAS, N.; HENKLAIN, J.C.; DERPSCH, R. Comparison of three different tillage systems with respect to aggregate stability, the soil and water conservation and the yields of soybean and wheat on oxisol. In: INTERNATIONAL SOIL TILLAGE RESEARCH ORGANIZATION, 9, 1982, Osjek. **Conference...** IAPAR, 1982. p.537-574. (Contribuição 53)
- SILVEIRA, P.M. da; STONE, L.F. **Manejo da irrigação do feijoeiro: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central**. Brasília: EMBRAPA. SPI, 1994. 46 p. (EMBRAPA Arroz e Feijão. Documento, 27).

- SILVEIRA, P.M. da; STONE, L.F. Manejo da irrigação do feijoeiro: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central. Brasília: EMBRAPA. SPI. 1994. 46 p. (EMBRAPA Arroz e Feijão. Documentos, 27).
- SILVEIRA, P.M. DA; STONE, L.F.; RIOS, G.P. et al. A irrigação e a cultura do feijoeiro. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1996. 51p. (EMBRAPA-CNPAP. Documentoa, 63).
- SIQUEIRA, N.S. Efeitos de sistemas de preparo do solo sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sobre algumas propriedades físicas e químicas do solo. Viçosa, 1989. 106p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Viçosa.
- SMITTLE, D.A. Response of snap bean to irrigation. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, Alexandria, v.101, n.1, p.37-40, Jan.1976.
- STEINMETZ, S. Evapotranspiração máxima no cultivo do feijão de inverno. Goiânia-Go: EMBRAPA-CNPAP, 1984. 4p. (EMBRAPA-CNPAP, circular técnica, 47).
- STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. A irrigação no plantio direto. *Direto no Cerrado*, Brasília, v.3, n.8, p.5-6, 1998.
- STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Efeitos do sistema de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, n.4, p.835-841, abr.2000.
- STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparo do solo. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6, 1999, Salvador. Resumos expandidos... Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p.693-696 (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 99).
- STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A.; SILVA, S.C da. Efeitos da tensão da água do solo sobre a produtividade e crescimento do feijoeiro. I. Produtividade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.23, n.4, p.161-167, p.161-167, fev.1988.
- STONE, L.F.; PEREIRA, A.L. Sucessão arroz-feijão irrigados por aspersão: efeitos de espaçamento entre linhas, adubação e cultivar na produtividade e

- nutrição do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.4, p.521-533, abr.1994 a.
- STONE, L.F.; PEREIRA, A.L. Sucessão arroz-feijão irrigados por aspersão: efeitos de espaçamento entre linhas, adubação e cultivar no crescimento, desenvolvimento radicular e consumo d'água do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.6 p.939-954, jun.1994 b.
- STONE, L.F.; PORTES, T. DE A.; MOREIRA, J.A.A. Efeitos da tensão da água do solo sobre a produtividade e crescimento do feijoeiro. II. Crescimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.5, p.503-510, maio 1988 b.
- STONE, L.F.; SILVA, S.C. da; **Uso do tanque Classe A no controle da irrigação do feijoeiro no Sistema Plantio Direto**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 2p. (Embrapa Arroz e Feijão, Pesquisa em Foco, 25).
- STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. da. **Determinação da evapotranspiração para fins de irrigação**. Goiânia: Embrapa - CNPAF - APA, 1995. 49 p.(Embrapa - CNPAF, Documentos, 55).
- URCHEI, M.A. **Efeitos do plantio direto e do preparo convencional sobre alguns atributos físicos de um latossolo vermelho-escuro argiloso e no crescimento e desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob irrigação**. Botucatu, 1996. 131 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista).
- VIEIRA, H.J. **Parâmetros hídricos e de crescimento de duas variedades de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob diferentes condições de disponibilidade de água no solo**. Piracicaba, 1984. 153p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- VIEIRA, M.J. **Comportamento físico do solo em plantio direto**. In: FANCELLI, A. L., TORRADO, P.V., MACHADO, J. (Coords.). **Atualização em plantio direto**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p.163-179.
- VIEIRA, M.J. **Propriedades físicas do solo**. In: IAPAR (Londrina, PR). **Plantio direto no Estado do Paraná**, Londrina, 1981. p.19-30. (IAPAR. Circular, 23).

YOKOYAMA, L.P.; BANNO, K.; KLUTHCOUSKI, J. Aspectos sócio-econômicos da cultura. In: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. de (coord.). Cultura do feijoeiro comum no Brasil. Piracicaba: POTAFOS, 1996. p.1-21.