

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**Diferentes sistemas de cultivo na economia de água e
produtividade do feijão de inverno irrigado**

Douglas Roberto Bizari

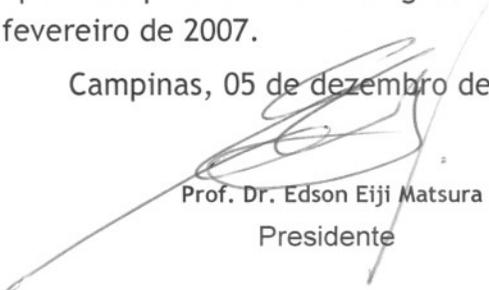
CAMPINAS - SP
FEVEREIRO DE 2007



PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da Dissertação de Mestrado defendida por **Douglas Roberto Bizari**, aprovada pela Comissão Julgadora em 12 de fevereiro de 2007.

Campinas, 05 de dezembro de 2007.



Prof. Dr. Edson Eiji Matsura
Presidente

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**Diferentes sistemas de cultivo na economia de água e
produtividade do feijão de inverno irrigado**

*Dissertação de Mestrado submetida à banca
examinadora para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Agrícola, na área de concentração em
água e solo.*

DOUGLAS ROBERTO BIZARI
Orientador: Prof Dr. Edson Eiji Matsura

CAMPINAS - SP
FEVEREIRO DE 2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

B551d Bizari, Douglas Roberto
Diferentes sistemas de cultivo na economia de água e
produtividade do feijão de inverno irrigado / Douglas
Roberto Bizari. --Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador: Edson Eiji Matsura.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Feijão irrigado. 2. Solos – Manejo. 3. Água –
solo. 4. Produtividade agrícola. 5. Irrigação por
aspersores. I. Matsura, Edson Eiji. II. Universidade
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia
Agrícola. III. Título.

Título em Inglês: Different soil tillage systems in the economy of water and
productivity of the winter bean crop irrigated

Palavras-chave em Inglês: Irrigated bean, Soil tillage, irrigation, Economy of water,
productivity

Área de concentração: Água e Solo

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Marcos Vinicius Folegatti e Zigomar Menezes de Souza

Data da defesa: 12/02/2007

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Agrícola

*"Há homens que lutam um dia e são bons.
Há outros que lutam um ano e são melhores.
Há os que lutam muitos anos e são muito bons.
Porém, há os que lutam toda a vida.
Esses são os imprescindíveis."*

Bertolt Brecht

*à Gabriela, minha companheira amorosa,
pela amizade, compreensão e paciência
e à toda minha família, pelo estímulo,
felicidade e amor, dedico este trabalho.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Edson Eiji Matsura, pela orientação segura, pelo aprendizado, pela confiança, amizade e apoio incondicional na realização desse trabalho.

Aos professores do Departamento de Água e Solo da FEAGRI, pelo apoio e compreensão durante o desenvolvimento deste trabalho.

À Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), pela oportunidade e confiança para a realização deste trabalho.

À FAPESP, pela concessão da bolsa

A Gabriela, pelas horas de sono “perdidas” na correção dos meus relatórios.

Aos meus pais, Sérgio e Rosa, por minha formação, pelo exemplo de vida, dedicação e carinho à minha formação pessoal e profissional.

Aos técnicos de laboratório Túlio Assunção e Gelson Espíndola pela amizade, boa vontade, aprendizado e apoio à pesquisa.

Aos técnicos de laboratório Júnior e Célia pelo apoio na realização das amostras.

Ao técnico de campo Lucarelli, pelo apoio nas atividades de campo.

Ao técnico Agmon Rocha, pela amizade e inúmeras horas dedicadas ao meu computador.

Aos meus companheiros de sala, Márcio e Anderson e também ao agregado Wellington pela boa vontade com que sempre se dispuseram a colaborar e pelo convívio proporcionado ao longo do caminho.

Aos amigos de pós-graduação Laura, Silvestre, Evandro, Aline e Renata pela alegria no nosso convívio.

À todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o sucesso deste trabalho.

Sumário

LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMO.....	xii
ABSTRACT	xiii
1-INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 A CULTURA DO FEIJÃO	3
2.2 O CONSUMO DE ÁGUA PELA CULTURA DO FEIJOEIRO.....	6
2.3 IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO E O SEU MANEJO	8
2.4. SISTEMA PLANTIO DIRETO.....	13
2.5 INTERAÇÃO ENTRE O SISTEMA PLANTIO DIRETO E A IRRIGAÇÃO.....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E SEU HISTÓRICO	19
3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO.....	22
3.3 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DA CULTURA DO FEIJÃO.....	23
3.4 INSTALAÇÃO E MANEJO DA IRRIGAÇÃO NO CAMPO	24
3.5 BALANÇO HÍDRICO	29
3.5.1 Armazenamento de água no solo.....	29
3.5.2 Drenagem profunda e Ascensão capilar	30
3.5.3. Evapotranspiração	32
3.6 COEFICIENTE DE CULTURA.....	34
3.7 DETERMINAÇÃO DA COBERTURA MORTA.....	34
3.8 EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA (EUA).....	35
3.9 PRODUÇÃO DO FEIJOEIRO E SEUS COMPONENTES	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS.....	35
4.2 TENSÃO DE ÁGUA NO SOLO E IRRIGAÇÃO.....	37
4.3 BALANÇO HÍDRICO DE CAMPO	44
4.4 COEFICIENTE DE CULTURA.....	50
4.5. DETERMINAÇÃO DA COBERTURA MORTA, PRODUÇÃO E A EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA	55
4.6 COMPONENTES DA PRODUÇÃO.....	59
5. CONCLUSÕES.....	63
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
7. ANEXOS	70

LISTA DE TABELAS

- TABELA 1:** Efeito de diferentes níveis de resíduos culturais no escoamento superficial e perdas de solo, em declividade de 5%.-----14
- TABELA 2:** Sistemas de preparo do solo da área experimental antes de depois do ano de 2003-----21
- TABELA 3:** Análise da Fertilidade do Latossolo Vermelho Distroférico, ano 2006. Feagri, Unicamp.-----22
- TABELA 4:** Análise Física do Latossolo Vermelho Distroférico, ano 2005, Feagri, Unicamp.-----22
- TABELA 5:** Parâmetros de regressão do modelo de VAN GENUTCHEN (1980) para Latossolo Vermelho distroférico, ano 2006, Feagri/Unicamp.-----32
- TABELA 6:** Valores de precipitação (P), irrigação realizada (I), variação de armazenamento de água no solo (ΔA), evapotranspiração da cultura (ETc), evapotranspiração média (ETcm) e evapotranspiração da cultura acumulada (ETcac) para cada fase da cultura do feijoeiro, obtidas do balanço hídrico para o sistema plantio direto (SPD 1), ano 2006, Feagri/Unicamp.....45
- TABELA 7:** Valores de precipitação (P), irrigação realizada (I), variação de armazenamento de água no solo (ΔA), evapotranspiração da cultura (ETc), evapotranspiração média (ETcm) e evapotranspiração da cultura acumulada (ETcac) para cada fase da cultura do feijoeiro, obtidas do balanço hídrico para o sistema plantio direto (SPD 2), ano 2006, Feagri/Unicamp.-----46
- TABELA 8:** Valores de precipitação (P), irrigação realizada (I), variação de armazenamento de água no solo (ΔA), evapotranspiração da cultura (ETc), evapotranspiração média (ETcm) e evapotranspiração da cultura acumulada (ETcac) para cada fase da cultura do feijoeiro, obtidas do balanço hídrico para o sistema plantio direto (PC 1), ano 2006, Feagri/Unicamp.-----46
- TABELA 9:** Valores de precipitação (P), irrigação realizada (I), variação de armazenamento de água no solo (ΔA), evapotranspiração da cultura (ETc), evapotranspiração média (ETcm) e evapotranspiração da cultura acumulada (ETcac) para cada fase da cultura do feijoeiro, obtidas do balanço hídrico para o sistema plantio direto (PC 2), ano 2006, Feagri/Unicamp.-----47
- TABELA 10:** Valores da evapotranspiração média (ETc m), evapotranspiração de referência (ETo) e o coeficiente de cultura (Kc) para o sistema plantio direto (SPD 1) na cultura do feijão, ano 2006, Feagri/Unicamp.-----51

- TABELA 11:** Valores da evapotranspiração média (ETc m), evapotranspiração de referência (ETo) e o coeficiente de cultura (Kc) para o sistema plantio direto (SPD 2) na cultura do feijão, ano 2006, Feagri/Unicamp. -----52
- TABELA 12:** Valores da evapotranspiração média (ETc m), evapotranspiração de referência (ETo) e o coeficiente de cultura (Kc) para o plantio convencional (PC 1) na cultura do feijão, ano 2006, Feagri/Unicamp.-----52
- TABELA 13:** Valores da evapotranspiração média (ETc m), evapotranspiração de referência (ETo) e o coeficiente de cultura (Kc) para o plantio convencional (PC 2) na cultura do feijão, ano 2006, Feagri/Unicamp.-----53
- TABELA 14:** Valores de produtividade, evapotranspiração da cultura (ETc), cobertura morta (CM) e eficiência do uso da água (EUA) em todos os tratamentos, ano 2006, Feagri-Unicamp.-----55
- TABELA 15:** Dados médios de população final de plantas (PFP) por talhão, número de vagens por planta (NV), número de grãos por vagem (NG), massa de 100 grãos (M100), matéria seca (MS) e índice de colheita (IC), ano 2006, Feagri – Unicamp.-----59

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1:** Expansão da área cultivada em SPD no Brasil por Estado de 1997/98 a 2000/01 (Safrã verã/safrinha/inverno).-----16
- FIGURA 2:** Vista aãrea das parcelas experimentais onde foi conduzido o experimento com a cultura do feijoeiro, sendo T3 e T4, sistema plantio direto e T5 e T6, plantio convencional.-----21
- FIGURA 3:** Sistema de irrigaçã por aspersã na cultura do feijã de inverno no SPD e PC, aos 30 dias apã plantio (DAP)-----24
- FIGURA 4:** Ensaio de uniformidade de distribuiçã de água na superfãcie do solo, realizado no SPD e PC.-----25
- FIGURA 5:** Esquema ilustrativo do dimensionamento do sistema de irrigaçã e alocaçã dos tensiãmetros-----25
- FIGURA 6:** Posiçã das sondas no campo para determinaçã da umidade-----27
- FIGURA 7:** Distribuiçã de água na superfãcie do solo no SPD e PC.-----28
- FIGURA 8:** Curvas de retençã de água no solo para os talhães irrigados.-----28
- FIGURA 9:** Tensiãmetros instalados no SPD e PC nas profundidades de 0,2 e 0,4 m.-----29
- FIGURA 10:** Tela utilizada para quantificaçã da cobertura morta no solo-----34
- FIGURA 11:** Valores diãrios e mãdios de temperaturas mãximas e mĩnimas do ar evapotranspiraçã de referãncia (ETo) e precipitaçã para cada estãdio de desenvolvimento da cultura, ano de 2006, Feagri-Unicamp.-----39
- FIGURA 12:** Valores de tensães diãrias e mãdias obtidas durante o ensaio com a cultura do feijã para os tratamentos com sistema plantio direto (SPD 1 e SPD 2) em cada estãdio de desenvolvimento da cultura-----41
- FIGURA 13:** Valores de tensães diãrias e mãdias obtidas durante o ensaio com a cultura do feijã para os tratamentos com plantio convencional (PC 1 e PC 2) em cada estãdio de desenvolvimento da cultura.-----42
- FIGURA 14:** Lãminas de irrigaçã aplicadas durante o ensaio na cultura do feijoeiro, no sistema plantio direto (SPD 1 e SPD 2), ano 2006. Feagri-Unicamp.-----43
- FIGURA 15:** Lãminas de irrigaçã aplicadas durante o ensaio na cultura do feijoeiro, no plantio convencional (PC 1 e PC 2), ano 2006. Feagri-Unicamp.-----44

FIGURA 16: Valores de Kc e evapotranspiração acumulada (ETc ac) para cada fase da cultura do feijoeiro para os tratamentos SPD 1, SPD 2, PC 1 e PC 2.-----55

FIGURA 17: Amostragem para determinação da cobertura morta no SPD e PC.-----57

RESUMO

A intensificação do uso da terra pelo emprego de técnicas como a irrigação tem proporcionado aumento anual do número de safras e redução dos riscos do empreendimento. Porém, a agricultura irrigada precisa ganhar mais eficiência por meio da utilização do sistema plantio direto, que promove de forma sustentada, o aumento da produtividade e a redução da lâmina de água aplicada. O presente trabalho teve por objetivo demonstrar que o manejo da irrigação em condições de Plantio Direto na cultura do feijoeiro (cultivar Carioca precoce) contribui para a preservação dos recursos hídricos pela redução do número de irrigações em função da cobertura morta e das características físico-hídricas apresentadas por este sistema de manejo. O experimento foi conduzido no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, em Campinas, SP, no período de junho a setembro de 2006, em Latossolo Vermelho distroférrico, submetidos aos seguintes tratamentos: sistema plantio direto 1 (SPD 1), sistema plantio direto 2 (SPD 2), plantio convencional 1 (PC 1) e plantio convencional 2 (PC 2), irrigados por aspersão convencional, sendo que o manejo da irrigação foi realizado pelo método tensiométrico. Os resultados mostraram que os tratamentos com SPD apresentaram menores valores de evapotranspiração da cultura praticamente durante todo o seu ciclo, sendo esta diferença mais acentuada na fase de florescimento, mostrando a importância da manutenção da cobertura morta em sua superfície. Os tratamentos com SPD foram mais eficientes no uso da água, apresentando maiores valores de produção com menor quantidade de água aplicada quando comparado aos tratamentos com PC.

Palavras-chave: Feijão irrigado, sistemas de preparo, irrigação, economia de água, produtividade.

ABSTRACT

The intensification of soil use by the techniques as the irrigation has providing annual increase crops number and reduction of the enterprise risks. However, the irrigated agriculture needs to be more efficiency, through use the no tillage system that promote increases the productivity e reduction of the applied water. The aim this research was to demonstrate that irrigation management in no tillage system with bean crop (*cultivar Carioca precoce*) contributes whit the preservation of water resources once the mulching and others characteristics presented by this soil tillage promotes the reduction of the numbers of irrigations. This experiment was carried in the Experimental Field of University of Agricultural Engineering of UNICAMP, in Campinas, SP, in the period of June to September of 2006, in a *Latossolo Vermelho distroférico*, submitted to the following treatments: no tillage system 1 (SPD 1), no tillage system 2 (SPD 2), tillage system 1 (PC 1) and tillage system 2 (PC 2), using a sprinkle irrigation system managed with tensiometers. The results showed that the SPD treatments presented smaller evapotranspiration values during practically all the crops cycle. This difference was more accentuated in the flowering phase, showing the importance of the maintenance of the mulching. The SPD treatments also presented the largest values of production associated with a smaller quantity of applied water. These results evidenciaded that, in this study, the SPD treatment presents a higher water use efficiency than PC treatments.

Keyword: irrigated bean, soil tillage, irrigation, economy of water, productivity.

1-INTRODUÇÃO

A degradação dos recursos naturais, principalmente da água, vem ocorrendo de forma muito intensa e o uso inadequado dos recursos hídricos na agricultura, em busca de uma produtividade cada vez maior é um dos fatores que tem contribuído para o seu desperdício, trazendo conseqüências indesejáveis ao meio ambiente.

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 2,95% deste recurso é de água doce, com cerca de 95% ainda, na forma de gelo (NASCIMENTO, 1998). De toda água doce retirada de mananciais 70 % é utilizada na agricultura, 24 % na indústria e 6 % no uso doméstico. (FAO, 2003). Na agricultura a água é essencial ao desenvolvimento das culturas, influenciando diretamente no seu crescimento e produtividade. Por outro lado, como já vimos, é a sua mais alta consumidora, já que, por exemplo, para a produção de cada quilo de feijão são necessários mais de 2000 L de água (GASSEN e GASSEN, 1996).

Neste contexto é fundamental nos dias de hoje a adoção de técnicas racionais de manejo conservacionista do solo e da água para a sustentabilidade da agricultura, de tal forma que se possa manter ao longo do tempo estes recursos com quantidade e qualidades suficientes para a manutenção de níveis satisfatórios de produtividade (WUTKE et al., 2000).

MOREIRA et al. (1999b) constatou que a técnica conservacionista conhecida como sistema plantio direto em função da cobertura morta presente na superfície do solo proporcionou economia de água por meio do menor número de irrigações realizadas na cultura do feijoeiro.

Em regiões do Estado de São Paulo em que, durante parte do ano, as condições de temperatura e radiação solar são suficientes para a produção agrícola e que ao mesmo tempo ocorre a existência de um déficit hídrico importante no período de inverno, a adoção do sistema plantio direto (SPD) associado à irrigação é uma excelente opção de uso agrícola, pois tem se mostrado uma forma de manejo promissora com relação à conservação da umidade do solo e economia de água perante a situação de escassez hídrica em muitas regiões agrícolas deste Estado.

Além disso, pode contribuir de forma significativa na minimização dos custos, por ocasião da cobrança pelo seu uso, para aqueles irrigantes que utilizam estas técnicas conservacionistas em suas propriedades.

O ideal para a agricultura seria que o manejo sustentável do solo associado ao uso correto da água possibilitassem condições cada vez melhores para o desenvolvimento vegetal, promovendo conseqüentemente, menores perdas de material sólido e de água e por fim, maior produtividade associada à qualidade ambiental.

Com esse intuito é que se concebeu a presente pesquisa, buscando verificar se o manejo da irrigação em condições de Plantio Direto na cultura do feijoeiro contribui para a preservação dos recursos hídricos pela redução do número de irrigações. E também determinar o consumo de água pela cultura do feijoeiro cultivado em Latossolo Vermelho distroférico, considerando a porcentagem de cobertura morta em todos os tratamentos a fim de verificar sua influência na economia de água e produtividade.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do feijão

O feijão é um alimento básico para o brasileiro, chegando a ser um componente quase que obrigatório na dieta da população rural e urbana. O cultivo desta leguminosa é bastante difundido em todo o território nacional. É conhecida como cultura de subsistência em pequenas propriedades e que atualmente vem sendo produzida em grandes áreas irrigadas por aspersão de forma mais tecnificada.

Segundo AIDAR et al. (2006) as cultivares de feijão podem ser agrupadas nos tipos I, II, III e IV, tomando-se por base as características dos hábitos de crescimento determinado e indeterminado e outras, tais como, número de nós e comprimento da haste principal, número e comprimento dos ramos laterais, capacidade de se apoiar ou não em tutores, e tendência ou não de se prostrarem, que influenciam no espaçamento e densidade de semeadura utilizada.

Os autores ainda relatam que as cultivares do tipo I são geralmente eretas e de crescimento determinado; as do tipo II são cultivares arbustivas, de crescimento indeterminado; as do tipo III são de crescimento indeterminado, com tendência a prostrar ou a subir em tutores; e as do tipo IV são de hábito de crescimento indeterminado, prostradas ou trepadoras na presença de tutores.

No Brasil predominam as cultivares de hábitos II e III, e os resultados das pesquisas com esta cultura sugerem que, para as cultivares de hábito de crescimento indeterminado tipo III, prostradas, há tendência de obtenção de maiores produtividades com o uso de espaçamentos maiores, mantendo-se o número usual de plantas por metro. Pode-se com isto, inclusive, ter economia com o gasto em energia e sementes. Ao se aumentar o espaçamento, pode-se, entretanto, incorrer no erro de utilização de populações de plantas muito aquém da desejada.

O desenvolvimento de cultivares de porte mais ereto, com a altura da primeira vagem mais elevada e com menor tendência ao acamamento, aliado a práticas adequadas de manejo são estratégias a serem utilizadas para possibilitar a utilização de mecanização direta ou semi-direta na colheita do feijoeiro. A irrigação e o correio manejo da densidade e espaçamento entre linhas podem auxiliar a obtenção de maior altura de plantas e de inserção das vagens,

favorecendo a colheita mecanizada. A maioria dos cultivares disponíveis no Brasil apresenta altura de inserção da primeira vagem entre 5 e 10cm, dificultando a prática da colheita mecanizada direta (ALONÇO e ANTUNES, 1997).

Acredita-se, portanto, que, para cultivares eretas e/ou de crescimento determinado, os espaçamentos não diferem daqueles recomendados para as regiões tradicionais de cultivo, caso sejam mantidas as práticas de adubação nitrogenada em cobertura incorporada e a aplicação de herbicidas pós-emergentes. Estas práticas, aliás, é que direciona a indústria na fabricação de plantadoras adaptadas às exigências de cada cultura, sendo o espaçamento atual de 0,40 m o mínimo possível recomendável para a cultura do feijoeiro (AIDAR et al., 2006).

JADOSKY et al. (2000) estudando diferentes populações de plantas e espaçamentos na cultivar de feijoeiro BR FEPAGRO 44 - Guapo brilhante, irrigado por aspersão concluíram que os tratamentos com populações de 175.000 a 325.000 plantas ha⁻¹ e nos espaçamentos entre linhas de cultivo de 0,35 a 0,65 m, não resultaram em aumento expressivo na altura da extremidade da primeira vagem das plantas, impossibilitando a mecanização direta das atividades de colheita do feijoeiro sem a ocorrência de perdas expressivas.

Em termos de país, considerando todos os gêneros e espécies o Brasil é o segundo maior produtor de feijão do mundo, perdendo apenas para a Índia. Analisando-se somente o gênero *Phaseolus vulgaris* (feijão comum), o Brasil é o maior produtor do mundo, seguido pelo México. Não obstante, a produção brasileira é insuficiente para abastecer o mercado interno. No ano de 2000, importou-se cerca de 90 mil toneladas, sendo a maior parte de feijão preto proveniente da Argentina e do Chile. Segundo a CONAB (2006), na safra de 2006 a importação foi de 70 mil toneladas, 30 mil toneladas a menos que na safra 2004.

Dos países do Mercosul, o Brasil é o maior produtor e consumidor de feijão. Na safra 1998/99 a produção destes países alcançou 3.464,7 mil toneladas. Deste total, 87,5 % foi produzido no Brasil, 10,5 % pela Argentina e o restante, apenas 2,0 % pelo Paraguai. (YOKOYAMA, 2002).

O feijoeiro comum no Brasil é plantado em três safras anuais, sendo a primeira denominada de “feijão das águas”, cultivado principalmente nas regiões Sul e Sudeste; a segunda denominada “safrinha” ou “feijão da seca” é cultivada nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste; e terceira safra, também conhecida como de “terceira época” ou “de inverno”, cultivada sob irrigação por aspersão, principalmente nas regiões Centro-Oeste e Sudeste do

país, nos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás/Distrito Federal, região Oeste da Bahia, Tocantins e Mato Grosso. Alguns Estados da Região Nordeste por possuírem regime pluviométrico diferenciado, iniciam o cultivo do feijoeiro comum em maio, quando começa o período chuvoso (SILVA et al., 2004).

Segundo a CONAB (2006) na estimativa da safra 2006/07, em termos estaduais, por ordem decrescente, os cinco maiores produtores de feijão da primeira safra foram: Paraná (494,6 mil toneladas), Minas Gerais (245,9 mil toneladas), São Paulo (129,5 mil toneladas), Santa Catarina (126,6 mil toneladas) e Bahia (114,7 mil toneladas); na segunda safra, foram: Paraná (278,5 mil toneladas), Ceará (225,2 mil toneladas), Minas Gerais (185,0 mil toneladas), Paraíba (90,8 mil toneladas) e Piauí (74,5 mil toneladas); e na terceira safra foram: Bahia (215,8 mil toneladas), Goiás (131,3 mil toneladas), São Paulo (95,4 mil toneladas) e Pernambuco (66,5 mil toneladas).

Analisando-se o feijoeiro de inverno na safra 2006 com a anterior, em termos nacionais, a área plantada foi praticamente a mesma, ou seja, em torno de 937,2 mil hectares. Porém houve uma diminuição na produção de 3,5 % que corresponde a 30,1 mil toneladas. Com relação à produtividade houve um decréscimo também de 3,5 % em relação à safra anterior.

No Estado de São Paulo, não apresentou variação da área plantada permanecendo praticamente a mesma na safra 2006 em relação a safra anterior, ou seja, 59,1 mil hectares. Analisando a produtividade, esta foi reduzida em torno de 0,9 %, passando de 1.630 kg ha⁻¹ para 1.615 kg ha⁻¹. Já para a produção também houve um decréscimo de 0,9 %, ficando em torno de 95,4 mil toneladas. Com relação a segunda safra houve uma queda na produtividade em relação a safra anterior em torno de 1,64 %, com valor de 1.425 kg ha⁻¹, o mesmo não ocorrendo para a safra da seca, cuja produção foi superior em 8,29 %, com valor de 1246,4 kg/ha (CONAB, 2006).

Na cidade de Campinas, segundo levantamento realizado pelo Instituto de economia agrícola (IEA, 2006) para o ano agrícola 2005/06, a área plantada com feijão de inverno irrigado foi de 10.983 ha com uma produção de 439.008 mil sacos de 60 kg, que corresponde a 18,45 % da área plantada em todo o estado.

Segundo dados da CONAB, na cultura do feijão de inverno predominam os cultivos irrigados por aspersão, geralmente conduzidos em grandes áreas e com emprego de tecnologias sofisticadas, o que explica os altos índices de produtividades obtidos (SILVA et al., 2004).

Porém comparando as duas últimas safras, os preços desestimuladores praticados e a descapitalização do produtor favorecem a queda na produção e conseqüentemente na produtividade.

Além disso, devemos considerar que a irrigação influencia de forma significativa na produtividade, havendo necessidade da aplicação adequada de água durante todo o ciclo do feijoeiro, conforme a demanda do consumo de água exigido em cada estágio de desenvolvimento desta cultura.

2.2 O consumo de água pela cultura do feijoeiro

O consumo de água e o seu uso eficiente pelas culturas agrícolas dependem, sobretudo, das condições físicas do solo, das condições atmosféricas, do estado nutricional das plantas, de fatores fisiológicos, da natureza genética e do seu estágio de desenvolvimento (CALVACHE et al., 1997).

A cultura do feijão é pouco tolerante ao déficit hídrico severo, havendo queda significativa na produção se este ocorrer entre as fases de florescimento e enchimento de grãos, em virtude de sua baixa capacidade de recuperação após estresse e do seu sistema radicular pouco desenvolvido Mouhouche (citado por MEDEIROS, 2001).

De acordo com DOORENBOS e KASSAN (1979), a necessidade de água do feijoeiro com ciclo de 60 a 120 dias varia entre 300 a 500 mm para obtenção de alta produtividade. O déficit de água no período vegetativo reduz o crescimento das plantas, que podem se recuperar se a irrigação for reiniciada, mas não apresentarão a mesma produtividade das plantas irrigadas adequadamente durante todo o ciclo. A água de irrigação deve atender à exigência hídrica da planta, que varia, principalmente, com as condições de clima do local, época de semeadura, cultivares e estádios de desenvolvimento da planta (SILVEIRA e STONE, 1998).

O ideal é o fornecimento de água mantendo uma distribuição uniforme durante o ciclo da cultura, com uma lâmina de água em torno de 100 a 150 mm mensais até o período de maturação (ROSTON e BULISANI, 1988).

Plantas estressadas no período de pré-floração propiciam abortamento de flores, comprometendo a produção e a qualidade das 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) e FIEGENBAUN et al. (1991) concluíram que o

componente mais afetado pelo déficit hídrico na cultura do feijoeiro, durante a floração, foi o número de vagens por planta. Outros componentes, como o crescimento das plantas, o tamanho das vagens e o número de sementes por vagem também foram afetados.

A demanda de água está relacionada com o desenvolvimento da cultura. Durante seu ciclo fenológico, a planta aumenta seu consumo progressivamente até a floração e frutificação, quando começa a diminuir até se estabilizar (GOMES, 1997). Sendo assim, para cada fase de crescimento da planta existe o coeficiente de cultura (K_c).

Este coeficiente pode ser definido como sendo a relação entre a evapotranspiração máxima (E_{tm}) da cultura pela evapotranspiração de referência (E_{to}). E_{tm} é a perda de água para a atmosfera por evaporação e transpiração da cultura, em condições ótimas de população de plantas, fertilidade e disponibilidade de água no solo, com bordadura e condições atmosféricas típicas, em qualquer fase de desenvolvimento da planta. Já a E_{to} é definida como a evaporação ocorrente em uma superfície vegetada com grama batatais (*Paspalum notatum*), bem provida de água, em fase de desenvolvimento ativo e com bordadura adequada (MOREIRA et al., 1999a).

SANTOS e ANDRÉ (1992) estudaram o consumo de água requerido pelo feijoeiro, durante as estações primavera-verão, na região de Piracicaba, SP, mostrando que o feijão tem seu pico de consumo de água durante a fase de floração tendo encontrado neste estágio fenológico os maiores valores de K_c . DOORENBOS e KASSAN (1994) apresentam os 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 de vagens).

MEDEIROS (1996) verificou para a cultura do feijão, variedade Carioca 80 SH, que os maiores valores de K_c foram encontrados no período de 54 a 62 dias após a emergência, quando a porcentagem de cobertura vegetal média era de 95,3%. Sendo que no final do ciclo da cultura houve uma queda acentuada nos valores de K_c por causa da redução da área foliar e porcentagem de cobertura vegetal decorrente da senescência das plantas.

STONE e SILVA (1999) ao determinarem o K_c para o feijoeiro, cultivar Aporé, no Sistema Plantio Direto (SPD) verificaram que o valor mais elevado ($K_c=1,06$) ocorreu dos 45 aos 54 dias após a emergência da cultura. Comparando este valor com o valor máximo obtido

por STEINMETZ (1984), no Plantio Convencional (PC), $K_c=1,28$, observaram que o SPD proporcionou uma economia de água em torno de 20 %.

ANDRADE et al. (2002) estudando o coeficiente de cultura em função da cobertura morta do solo na cultura do feijoeiro cultivar Pérola, em SPD, concluiu que o K_c para o tratamento com 75 % foi de 1,12 na fase de floração, obtendo-se o menor valor para o tratamento com 100% de cobertura, 1,01, representando uma economia de água de 24% quando comparado ao tratamento sem cobertura.

JUNQUEIRA et al. (2004) estudando o consumo de água pela cultura do feijoeiro comum concluíram que os valores de K_c foram crescentes até a fase de floração, havendo um decréscimo no estágio de maturação fisiológica. Observaram que o valor médio de K_c foi de 0,74 na fase de desenvolvimento vegetativo, com os maiores valores obtidos na fase de floração-enchimento de grão, variando de 0,94 a 1,17. Já na fase de maturação fisiológica o valor médio de k_c obtido foi de 0,63.

A época de plantio também afeta o consumo de água pelo feijoeiro, devido às variações climáticas do local. As magnitudes da evapotranspiração e da lâmina de irrigação são ditadas pelos principais elementos de clima, como radiação solar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, sendo que estes fatores variam com a época do ano. Com isso, plantios mais precoces ou mais tardios podem apresentar diferenças com relação às perdas por evapotranspiração, o que influencia a lâmina de irrigação a ser aplicada.

2.3 Irrigação por Aspersão e o seu Manejo

A aplicação de água no solo com a finalidade de fornecer às espécies vegetais umidade ideal para o seu desenvolvimento pode ser feita por meio de diversos métodos de irrigação, sendo que um dos mais usados é a aspersão.

No sistema de irrigação por aspersão a água é aspergida sobre a cultura por meio de emissores denominados aspersores, passando em alta pressão por seus orifícios e fazendo com que o jato d'água seja fracionado em gotas, formando uma chuva artificial.

Este método de irrigação é constituído fundamentalmente de um sistema de captação e bombeamento, tubulação de recalque ou principal, tubulação lateral ou ramal e aspersores. É dito portátil, fixo ou semiportátil em função da movimentação ou não, total ou parcial, de seus componentes (PEREIRA, 2001). Mas, independentemente do sistema de irrigação utilizado

sabe-se que a água é um recurso natural cada vez mais finito, sendo necessário a utilização de sistemas de produção e equipamentos mais eficientes, para garantir a sustentabilidade da agricultura irrigada.

A prática da irrigação nos dias atuais, não deve ser vista apenas como uma técnica utilizada para eliminar os riscos das perdas ocasionadas por estiagens ou secas prolongadas, mas sobretudo, como uma tecnologia de alto nível, capaz de acelerar a modernização da agricultura, elevando a produção de alimentos, com ganhos de qualidade e produtividade, que ensejarão melhores resultados econômicos aos produtores rurais. Isto mostra a importância da utilização de equipamentos de irrigação mais eficientes, manejo da irrigação e uso de técnicas de plantio conservacionistas.

Existem várias metodologias e critérios para estabelecer o manejo de irrigação, que vão desde simples turno de rega a completos esquemas de integração solo-água-planta-atmosfera, adotando critérios de aplicação de água que indique o momento e a quantidade de água para cada irrigação, suprindo assim as necessidades hídricas das plantas e garantindo desta forma o uso racional da água, energia e insumos agrícolas, obtendo alta produtividade com menor impacto ambiental.

Para BERNARDO (1995), JUNQUEIRA et al. (1998) e ANDRADE et al. (2002), as práticas de irrigação em uso são, em geral, baseadas em costumes herdados ou conveniência particular, em vez de corretas análises para as condições presentes. No uso racional da água é fundamental o conhecimento das variáveis climáticas do local, do solo e da planta a fim de se conhecer o transporte da água neste complexo sistema solo-planta-atmosfera.

Para maximizar a produção agrícola irrigada, racionalizando o uso da mão de obra, energia, água e fertilizantes, e evitar a ocorrência de problemas fitossanitários relacionados à aplicação excessiva ou deficiente de água, deve-se adotar um manejo correto, levando-se em consideração as características físico-hídricas do solo.

Existem diversos métodos de manejo de irrigação, sendo os mais utilizados aqueles baseados no solo e em dados climáticos. Os critérios para a escolha do manejo da irrigação estão relacionados à disponibilidade e obtenção dos dados, à localização da água no solo e nas plantas, na taxa de evapotranspiração das culturas ou na combinação de dois ou mais deles.

Para o monitoramento da água no solo existem diversos tipos de equipamentos, porém a maioria se restringe somente aos trabalhos de pesquisa, pois são relativamente caros e requerem um mínimo de conhecimento e treinamento para sua utilização.

Vários equipamentos vêm sendo desenvolvidos e outros utilizados para determinar o momento da irrigação baseado em dados do solo, destacando-se, entre eles: o bloco de resistência elétrica, a técnica da reflectometria no domínio do tempo (TDR), tensiômetros e a sonda de nêutrons.

O bloco de resistência elétrica mede, de forma indireta, por meio de resistência elétrica o teor de umidade ou tensão de água do solo, porém, para isso, é necessária uma calibração das leituras de umidade ou tensões. Embora seja um equipamento de boa precisão e custo não muito elevado seu emprego no campo tem sido restrito principalmente devido à variabilidade do solo, dos próprios blocos e da faixa de umidade em que funciona corretamente (REZENDE e ALBUQUERQUE, 2002). No caso das sondas de nêutrons, as críticas são dirigidas principalmente ao processo de calibração da sondas no campo, além disso, a sonda emprega um processo radioativo que requer cuidados de segurança e treinamento especiais para os operadores.

Com relação à técnica da TDR esta vem se destacando como método de monitoramento direto de umidade do solo pela rapidez e repetibilidade de leituras de umidade em tempo real, na qual é feita a medida da propagação de um pulso eletromagnético ou, o tempo que o pulso leva para retornar ao sistema após percorrer uma sonda instalada no solo, sendo que a velocidade de propagação do sinal está relacionada com a constante dielétrica do meio (GOMIDE, 1998; TOMMASELLI e BACHI, 2001; SOUZA e MATSURA, 2002)

O tensiômetro tem o seu emprego mais recomendado para o controle das irrigações em campo em virtude de sua simplicidade, baixo custo e facilidade de operação, porém apresenta algumas limitações como a leitura pontual de umidade, representatividade da área e escala de uso.

Para a cultura do feijoeiro normalmente se emprega a irrigação por aspersão convencional ou por pivô central, sendo realizado o manejo utilizando-se normalmente um dos métodos apresentados a seguir, que se baseiam na combinação do uso de tensiômetros com curva de retenção de água no solo e também com o tanque Classe A. E a utilização do tanque Classe A com a curva de retenção da água no solo.

Para os métodos que utilizam os tensiômetros, quando os valores obtidos são baixos estes indicam solo úmido e valores altos indicam solo seco. Este equipamento tem capacidade para leituras de até 80 kPa Para tensões maiores que essa o aparelho pára de funcionar.

Para SILVEIRA e STONE (2002) os tensiômetros devem ser instalados na lavoura de feijão após a emergência das plântulas e com o solo em condições adequadas de umidade para o seu funcionamento. A instalação deve ser feita em duas profundidades, 0,15 m e 0,3 m, um ao lado do outro, sendo que a leitura do de menor profundidade indica o momento da irrigação e representa a tensão média da água de um perfil de aproximadamente 0,30 m de profundidade, na qual engloba quase a totalidade do sistema radicular do feijoeiro. O outro tensiômetro instalado a 0,30 m é usado para verificar como a irrigação está sendo conduzida, ou seja, se está havendo falta ou excesso de água.

No sistema de irrigação por Pivô Central, atualmente o mais utilizado na cultura do feijoeiro cultivado em grandes áreas, devem ser instaladas três baterias de tensiômetros em linha reta e equidistante em relação ao seu raio, de forma que cada bateria represente aproximadamente 33,3% da área irrigada pelo Pivô (SILVEIRA e STONE, 2002). Para a cultura do feijão uma boa recomendação é a de se fazer a irrigação toda vez que os tensiômetros de decisão apresentarem a faixa de 20 a 35 kPa.

Para MOREIRA et al. (1999a) bons rendimentos de grãos têm sido obtidos quando são mantidas baixas tensões de água no solo. Na cultura do feijoeiro, que necessita de irrigações frequentes, estas podem ocasionar aumento nos custos de produção e nas perdas de água por evaporação, além de favorecerem o aparecimento de doenças. Assim, deve-se adequar o manejo da irrigação para se alcançar a produtividade máxima econômica.

A curva de retenção relaciona o teor ou o conteúdo de água no solo com a força (tensão) com que ela está por ele retida. É uma propriedade físico-hídrica do solo, determinada em laboratório. A avaliação da curva de retenção permite uma estimativa rápida da disponibilidade de água no solo para as plantas, na profundidade de solo considerada. Assim, pode-se determinar a quantidade máxima de armazenamento de água (Capacidade de campo), o armazenamento mínimo (Ponto de murchamento) ou o armazenamento em qualquer outro ponto da curva (SILVEIRA e STONE, 2002).

Quando se utiliza a tensiometria associado ao tanque Classe A, o tensiômetro instalado a 0,15 m de profundidade indica o momento adequado de irrigar e a lâmina líquida de irrigação

é igual a evaporação máxima entre uma irrigação e outra. Já no manejo com o tanque Classe A e a curva de retenção, a lâmina líquida é estabelecida com base na curva de retenção, sendo que a irrigação é realizada toda vez que a evapotranspiração atingir o valor desta lâmina.

No entanto CHIEPPE JUNIOR (1998) ao comparar os três métodos nas condições de Senador Canedo, GO, observou que estes não diferiram significativamente quanto à eficiência do uso da água e à produtividade do feijoeiro.

A manutenção da disponibilidade hídrica para as culturas agrícolas durante todo o ciclo é um dos fatores que contribuem para a obtenção de bons resultados de produtividade, porém a situação desta disponibilidade é uma preocupação mundial que também é sentida no Brasil, onde as leis e regulamentações federais e estaduais determinam as políticas de uso e conservação dos recursos hídricos (TESTEZLAF e MATSURA, 2004).

Segundo os mesmos autores, a gestão dos recursos hídricos é sem dúvida uma necessidade premente dentro das políticas de urgência a serem tomadas pelo governo atual, a fim de que se possam acomodar as demandas econômicas, sociais e ambientais pela água em níveis sustentáveis. Sendo que uma dessas medidas é o estabelecimento de políticas que considerem a água como um bem escasso e com valor econômico e não como um recurso infinito e abundante na natureza.

Com esse objetivo a Lei nº 9.433, de 08/01/1997, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecendo como um de seus instrumentos a Outorga do Direito do Uso da Água, cabendo à Agência Nacional de Águas (ANA), a competência para emitir estas outorgas de uso das águas sob domínio da união.

Essa mesma Lei Federal definiu a cobrança como outro instrumento de gestão dos recursos hídricos, que atribui à ANA a competência para implementar em articulação com os Comitês de Bacias Hidrográficas a cobrança pelo uso dos recursos hídricos de domínio da União. Em âmbito estadual, atualmente 24 estados e o distrito federal já aprovaram suas leis sobre a Política e Sistema de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, incluindo a cobrança pelo seu uso como instrumento de gestão, que deve levar em conta a utilização de técnicas conservacionistas adotadas pelos produtores rurais, como por exemplo, o sistema plantio direto.

2.4. Sistema Plantio Direto

As técnicas de preparo do solo são divididas basicamente em dois grupos: preparo convencional e sistemas conservacionistas. O primeiro tem como principal característica o revolvimento de toda a área a ser cultivada, na qual o implemento utilizado atua na incorporação total ou quase total dos resíduos presentes na superfície do solo.

Aquelas consideradas conservacionistas, como por exemplo, o sistema plantio direto (SPD) tem seu fundamento na mínima mobilização do solo, na manutenção de cobertura morta que permanece sobre ele e na rotação de culturas. É a forma de manejo que envolve todas as técnicas recomendadas para aumentar a produtividade, conservando ou melhorando continuamente o ambiente (CURY, 2000).

Segundo NASCIMENTO (1998) este sistema traz benefícios para as características de retenção de água e propriedades físicas do solo, ou seja, diminuição da temperatura e da evaporação da água na sua superfície, elevação da capacidade de armazenamento de água, capacidade de infiltração, da porosidade e do número de agregados.

Muitos especialistas vêm questionando a utilização de sistemas de preparo que provocam acentuado revolvimento, pois estas técnicas são as que mais contribuem para a erosão (MEDEIROS, 2001). A erosão foi a principal razão que levou os agricultores a adotar o SPD, uma vez que causava intensa degradação ambiental, tornando a atividade agropecuária quase que insustentável. A médio e longo prazo, o aspecto mais positivo da adoção deste sistema é, sem dúvida, o controle da erosão, pois possibilita a redução das perdas de solo em até 90%. (CURY, 2000).

A cobertura morta existente atua como agente isolante, impedindo oscilações bruscas da temperatura do solo, contribuindo para a menor evaporação da água armazenada, permitindo melhor aproveitamento da umidade. Outro aspecto importante da conservação da umidade do solo é a uniformidade da germinação das sementes e o crescimento inicial das plântulas.

Outros benefícios também podem ser citados na adoção do SPD, tais como: aumento da vida útil de máquinas e equipamentos, reduzindo gastos com combustíveis e manutenção, melhoria da fertilidade do solo a longo prazo, possibilidade de incorporação de áreas marginais ao processo produtivo, diminuição da compactação do solo se comparado ao plantio convencional, redução do uso de herbicidas, tanto pelo efeito da cobertura permanente do solo com a palhada como pelo efeito alelopático da cobertura, regulação da temperatura do solo,

possibilidade de desenvolvimento de inimigos naturais de pragas e doenças, maior produtividade das culturas, redução a médio e longo prazo dos custos de produção por causa do menor uso de fertilizantes, agrotóxicos, número de implementos e uso da mão de obra.

Além disso, recupera solos de baixa aptidão e capacidade agrícola, fazendo com que pequenos, médios e grandes produtores permaneçam trabalhando na terra, é o sistema agrícola que mais se aproxima do equilíbrio da natureza (REGO, 1997).

Porém uma necessidade de grande importância e indispensável para o bom funcionamento é a adoção de plantas de cobertura para a produção de palhada. Pode se considerar que cerca de 6 toneladas de matéria seca por hectare, provenientes de resíduos vegetais sobre o solo, é uma quantidade adequada para proteger o solo da ação da chuva, diminuição da evaporação e capacidade para a ciclagem de nutrientes (ALVAGENGA et al., 2001). Os dados do tabela 1 exemplificam o efeito de restos culturais no escoamento superficial e perdas de solo.

Tabela 1: Efeito de diferentes níveis de resíduos culturais no escoamento superficial e perdas de solo, em declividade de 5%.

Resíduos (t/ha)	Efeito sobre a água e solo	
	Escoamento superficial (%)	Perda de solo (t ha ⁻¹)
0,00	45,30	13,69
0,55	24,30	1,56
1,10	0,50	0,33
2,21	0,10	0,00
4,41	0,00	0,00

Fonte: Ruedell (1998).

Produzir e manter a palhada sobre o solo tem sido um dos grandes entraves encontrados para o SPD, principalmente no Cerrado que está sujeito às condições de umidade e temperatura elevadas em boa parte do ano, que causam a rápida decomposição da fitomassa depositada sobre o solo. Alguns trabalhos têm sido conduzidos com o intuito de avaliar a produção de matéria seca por algumas plantas utilizadas para cobertura do solo em SPD, sendo que os resultados são muito amplos e variam entre 2 e 16 toneladas por hectare (ALVARENGA et al., 2001).

STONE et al. (2006) afirmam que os valores de evapotranspiração estão relacionados com as quantidades de matéria seca fornecidas pelas culturas e com suas respectivas taxas de decomposição. Os autores estudando diferentes culturas de cobertura para formação de palhada em SPD estimaram que no primeiro ano de cultivo os valores de matéria seca, aos 8 dias após a dessecação foram de 11,8; 3,7; 5,2; 5,8; 7,3, 6,0 e 3,2 ton ha⁻¹ para braquiária, milho consorciado com braquiária, guandu, milheto, mombaça, sorgo e estilosantes, respectivamente.

OLIVEIRA et al. (2002) avaliaram algumas plantas para formação de cobertura morta para posterior implantação da cultura do feijoeiro em SPD e concluíram que o sorgo, apresentou maior produtividade de matéria fresca e, juntamente com o milheto e o consórcio milheto e mucuna-preta, maior produtividade de matéria seca. Ocorreu também maior acúmulo de nutrientes no milheto e milheto consorciado com mucuna-preta e que o rendimento de grãos foi influenciado pelas diferentes palhadas das plantas de cobertura no sistema plantio direto, sendo mais afetado pela espécie produtora de palha do que pela sua forma de cultivo.

O Brasil possui a segunda maior área plantada no mundo em SPD, representando este fato uma grande conquista para a sociedade brasileira em termos de preservação do meio ambiente. Como resultado de seus benefícios, o SPD tem avançado em todos os estados brasileiros, sendo que no início as áreas sob SPD concentravam-se mais no sul do Brasil.

Todos esses aspectos resultaram de um grande esforço da pesquisa brasileira no sentido de entender os processos fundamentais para o estabelecimento do SPD em diferentes solos e biomas. Cabe também ressaltar a contribuição que os agricultores, os extensionistas e as empresas de fabricação de máquinas e de insumos deram para a expansão do SPD no Brasil.

Atualmente são cultivados no Brasil cerca de 22 milhões de hectares sob plantio direto (CERVI, 2003) estando 25% dessa área localizada na região do Cerrado. Em nível mundial, a área sob SPD é de 64 milhões de hectares e o Brasil ocupa a segunda maior área, sendo os Estados Unidos o país que apresenta a maior área sob esse sistema.

Regionalmente, o SPD já vem sendo adotado de modo sistemático nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná (3,8; 0,8 e 4,5 milhões de hectares, respectivamente), havendo nos anos recentes maior adoção do SPD em outros estados brasileiros, principalmente em Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. A expansão relativamente rápida do SPD no Brasil pode ser explicada, também, pelo menor custo de produção e facilidades de operação de práticas de campo verificados nesse sistema de cultivo, aliado a maior proteção do solo, da

água e da fauna. A figura 1 mostra a evolução do SPD por estado no período de 1997/98 a 2000/01.

No Estado de São Paulo, restrições de chuva no inverno em determinadas épocas do ano limitam a produção e a manutenção de cobertura do solo, o que pode explicar em parte a pequena adesão dos produtores ao sistema. A pesquisa orientada ao aprimoramento do sistema para uso no Estado de São Paulo associado à irrigação pode ser um fator decisivo para que os agricultores paulistas adotem o SPD pelas inúmeras vantagens que este sistema apresenta.

Porém, como é sabido, grande parte da área plantada no estado se restringe às culturas de cana-de-açúcar, citros e pastagens, mesmo assim, o SPD em três anos expandiu-se de uma área de 45 mil hectares em 1998 para mais de 1 milhão de hectares em 2001, devido ao grande incentivo da Secretaria de Agricultura e do empenho dos órgãos de pesquisa e extensão.

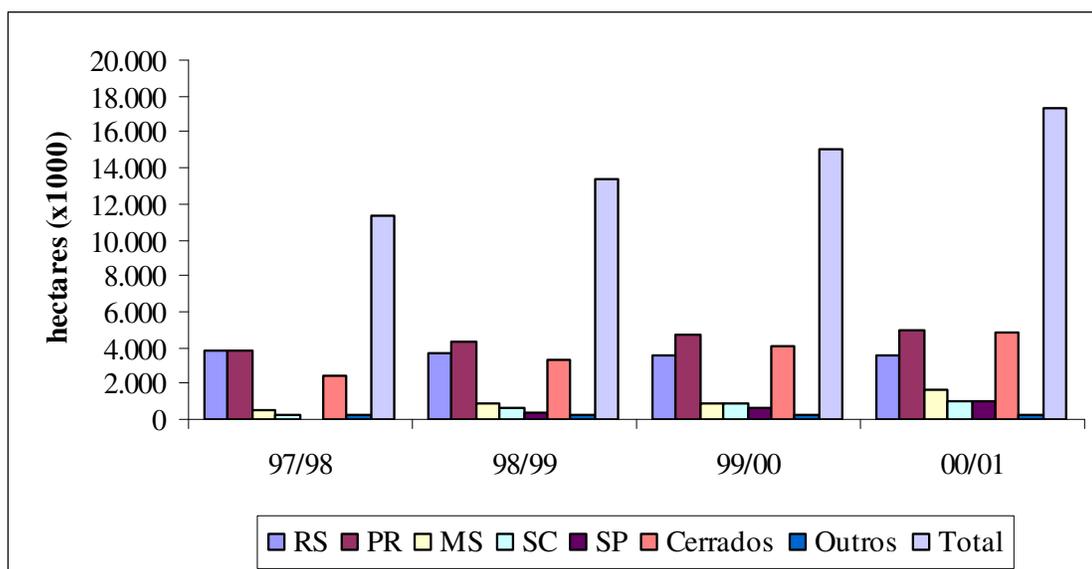


Figura 1: Expansão da área cultivada em SPD no Brasil por Estado de 1997/98 a 2000/01

(Safrã verão/safrinha/inverno). adaptado do site da Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha.

Com relação a cultura do feijoeiro, tem havido aumento da área cultivada em SPD no estado de São Paulo, havendo entretanto, escassez de informações sobre o cultivo desta cultura neste sistema agrícola e também quando associado à tecnologia da irrigação.

2.5 Interação entre o Sistema Plantio Direto e a Irrigação

Atualmente, principalmente no cerrado brasileiro, extensas áreas são cultivadas com o feijoeiro no Sistema Plantio Direto (SPD), utilizando a irrigação por aspersão, pois é uma alternativa de manejo correto e sustentável de sistemas agrícolas intensivos (MOREIRA et al., 1999a).

Os sistemas de manejo do solo afetam diretamente sua densidade e porosidade e o armazenamento de água ao longo do perfil do solo, interferindo no desenvolvimento e produtividade das culturas. O solo no SPD tem se caracterizado por apresentar na camada de 0 a 20 cm de profundidade, maior estabilidade estrutural, maiores valores de densidade e microporosidade e menores valores de porosidade total e macroporosidade, quando comparado a outros sistemas de preparo Stone e Silveira (citado por STONE, 2005).

Segundo o mesmo autor, com o passar dos anos sua densidade pode vir a diminuir, devido em parte pelo aumento do conteúdo de matéria orgânica na camada superficial favorecendo a melhoria da estrutura do solo.

A princípio estas características não são favoráveis para permitir altos índices de infiltração, porém no SPD o solo encontra-se protegido pela cobertura morta, que aumenta a rugosidade da superfície. Sendo assim, aliando-se o efeito da cobertura aos da maior estabilidade estrutural, a infiltração de água no solo sob SPD tem sido mais elevada que em outros sistemas de preparo, tendo como conseqüência menores perdas de água por escoamento superficial (MOREIRA et al., 1999a).

MOREIRA et al. (1999a) relatam que outra característica hídrica importante do solo em SPD está relacionada à capacidade de armazenamento de água e a distribuição do tamanho dos poros nas tensões matriciais mais baixas. Nos sistemas de preparo com menor revolvimento do solo haverá maior armazenamento de água quando comparado aos sistemas que provocam maior revolvimento, já que estes aumentam seu volume, facilitando as perdas de água na camada revolvida. A maior capacidade de retenção de água observada no SPD é devido às alterações sofridas na porosidade e ao maior conteúdo de matéria orgânica. Segundo estes autores, fatores como temperatura do solo e cobertura morta superficial, juntamente com a questão do armazenamento tem proporcionado maiores conteúdos de água para as plantas cultivadas em solos com menor revolvimento.

BARROS e HANKS (1993), MELO FILHO e SILVA (1993) e URCHEI et al. (1996) trabalhando com a cultura do feijão verificaram que a palhada ou cobertura morta adequada no SPD foi mais eficiente no uso da água, propiciando maiores produtividades com menor quantidade de água aplicada, com uma economia de água em comparação aos demais sistemas de preparo.

STONE e MOREIRA (2000) relatam que os sistemas de preparo afetaram significativamente o número de vagens por planta e o de grãos por vagem, sendo o número de vagens maior no SPD mais cobertura morta, o mesmo ocorrendo como número de grãos por vagem em relação ao preparo com grade.

Estes mesmos autores trabalhando com a cultivar Safira constataram que a produtividade obtida no SPD com 280 mm de água consumida pela cultura foi semelhante à obtida com 400 mm no preparo com arado de aiveca, o que representa uma economia de água de 30%. Com a cultivar Aporé, por apresentar plantas prostradas, a economia de água foi menos expressiva. A máxima produtividade desta cultivar no SPD mais cobertura morta foi obtida com 343 mm de água, representando uma economia de 14 %, em relação ao preparo com arado de aiveca. Resultados semelhantes foram obtidos por STONE e MOREIRA (1998) ao observarem que o feijão sob SPD e com gastos de 240 mm de água durante seu ciclo, proporcionou produtividade semelhante à obtida no preparo com grade, cuja demanda de água foi de 400 mm, representando uma significativa economia de água de 40 %.

BIZARI et al. (2006a) trabalhando com a variedade IAC carioca concluíram que o SPD proporcionou economia de água em torno de 12% com incremento na produtividade de 9,5 % quando comparado ao plantio convencional, em Latossolo Vermelho distroférico, cultivado com feijão irrigado por aspersão convencional.

MOREIRA et al. (1999b) constatou que a economia de água começa a ser significativa a partir dos 50 % de cobertura do solo pela palhada, implicando em menor número de irrigações do feijoeiro. Daí a importância da manutenção da palhada na área de cultivo sob plantio direto.

ALLEN et al. (1998) afirmam que para cada 10 % da superfície do solo com presença de cobertura morta ocorre redução em torno de 5 % na evaporação de água. Para uma condição de 50 % de cobertura morta presente no solo a evapotranspiração pode ser reduzida em 25 %

no estágio inicial da cultura e entre 5 e 10 % nos demais estádios de desenvolvimento da cultura.

Com relação ao armazenamento de água no perfil do solo, SIDIRAS et al. (1982) observaram que no SPD, o conteúdo de água no solo, superava consideravelmente o do preparo convencional. Nas profundidades de 0,03-0,10 m, 0,11-0,20 m e 0,21 – 0,30 m, o conteúdo de água na capacidade de campo em SPD superou o plantio convencional em 31%, 20% e 5% respectivamente.

DERPSCH et al. (1991) concluíram que o SPD apresentou maior capacidade de retenção de água em relação ao plantio convencional nas camadas de 0 – 10 e 10 – 20 cm de profundidade.

SALTON e MIELNICZUK (1995) e STONE e MOREIRA (2000) e BIZARI et al. (2006b) verificaram que no SPD o solo reteve maior quantidade de água para as culturas, reduzindo as perdas de água por evaporação e aumentando o armazenamento de água no solo. Assim tanto a lâmina de irrigação, quanto o turno de rega serão diferentes no SPD, ou seja, maior disponibilidade de água, em menor tempo de irrigação (FOLONI, 2002).

A capacidade de armazenamento de água no solo no SPD é maior que nos demais sistemas de preparo, porém ainda são poucas as pesquisas no Estado de São Paulo, com relação ao armazenamento e distribuição de água no perfil do solo manejado sob SPD, quando essa é proveniente da irrigação. De modo geral, em áreas agrícolas da região do Cerrado o SPD tem propiciado menor consumo de água variando entre 10 e 20 % (LANDERS, 1995).

A irrigação no Brasil deve se tornar mais eficiente no uso da água, por meio de avaliações precisas da quantidade utilizada de forma efetiva para desenvolvimento das culturas em relação ao total de água aplicada para que possamos dar o primeiro passo em busca da chamada irrigação de precisão.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área e seu histórico

O experimento foi conduzido no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (Feagri/Unicamp), no município de

Campinas, SP, cujas coordenadas geográficas são: latitude 22° 48'57" sul, longitude 47°03'33" oeste e altitude média de 640m.

O clima pela classificação climática de Köppen é uma transição entre os tipos Cwa e Cfa, indicando clima tropical de altitude com inverno seco e verão úmido. A temperatura média do mês mais quente (Fevereiro) é superior a 22°C e a do mês mais frio (junho) é inferior a 19°C. A umidade relativa média anual é 72,2% para leituras realizadas às 09h00min no período da manhã. A precipitação média anual é de 1.430 mm, com o período chuvoso estando entre outubro a março (1.148,6 mm), o que representa 80% do total de chuva anual. Já o período mais seco ocorre de junho a agosto (59,9 mm), o que possibilita o cultivo do feijão de inverno irrigado nesta região (CEPAGRI, 2007).

No ano de 1986, foram construídos na área experimental 9 talhões, sendo oito com sistemas coletores de solo e água e um sem coletor que foi preservado como memória. Este último foi cercado e mantido sem uso agrícola durante os últimos 20 anos. Atualmente o talhão memória já possui espécies arbóreas, podendo ser adotado como referência. Estes talhões se situam no terço médio de uma encosta com 9% de declividade, orientação norte-sul e exposição oeste, cada qual com uma área útil de 600 m², sendo 30 m de comprimento e 20 m de largura.

Nos anos agrícolas 1986/87, 1987/88, 1988/1989 e 1989/90 foram feitas subsolagens a 0,5 m de profundidade, semeando-se crotalaria, milho, soja e milho, respectivamente, nos 8 talhões. No período de 1990 a 1998, somente a cultura do milho foi semeada na área, sendo que no período de 1999 a 2002 foi instalada na época de inverno a cultura do feijão irrigado.

No ano de 2003 houve uma subsolagem na área dando-se início às pesquisas com plantio direto. Para o presente ensaio serão utilizados os talhões de 3 a 6, representando os tratamentos SPD 1, SPD 2, PC 1 e PC 2 respectivamente, conforme mostra a tabela 2. Apesar de serem utilizados somente dois sistemas de preparo, considerou-se cada talhão como um tratamento diferenciado em função de suas respectivas origens.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos inteiramente casualizados, sendo os resultados analisados por meio da estatística clássica utilizando-se o software Minitab 12.

Tabela 2: Sistemas de preparo de solo da área experimental antes e depois do ano de 2003.

Talhões	Antes de 2003	Depois de 2003
Sistemas de preparo		
1	Grade aradora	Plantio convencional
2	alternado	Plantio convencional
3	Arado escarificador	Plantio convencional irrigado
4	Sistema plantio direto	Plantio convencional irrigado
5	Arado de disco	Sistema plantio direto irrigado
6	Roçado	Sistema plantio direto irrigado
7	Morro abaixo	Sistema plantio direto
8	Enxada rotativa	Sistema plantio direto

Obs: Plantio convencional depois de 2003: arado de disco e duas gradagens, destorroamento e nivelamento.

A figura 2 abaixo mostra a vista aérea dos 8 talhões coletores presentes na área experimental, sendo os talhões de 3 a 6 (da direita para a esquerda) utilizados como tratamentos para a realização do ensaio.



Figura 2. Vista aérea das parcelas experimentais onde foi conduzido o experimento com a cultura do feijoeiro, sendo T3 e T4, sistema plantio direto e T5 e T6, plantio convencional.

3.2 Características físico-químicas do solo

O local do ensaio possui solo classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico (EMBRAPA, 1999; OLIVEIRA et al., 1999) cujas características físicas e químicas se encontram nas tabelas 3 e 4, respectivamente. A fertilidade foi avaliada em Laboratório credenciado no programa de Análise de Fertilidade do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). Foi coletada uma amostra composta a partir de nove sub-amostras por parcela na profundidade de 0,20 m antes do plantio da cultura. Para o ano de 2006 não foi determinada a granulometria, pois segundo estudos anteriores na mesma área, esta não variou significativamente, portanto serão apresentados os dados referentes ao ano de 2005. Já os valores de densidade foram obtidos na safra de 2006.

Tabela 3. Análise da Fertilidade do Latossolo Vermelho distroférico, ano 2006, Feagri, Unicamp.

Tratamentos	Prof. cm	P (res.) mg dm ⁻³	pH CaCl ²	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	-----cmol dm ⁻³ -----			
							H ⁺ +AL ³⁺	SB	CTC	V %
SPD 1	20,0	83,0	5,2	0,5	5,4	1,5	3,3	7,4	10,7	69,2
SPD 2	20,0	85,0	5,3	0,5	5,6	1,6	3,9	7,7	10,6	72,6
PC 1	20,0	34,0	5,2	0,4	4,7	1,4	2,9	6,5	8,9	69,1
PC 2	20,0	19,0	6,0	0,3	6,2	2,5	1,8	9,0	8,2	83,3

SPD: sistema plantio direto; PC: plantio convencional.

Tabela 4. Análise Física do Latossolo Vermelho distroférico, ano 2005, Feagri, Unicamp.

Tratamentos	Prof. (cm)	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Densidade Kg.m ⁻³
SPD 1	20	527	284	82	107	1.320
SPD 2	20	532	158	129	181	1350
PC 1	20	574	202	94	130	1310
PC 2	20	573	165	107	155	1290

3.3 Instalação e condução da cultura do feijão

No início do experimento foram realizadas duas gradagens no plantio convencional, sendo a primeira no dia 16/06/2006 e a segunda em 19/06/2006. Com relação às parcelas no SPD realizou-se apenas o controle químico das plantas infestantes na área com aplicação de Roundup na dose de 5 L ha⁻¹, em 29/06/2006. Já o controle das plantas infestantes no plantio convencional foi realizado por meio de duas capinas manuais realizadas durante a condução do ensaio.

A cultivar utilizada foi a “Carioca precoce” procedente da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI), semeada no dia 24 de junho com plantadeira mecânica marca Gihal 2500 S de 5 linhas, com densidade de 10 a 12 sementes/metro linear e profundidade de semeadura de 0,5 m. Esta cultivar apresenta plantas de hábito determinado, com 0,43 m de altura, em média, porte prostrado, folhas verdes-claras, flores brancas, vagens de cor creme ou palha e grãos de tamanho médio. A principal vantagem é o ciclo curto de 65 a 80 dias, que permite a chegada do produto ao mercado antes dos outros cultivares mais tardios, propiciando a obtenção de melhores preços na comercialização. Por ser uma variedade de ciclo curto, tem ainda, a possibilidade de ser utilizada num ciclo de rotação de culturas, permitindo o plantio de mais uma cultura econômica dentro de um mesmo período (VASCONCELLOS e VECHI, 2001).

O espaçamento utilizado foi de 0,45 m entre linhas. A adubação básica por ocasião do plantio foi com a formulação 04-20-20 para os dois sistemas de manejo estudados, com base nas informações contidas na análise de solo.

Foi realizada também a adubação de cobertura, sendo aplicada a quantidade de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio parcelada aos 30 e 60 dias após a emergência das plantas, segundo recomendação de AMBROSANO et al. (1996). A figura 3 mostra a cultura do feijão com o sistema de irrigação nos dois sistemas de cultivo.

No dia 30/06/2006 foi instalado o sistema de irrigação, sendo realizada a primeira aplicação de água no dia 03/07/2006 em todas as parcelas estudadas, sendo que uma semana depois, em 10/07/2006, praticamente todas as plantas já haviam emergido na área experimental.



Figura 3: Sistema de irrigação por aspersão na cultura do feijão de inverno no SPD e PC, aos 30 dias após plantio (DAP).

3.4 Instalação e manejo da irrigação no campo

As irrigações foram realizadas por meio do sistema de irrigação por aspersão convencional, constituído de 3 linhas laterais com 3 aspersores cada uma, perfazendo um total de 9 aspersores, marca “NAAN DAN” por parcela experimental.

Destes 9 aspersores, 8 eram setoriais, tipo 427 AG, com vazão de $0,45 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e pressão de serviço de 200 kPa e apenas o aspersor central de cada parcela era do tipo 5022, rotativo, com vazão de $0,94 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, a mesma pressão.

O espaçamento utilizado entre os aspersores foi o de 9 x 15 m. Foram adotados aspersores setoriais e o presente dimensionamento do sistema de irrigação, a fim de garantir maior eficiência de aplicação de água dentro da parcela (ver figura 5).

Após sua implantação, o sistema de irrigação foi avaliado por meio da determinação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), realizado através da utilização de coletores em uma malha regular de 2 m x 2 m, totalizando 176 coletores. O sistema de irrigação foi acionado durante uma hora, logo após, foi medida a quantidade de água em cada coletor para a posterior quantificação da lâmina d’água aplicada durante o ensaio.

A figura abaixo apresenta o aparato experimental montado em campo para determinação do CUC no solo (figura 4).



Figura 4: Ensaio de uniformidade de distribuição de água no solo, realizado no SPD e PC.

O esquema abaixo representa o sistema de irrigação por aspersão convencional e a distribuição de água na área de estudo.

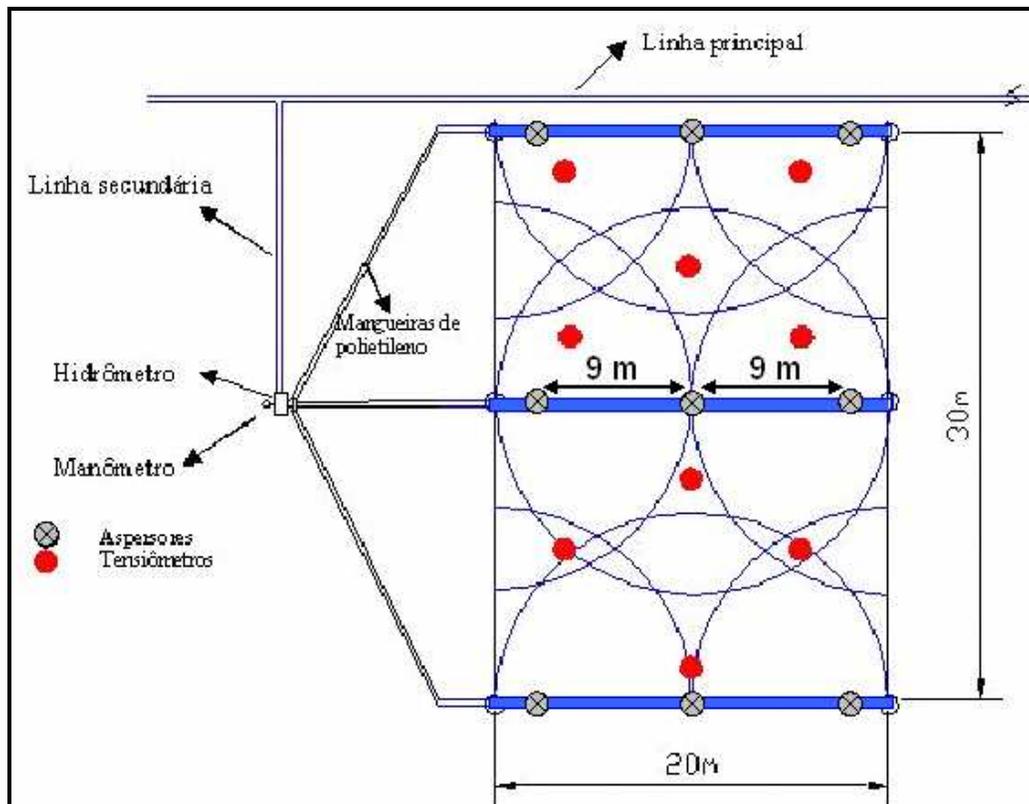


Figura 5: Esquema ilustrativo do sistema de irrigação e alocação dos tensiômetros.

A precipitação média a partir do CUC obtida pelo sistema de irrigação nos dois sistemas de manejo estudados foi de 6,0 mm h⁻¹, servindo de base para o cálculo do tempo de irrigação de cada sistema de manejo. Para a determinação do CUC no solo foi utilizada a equação descrita por CHRISTIANSEN (1942).

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum Z_i - \bar{Z}}{\bar{Z} N} \right] \text{-----(1)}$$

Onde:

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen, (%);

Z_i - lâmina coletada no pluviômetro i , (mm);

\bar{Z} - lâmina média, (mm);

N - número total de coletores.

Os valores obtidos na superfície foram de 70,95% e 69,54% para o sistema plantio direto e plantio convencional, respectivamente. Apesar destes valores ficarem abaixo do recomendado (80%), a uniformidade de distribuição de água no solo obtida por meio de 60 sondas de umidade TDR instaladas na profundidade de 0,2 m (ver figura 6) nos dois sistemas de preparo, foi superior a 90%, sendo esta redistribuição mais importante para a cultura. A figura 7 mostra a distribuição de água na superfície do solo nos dois sistemas de preparo do solo.

O manejo da irrigação foi realizado por meio de tensiômetros instalados no solo em duas profundidades, a 0,2 m e a 0,4 m, lado a lado (1 bateria), entre as fileiras de plantas, formando 9 baterias em cada talhão. A leitura do tensiômetro instalado na profundidade de 0,2 m, que indica o momento da irrigação, representa a tensão média da água na camada de solo de 0,0-0,4 m, na qual engloba a quase totalidade das raízes do feijoeiro. Já o outro instalado na profundidade de 0,4 m foi usado para verificar se a irrigação está sendo bem conduzida para que não haja excesso ou falta de água.

Foi estabelecida a tensão na capacidade de campo de 10 kPa, a tensão para reinício da irrigação de 33 kPa, e a profundidade efetiva do sistema radicular a 0,2 m, utilizando-se as curvas de retenção de água no solo (figura 8). Neste caso a lâmina líquida de irrigação foi

obtida em função da quantidade de água retida na tensão correspondente a capacidade de campo e daquela retida na tensão para início da irrigação, levando-se em consideração a profundidade efetiva do sistema radicular. Estes valores foram obtidos por leitura direta nas curvas de retenção de umidade do solo.

O manejo adotado para a cultura do feijoeiro foi adaptado do manejo recomendado por (SILVEIRA e STONE, 2002).

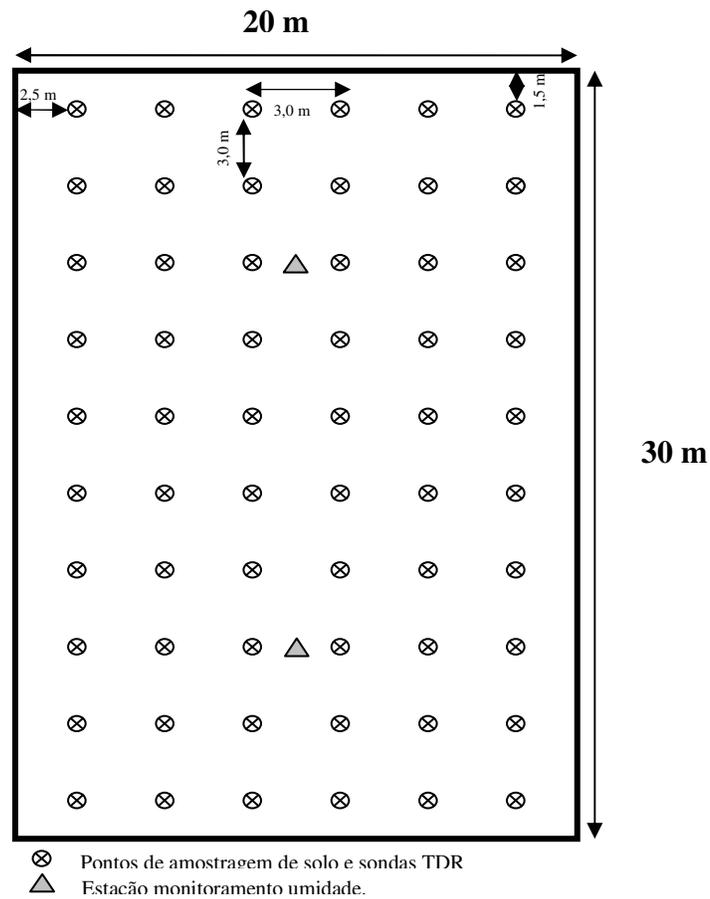


Figura 6: Posição das sondas no campo para determinação da umidade.

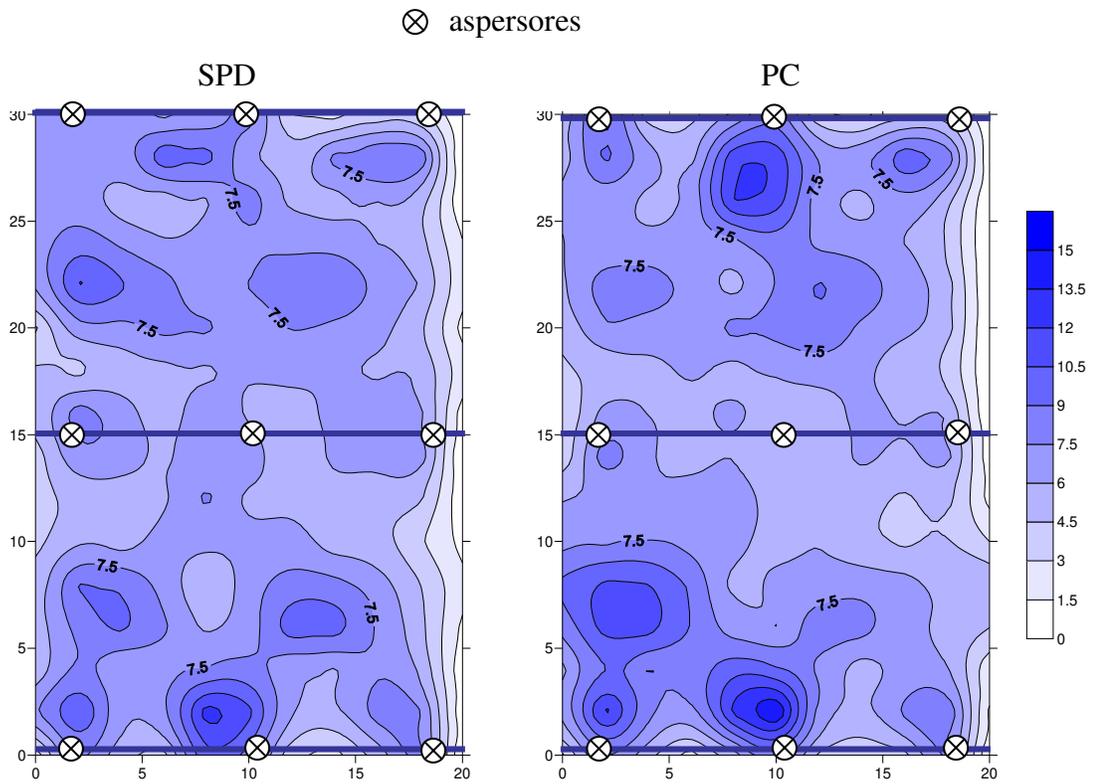


Figura 7: Distribuição de água na superfície do solo no SPD e PC.

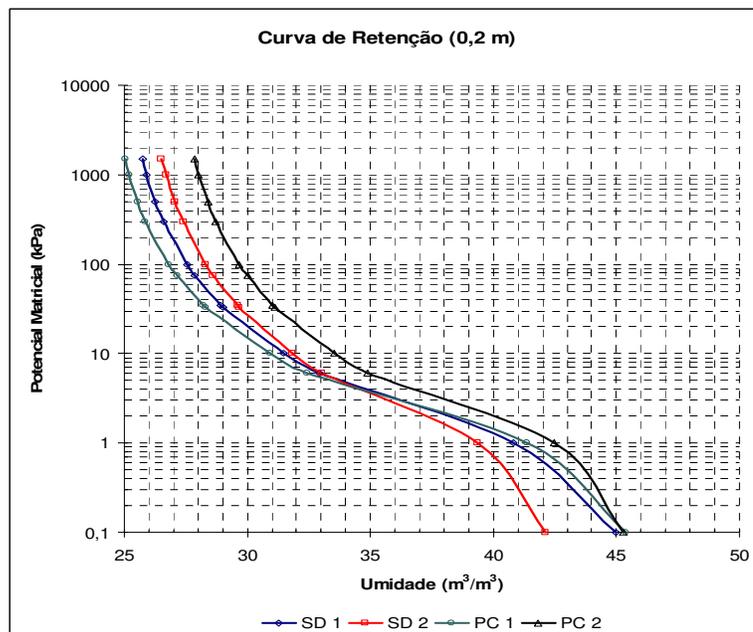


Figura 8: Curvas de retenção de água no solo para os talhões irrigados.

A figura 9 abaixo apresenta os tensiômetros instalados no campo nos dois sistemas de manejo estudados.



Figura 9: Tensiômetros instalados no SPD e PC nas profundidades de 0,2 a 0,4 m.

3.5 Balanço Hídrico

3.5.1 Armazenamento de água no solo

A variação do armazenamento de água no solo foi determinada na profundidade de 0,2 m durante a condução do ensaio.

Para determinar o armazenamento diário de água no solo (A) foi utilizado o método da tensiometria utilizando-se a equação (02):

$$A = (\theta_{cc} - \theta_a) * Z \text{ -----(02)}$$

Onde:

θ_{cc} - umidade volumétrica na capacidade de campo, $m^3 m^{-3}$;

θ_a - umidade volumétrica atual no solo, $m^3 m^{-3}$;

z - profundidade efetiva do sistema radicular, mm;

Sendo assim, a variação de armazenamento (ΔA) para o método utilizado num determinado intervalo de tempo foi calculada entre duas leituras consecutivas de tensão de água no solo durante o ciclo da cultura por meio da seguinte expressão:

$$\Delta A = A_1 - A_0 \text{ -----(03)}$$

Onde:

A_0 e A_1 – armazenamento de água no solo em dias consecutivos, mm.

3.5.2 Drenagem profunda e Ascensão capilar

Os componentes drenagem profunda e ascensão capilar foram estimados pelo fluxo de água no solo (q_z) na profundidade de 0,2 m utilizando-se a equação de Darcy- Buckingham (LIBARDI, 2005), considerando-se apenas o fluxo vertical:

$$q_z = -k(\theta) * \frac{\partial H}{\partial z} \text{ -----(04)}$$

Onde

q_z – fluxo vertical, ascendente ou descendente, mm dia⁻¹;

$k(\theta)$ - condutividade hidráulica em função da umidade do solo, mm dia⁻¹;

$\frac{\partial H}{\partial z}$ - gradiente do potencial total.

O sinal negativo indica que o sentido do fluxo de água é do maior para o menor potencial, estimados a partir das leituras dos tensiômetros.

A condutividade hidráulica do solo $k(\theta)$ em função da umidade (θ) foi determinada por meio da equação proposta por LOYOLA e PREVEDELLO (2003):

$$k(\theta) = k_s \left[\frac{(\theta - \theta_{res})}{(\theta_{sat} - \theta_{res})} \right]^{0,5} * \left\{ 1 - \left[1 - \left[\frac{(\theta - \theta_{res})}{(\theta_{sat} - \theta_{res})} \right]^{1/m} \right]^m \right\} \text{ -----(05)}$$

k_s -, mm dia⁻¹

O valor de condutividade hidráulica saturada do solo (K_s) foi obtido pelo permeâmetro de Guelph (modelo 2800). As medições foram realizadas utilizando-se a carga hidráulica de 0,5 m baseada na metodologia adotada pelo Centro de Solos e Recursos Agroambientais do Instituto agrônomo de Campinas (VIEIRA, 1998).

Foram obtidos os valores de condutividade hidráulica saturada variando de 1500 a 1800 mm dia⁻¹ para todos os tratamentos, sendo que a amostragem foi realizada em 60 pontos dentro de cada talhão.

A curva de retenção de água no solo foi determinada no laboratório de solos da Feagri, sendo posteriormente feito o ajuste dos dados experimentais obtidos ao modelo de VAN GENUTCHEN (1980) de acordo com programa desenvolvido por DOURADO NETO et al. (1990). A equação de ajuste é a seguinte:

$$\theta = \theta_{res} + \left(\frac{\theta_{sat} - \theta_{res}}{(1 + (\partial + h)^n)^m} \right) \text{----- (06)}$$

Onde

θ - umidade volumétrica do solo, cm³ cm⁻³;

h - módulo do potencial matricial que corresponde à umidade volumétrica θ , kPa;

θ_{sat} - umidade volumétrica do solo na saturação, cm³ cm⁻³;

θ_{res} - umidade volumétrica residual, cm³ cm⁻³;

∂, m, n - parâmetros do solo obtidos por meio da regressão não linear.

Os parâmetros $\partial, m, n, \theta_{sat}$ e θ_{res} da equação acima para os diferentes tratamentos, encontram-se na tabela 5.

Tabela 5: Parâmetros de regressão do modelo de VAN GENUTCHEN (1980) para Latossolo Vermelho distroférico, ano 2006, Feagri/Unicamp.

Tratamentos	Parâmetros (Profundidade a 0,2 m)				
	∂	m	n	θ_{sat}	θ_{res}
				-----cm ³ cm ⁻³ -----	
SPD 1	1,8467	0,0329	11,4181	0,45	0,247
SPD 2	1,7089	0,0253	13,1612	0,421	0,253
PC 1	1,6826	0,0298	13,6906	0,454	0,242
PC 2	1,5713	0,0241	15,264	0,453	0,268

3.5.3. Evapotranspiração

3.5.3.1 Evapotranspiração de referência

Para a estimativa da evapotranspiração de referência foi utilizada a equação de Penman-Monteith modificado pela FAO (ALLEN et al., 1998) sendo os dados climáticos levantados junto à Estação Meteorológica, marca Campbell com datalogger modelo CR 10 X.

Os dados na estação foram registrados a cada 10 segundos e automaticamente transformados em médias e totais, horários e diários, sendo que em sua saída de dados apresenta o dia e a hora em que ocorreu determinado evento. A evapotranspiração de referência foi expressa conforme a seguinte equação:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \text{-----(07)}$$

Onde

ET₀ - evapotranspiração da cultura de referência [mm dia⁻¹];

R_n - radiação líquida na superfície da cultura [MJ m⁻² dia⁻¹];

G - fluxo de calor do solo [MJ m⁻² dia⁻¹];

T - temperatura média do ar [°C];

U2 - velocidade do vento medida a 2 m de altura [m s⁻¹];

(es-ea) - déficit de pressão de vapor [kPa];

Δ - declividade da curva de pressão de vapor [kPa °C⁻¹];

γ - constante psicrométrica [kPa °C⁻¹]; e

900 - fator de conversão.

3.5.3.2 Evapotranspiração da cultura

A contabilização diária da componente evapotranspiração da cultura durante todo o seu ciclo corresponde à demanda de água pela cultura, sendo estimada por diferença dos outros componentes do balanço hídrico por meio da equação (08)

$$ETc = P + I \pm D - R - \Delta A \text{ -----(08)}$$

Onde:

ETc - Evapotranspiração da cultura, mm;

P - Precipitação pluvial, mm;

I - Irrigação, mm;

D - Drenagem profunda ou ascensão capilar, mm;

R - Escoamento superficial, mm;

ΔA - Variação do armazenamento, mm.

Na determinação da evapotranspiração em condições de campo, o balanço hídrico foi realizado num volume de controle de 0,2 m de profundidade, já que 80% das raízes do feijoeiro estão concentradas nesta faixa (SILVEIRA e STONE, 1994).

O componente escoamento superficial foi desconsiderado neste estudo devido à dificuldade da sua determinação no campo quando ocorrem precipitações e ainda a não existência deste no momento da irrigação.

3.6 Coeficiente de cultura

A determinação da evapotranspiração potencial para uma dada cultura de referência simplifica a estimativa da evapotranspiração de outras culturas irrigadas nos diferentes estádios fenológicos por meio de relações empíricas denominadas coeficientes de cultura (K_c) (SAAD e SCALOPPI, 1988). Este é um coeficiente adimensional sendo dado pela razão entre a evapotranspiração máxima de uma cultura (E_{tm}), cultivada sem restrição de água e a evapotranspiração de referência (E_{to}). No presente estudo, os valores de K_c foram calculados para cada estágio fenológico da cultura.

3.7 Determinação da cobertura morta

Antes da implantação da cultura foi realizada a aplicação de “Roundup”, na dose de 5 l ha^{-1} para a dessecação dos restos vegetais da cultura anterior e também da comunidade infestante na área, para posteriormente ser feita a quantificação da cobertura morta nos 4 talhões irrigados, utilizando-se uma tela quadricular de 0,25 m^2 , constituída de 100 pequenos quadrados, por meio da multiplicação do número de quadrados pertencente a determinada escala pelo valor atribuído a este escala, que pode ser : escala: 0 – (sem palha); 0,5 – (50% de palha) e 1- (100% de palha). Posteriormente, soma-se os resultados obtidos para a determinação da porcentagem de cobertura morta naquela amostra. A figura 10 apresenta a tela utilizada para a amostragem da cobertura morta nos tratamentos estudados.

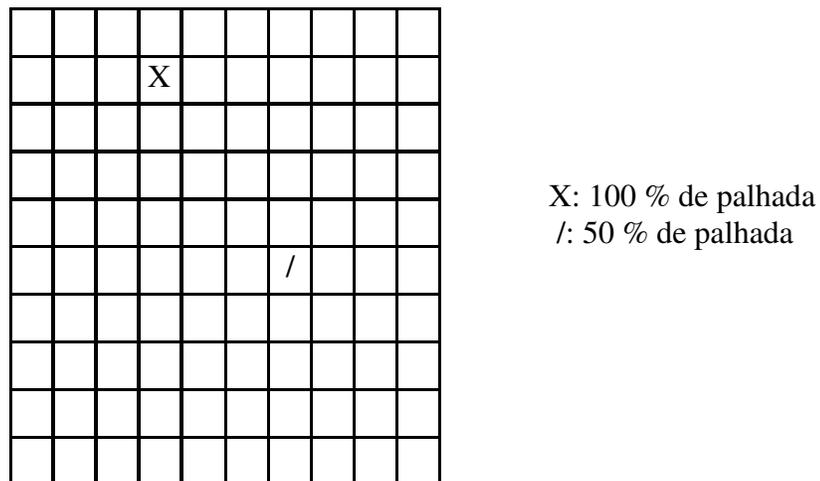


Figura 10: Tela utilizada para a quantificação da cobertura morta presente no solo.

A tela utilizada foi amostrada de forma aleatória em 3 pontos dentro de cada talhão, sendo que a estimativa da porcentagem de cobertura morta em cada talhão foi obtida por meio da média dos resultados dos pontos amostrados. Além disso, a quantidade de palhada sob a tela em cada ponto amostral foi recolhida e pesada, para posteriormente ser estimada sua quantidade por hectare.

3.8 Eficiência do uso da água (EUA)

A eficiência do uso da água pela cultura (EUA) em $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$, foi determinada pela relação entre a produtividade de grãos em kg ha^{-1} e a quantidade de água consumida no processo de evapotranspiração, em mm (HILLEL, 1980).

3.9 Produção do feijoeiro e seus componentes

Foi analisada em cada tratamento a produção final e seus componentes, tais como, população final de plantas (PFP), número de vagens por planta (NV), número de grãos por vagem (NG), massa de 100 grãos (M100) e índice de colheita (IC), segundo CALVACHE et al. (1997). A PFP foi determinada por meio da contagem de todas as plantas de três linhas amostradas em cada parcela, sendo posteriormente estimada para todo o talhão. Em cada planta desta amostragem foram determinados o NV e o NG. A partir do total de grãos obtidos nas três linhas foram retirados aleatoriamente 100 grãos para a determinação da M100. O IC foi determinado por meio da relação entre a massa de grãos e a massa seca de toda a planta.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Condições climáticas

Os resultados dos principais elementos climáticos ocorridos durante o ensaio que foi realizado de 06/07/06 a 22/09/06 (01 DAE a 79 DAE) são apresentados na figura 11 abaixo.

A temperatura média no período do ensaio foi de 20,6 °C, estando dentro da faixa ideal de temperatura para desenvolvimento da cultura do feijão, que varia de 15 °C a 30 °C, sendo que o Estado de São Paulo apresenta a maior parte de sua área favorável ao desenvolvimento desta cultura (ROSTON, 1990). A temperatura máxima durante o ensaio apresentou uma

média de 27,6 °C com a média da mínima em torno de 13,5 °C. A temperatura máxima apresentou maior variação, com valores entre 15,8 °C e 36,2 °C. Com relação à temperatura mínima, esta apresentou menor variação durante todo o ensaio com valores mais próximos da temperatura mínima média (13,5 °C), sendo que o menor valor encontrado foi de 7,6 °C e o maior de 18,2 °C.

Analisando a temperatura média do ensaio observa-se que na fase de DV a maioria dos valores encontrou-se abaixo desta (20,6 °C), ocorrendo o contrário na fase de florescimento (FL), cujos valores ficaram acima da temperatura média, e decrescendo posteriormente na fase de enchimento de grãos (EG). Porém no final desta fase e início da maturação fisiológica (MF) estes valores de temperatura aumentam e em seguida sofrem um decréscimo, mantendo-se próximos à média até o final do ensaio. Durante o experimento o mês mais frio foi o de julho com temperatura média de 18,6 °C. Já a temperatura média nos meses de agosto e setembro manteve-se em torno de 21,0 °C. Estes valores são semelhantes aos encontrados no histórico realizado pelo CEPAGRI no período de 1988 a 2003, cujos valores foram de 18,5 °C, 20,5 °C e 21,6 °C para os meses de julho, agosto e setembro, respectivamente.

De forma geral nota-se que a maioria dos valores encontrados ficou abaixo ou próximo da média, com exceção daqueles encontrados na fase de FL e final da fase de EG e início da MF, sendo que neste último foi obtido o maior valor, que foi de 25,9 °C.

Ainda através da figura 11, analisando a evapotranspiração de referência acumulada durante o ensaio esta foi de 290,93 mm, sendo que no período de 64 a 70 DAE, que corresponde ao final da fase de EG e início da MF, ocorreu a maior demanda evapotranspirativa média, cujo valor foi 4,91 mm dia⁻¹. A evapotranspiração de referência média obtida durante todo o ensaio foi de 3,9 mm. Na fase de desenvolvimento vegetativo (DV) a maioria dos valores de ETo encontrou-se abaixo da média, ocorrendo o contrário na fase de FL, EG e início da MF.

Sendo que após este período os valores começam a decrescer apresentando maior variação. Nota-se também que os valores de evapotranspiração na fase de DV, FL, e MF apresentaram o mesmo comportamento em relação a temperatura, mostrando a relação direta entre estes parâmetros.

Durante o ensaio a precipitação total foi 97,6 mm, distribuída de forma irregular durante todo o ciclo da cultura conforme mostra a figura 11. As maiores precipitações

ocorreram aos 6 DAE e aos 75 DAE, com valores na faixa de 24,0 a 24,6 mm, que somados correspondem a 50,2 % do total, no entanto, as maiores concentrações ocorreram no final a fase de FL e início da EG. No DV e FL as precipitações foram semelhantes, com valores de 18,0 mm e 18,8 mm, respectivamente. Na fase de EG este valor foi um pouco superior, ou seja, 22,6 mm. Já na fase de MF precipitou 38,2 mm, que corresponde a 39 % do total de água fornecida para a cultura por meio da chuva, superestimando os valores de evapotranspiração da cultura no final do ciclo.

Com relação à umidade relativa, a média obtida durante o período de ensaio foi de 71,0 %, com o valor médio da máxima em torno de 96,0 % e da mínima 52,8 %. Este valor médio encontrado é semelhante ao fornecido pelo CEPAGRI, cujo valor é de 72,2 %.

4.2 Tensão de água no solo e irrigação

Os resultados das tensões médias obtidas durante o ensaio e da lâmina de água aplicada nos tratamentos SPD 1 e SPD 2 estão apresentados nas figuras 12 e 13, respectivamente.

Para os tratamentos PC 1 e PC 2 estes mesmos parâmetros estão apresentados, respectivamente, nas figuras 14 e 15.

A tensão média de água no solo na profundidade utilizada para o manejo da irrigação (0,2 m) foi de 22 kPa, para o SPD 1 e de 20 kPa para o SPD 2. Com relação ao PC a tensão média para a mesma profundidade foi de 30 kPa e 24 kPa para os tratamentos PC 1 e PC 2, respectivamente. Com relação ao número de irrigações e quantidade de água aplicada verificou-se que no SPD 1 foram realizadas 11 irrigações com lâmina total de 135,68 mm. No SPD 2 este número foi de 10 para uma lâmina de 126,81 mm. O PC 1 apresentou lâmina de 163,4 mm obtida em 14 irrigações e o PC 2 apresentou a menor lâmina total, cujo valor foi de 116,77 mm em 12 irrigações. CARVALHO et al. (1992) e AZEVEDO e MIRANDA (1996) apresentaram lâminas de irrigação variando de 370 a 570 mm para a cultura do feijoeiro cultivada em PC. ANDRADE et al. (2002) encontrou valores de lâmina de irrigação para a cultura do feijoeiro em SPD variando de 182,5 a 149,9 mm para cobertura do solo de 75 e 100 %, respectivamente, sendo estes valores mais próximos aos encontrados no presente ensaio.

NASCIMENTO (2001) estudando a demanda total de água na cultura do feijoeiro apresentaram economia de água em torno de 20 % do total de água aplicada por meio da

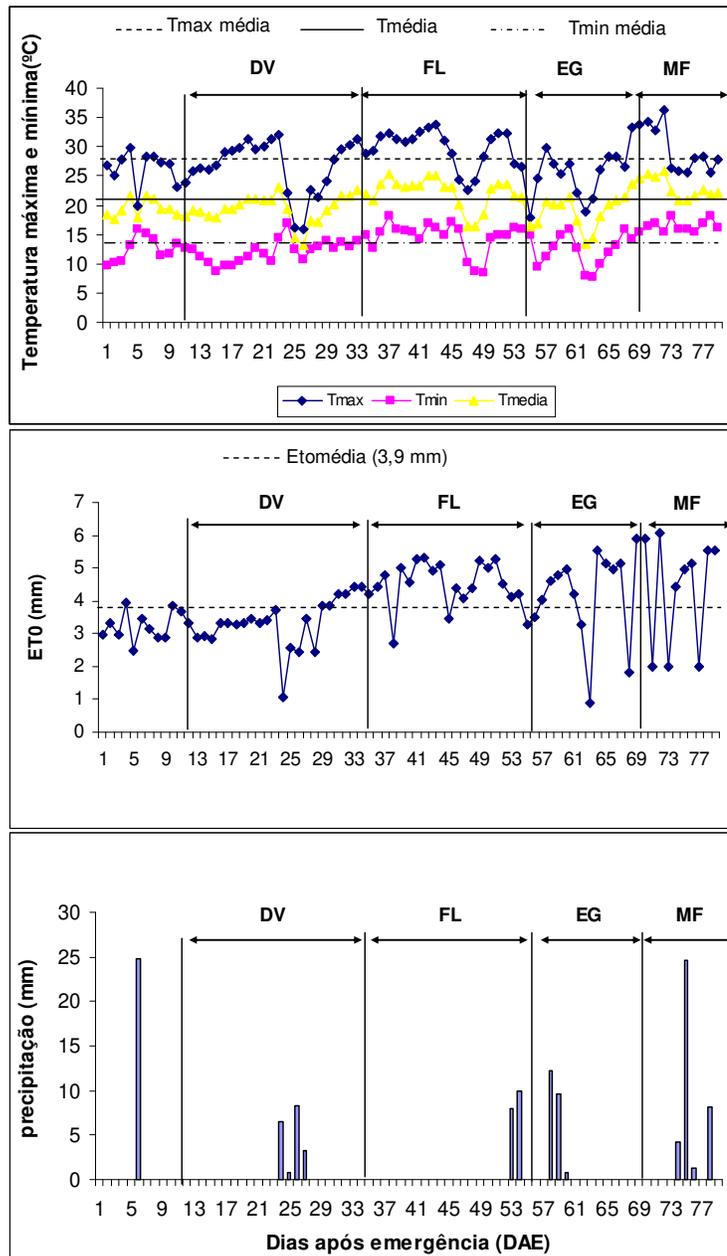
irrigação no SPD em relação ao PC. Valor semelhante ao encontrado pelo SPD 2 em relação ao PC 1, cujo valor foi de 22,4 %.

Analisando os valores de tensão de água no solo e lâmina de água aplicada em cada fase de desenvolvimento da cultura, observa-se que na fase DV os valores de tensão encontrados foram inferiores à tensão estabelecida para reinício da irrigação -33 kPa- em todos os tratamentos, sendo que a quantidade de água fornecida pela irrigação e chuva foi suficiente para atender a demanda da cultura neste período. Nesta fase as lâminas de irrigação foram muito semelhantes para todos os tratamentos, com o maior valor encontrado no PC 1 que recebeu uma lâmina de 25,35 mm, ou seja, 10,4% e 7,7% superior em relação ao SPD 1 e SPD 2, respectivamente.

A lâmina aplicada no PC 2 foi semelhante ao encontrado no SPD 2, com valor em torno de 23,4 mm. Nesta fase o consumo de água pela planta é relativamente baixo em relação aos demais estádios de desenvolvimento, facilitando o controle das tensões e lâminas de irrigação aplicadas no campo. No final da fase de DV e início da fase de FL os valores de tensão começam a aumentar atingindo valores superiores ao correspondente à tensão para reinício da irrigação, apresentando os maiores valores de tensão lidos para o período de dois dias consecutivos e conseqüentemente maior lâmina de água aplicada para todos os tratamentos.

Para o SPD 1 estas maiores tensões em dois dias consecutivos ocorreram aos 40 e 41 DAE (14 e 15 de agosto) com valores de 54 e 36 kPa, respectivamente. Para o SPD 2 estes valores ocorreram aos 44 e 45 DAE (18 e 19 de agosto) com valores de 43 e 70 kPa. Com relação ao PC 1 os valores encontrados foram de 71 e 75 kPa, aos 41 e 42 DAE (15 e 16 de agosto) respectivamente. O PC 2 apresentou em dois dias consecutivos o valor de 59 kPa, aos 43 e 44 DAE (17 e 18 de agosto) e posteriormente aos 70 e 71 DAE (13 e 14 de setembro) com valores de 62 e 65 kPa, respectivamente.

Observa-se que os maiores valores de tensões consecutivas ocorreram praticamente no mesmo período para todos os tratamentos, com os maiores valores encontrados nos tratamentos com PC, sendo que nesta fase a demanda de água exigida pela cultura é bastante elevada, refletindo em maior quantidade de água aplicada via irrigação. Nesta fase a precipitação foi de 18,0 mm e os valores de lâmina aplicada foram maiores em relação aos demais estádios de desenvolvimento da cultura.



DV: Desenvolvimento vegetativo; FL: Florescimento; EG: Enchimento de grãos; MF: Maturação fisiológica.

Figura 11: Valores diários e médios de temperaturas máximas e mínimas do ar evapotranspiração de referência (ET₀) e precipitação para cada estágio de desenvolvimento da cultura, ano de 2006, Feagri-Unicamp.

Ainda nesta fase ocorreu maior variação das leituras dos tensiômetros dentro das parcelas, que num determinado momento após a irrigação apresentava valores dentro da faixa esperada de umidade e em outros valores muito acima, dificultando seu controle em campo.

Isto se deve ao fato de que inicialmente a lâmina era determinada com base na média das leituras obtidas pelos tensiômetros, não sendo esta lâmina suficiente para a diminuição da tensão de alguns tensiômetros, o que pode ter ocasionado em determinados momentos déficit de água para as plantas, cuja demanda de água nesta fase é maior em relação aos demais estádios de desenvolvimento da cultura. Esta situação foi corrigida posteriormente determinando-se a lâmina de irrigação pela maior tensão obtida e não mais pela média das leituras.

O fato da lâmina de irrigação ter sido corrigida já na fase de FL, a cultura pode ter sofrido um período de déficit hídrico, que nesta fase, provoca queda de produtividade.

Nesta fase foi aplicado no SPD 2 o total de 61,9 mm, ou seja, 29,5% a menos que no PC 1, cujo valor foi de 87,85 mm. A lâmina de água aplicada no PC 1 também foi superior em relação ao SPD 1 (74,29 mm) em torno de 15,4 %. A lâmina aplicada no PC 2 (69,51 mm) foi menor em relação ao SPD 1 e PC 1. Isto se justifica pelo fato deste tratamento apresentar o pior desenvolvimento das plantas, o que certamente influenciou no consumo de água pelas mesmas. Na fase de EG em todos os tratamentos a maioria dos valores de tensão observada se apresentou abaixo da tensão para reinício da irrigação mostrando o manejo correto da irrigação após a correção das lâminas aplicadas, conforme já exposto anteriormente.

Nesta fase a contribuição pela chuva foi de 18,8 mm e as lâminas de água aplicada foram menores em todos os tratamentos com relação à fase de florescimento. O SPD 1 e o SPD 2 receberam menor lâmina de irrigação em relação ao PC 1 (50,43 mm), sendo estas lâminas inferiores em 23,7 % 17,8 %, respectivamente. A lâmina aplicada no SPD 1 foi 7,19 % inferior em relação ao SPD 2. Já o PC 2 também nesta fase apresentou menor lâmina aplicada (23,78 mm) em relação aos demais tratamentos.

No início da fase de MF as tensões tenderam a crescer em todos os tratamentos, mas optou-se por cessar irrigação para acelerar o processo de maturação das plantas. Porém em seguida ocorreram precipitações mantendo as tensões abaixo da média em cada tratamento.

Analisando os dados obtidos nota-se que os tratamentos com SPD receberam menor lâmina de água aplicada durante praticamente todo o ciclo da cultura principalmente em

relação aos PC 1, sendo as maiores diferenças observadas nas fases de FL e EG, para o SPD 2 e SPD 1, respectivamente. Na fase de DV também houve economia de água relacionando os tratamentos SPD 1 e SPD 2 com o PC 1, com valores em torno de 10,0 a 7,0 %, respectivamente.

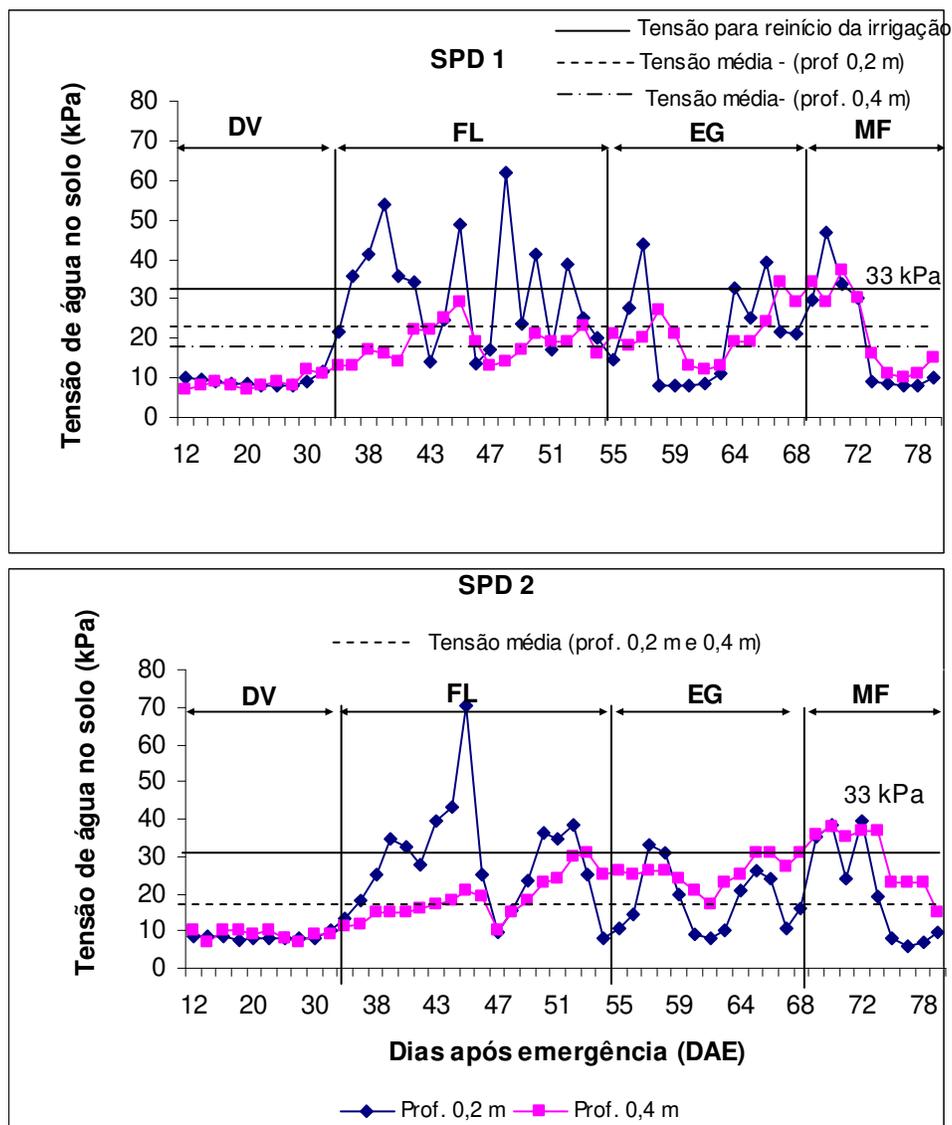


Figura 12: Valores de tensões diárias e médias obtidas durante o ensaio com a cultura do feijão para os tratamentos com sistema plantio direto (SPD 1 e SPD 2) em cada estágio de desenvolvimento da cultura.

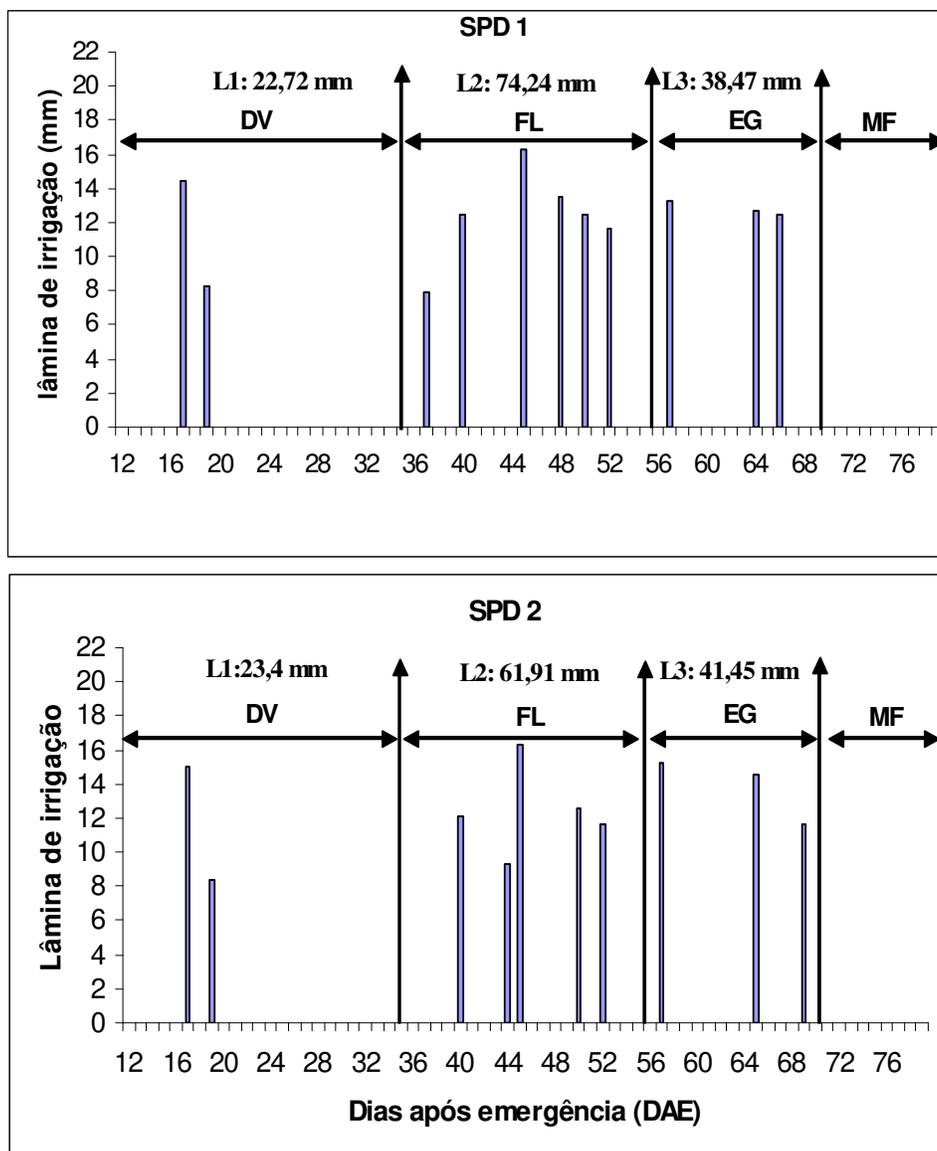


Figura 13: Lâminas de irrigação aplicadas durante o ensaio na cultura do feijoeiro, no sistema plantio direto (SPD 1 e SPD 2), ano 2006. Feagri-Unicamp.

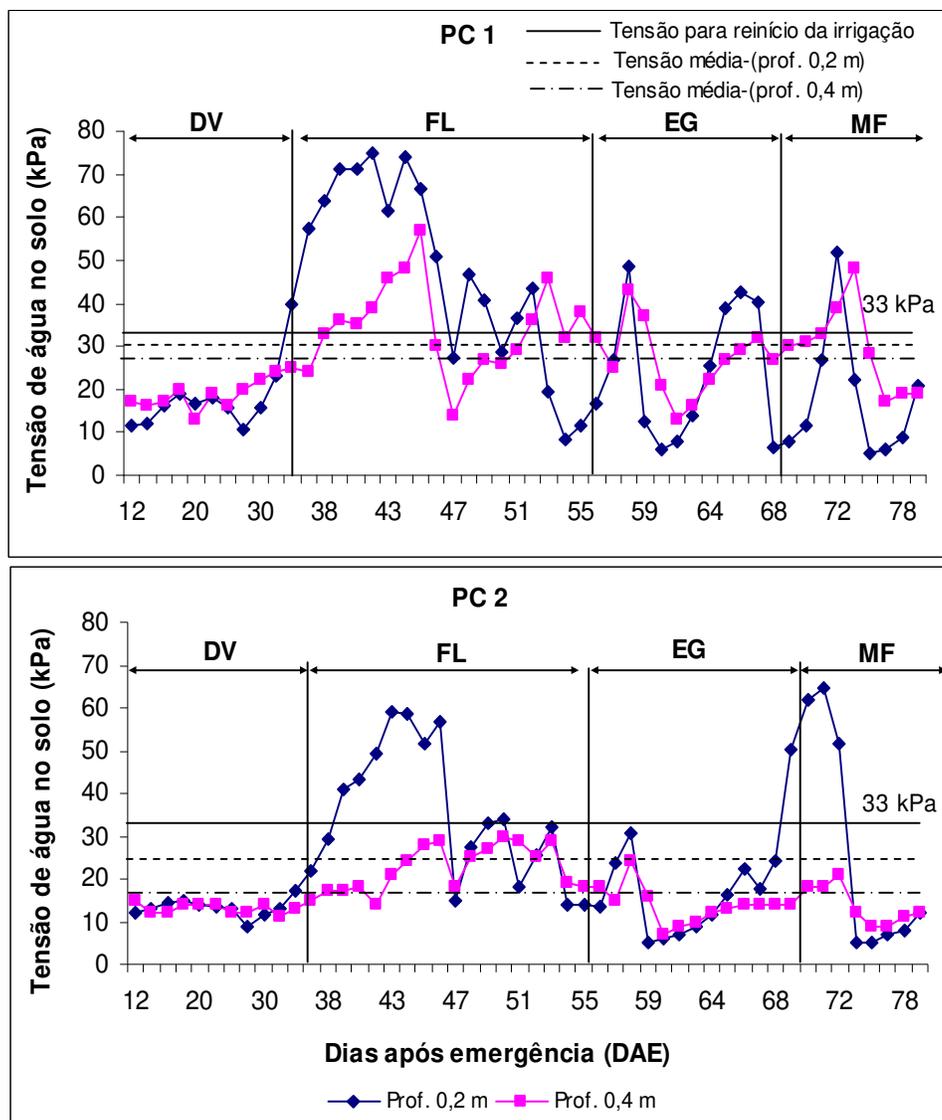


Figura 14: Valores de tensões diárias e médias obtidas durante o ensaio com a cultura do feijão para os tratamentos com plantio convencional (PC 1 e PC 2) em cada estágio de desenvolvimento da cultura

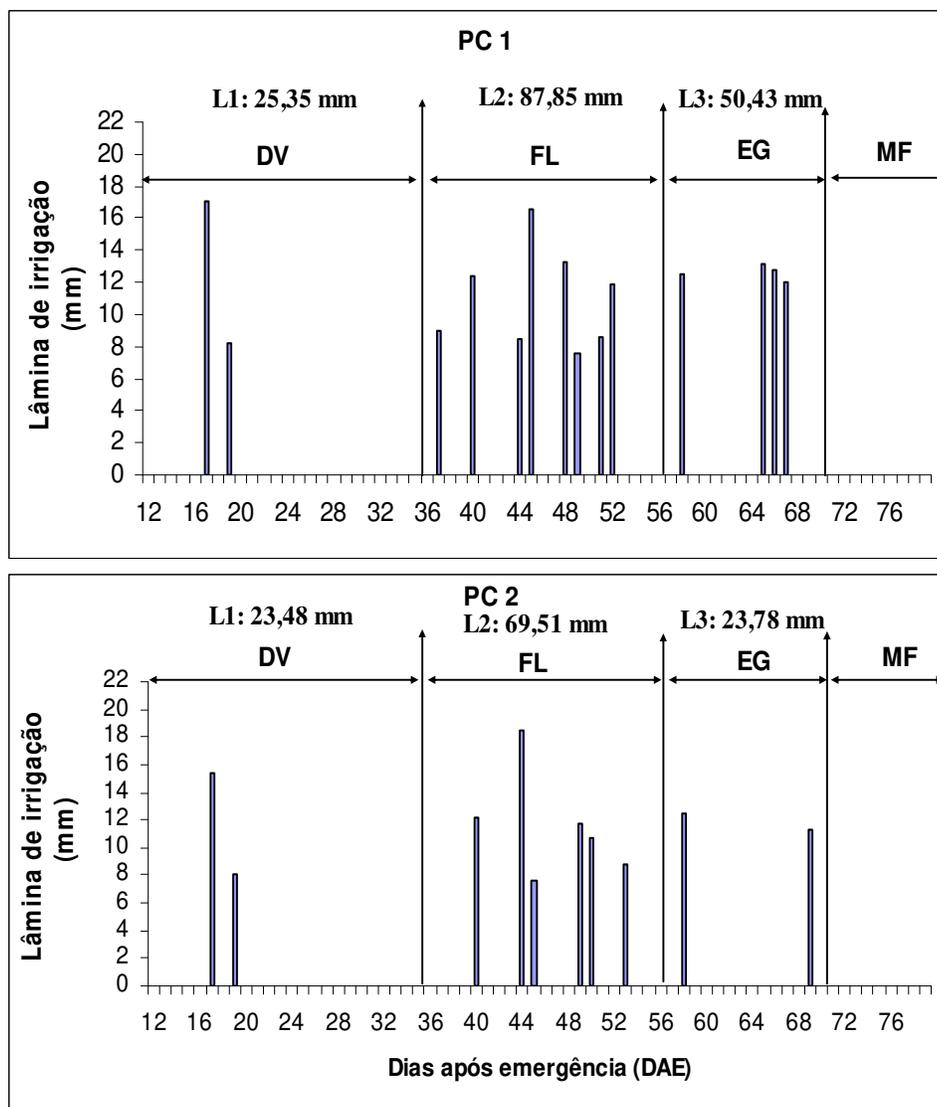


Figura 15: Lâminas de irrigação aplicadas durante o ensaio na cultura do feijoeiro, no plantio convencional (PC 1 e PC 2), ano 2006. Feagri-Unicamp.

4.3 Balanço Hídrico de campo

O balanço hídrico de campo que teve início a partir de 17/07/2006 (12 DAE) estendendo-se até 22/09/2006 (79 DAE) foi realizado para cada fase da cultura do feijoeiro

para todos os tratamentos. Para a realização do balanço hídrico é necessário considerar a profundidade para o volume de controle de solo, que neste caso corresponde à profundidade efetiva do sistema radicular (z) igual a 0,2 m. As tabelas 6, 7, 8 e 9 apresentam os componentes do balanço hídrico para o SPD 1, SPD 2, PC 1 e PC 2, respectivamente. Durante o período em que foi conduzido o experimento a contribuição de água foi por meio da precipitação (P) e irrigação (I).

Os valores de perda de água por drenagem profunda e a ascensão capilar foram considerados nulos para efeito do balanço hídrico de campo, devido aos baixos valores encontrados.

Analisando os tratamentos SPD 1 e SPD 2 quanto a estimativa do armazenamento de água no solo (ΔA), observa-se que este componente apresentou uma variação na ordem de -4,43 mm a + 7,93 mm no SPD 1 e - 4, 27 mm a +4,27 no SPD 2, o que mostra que em determinados momentos ocorreram perdas de água no solo, ou seja, o consumo de água foi superior a quantidade aplicada (P+I), sendo esta perda mais acentuada no início do FL para o SPD 1 e início da MF para o SPD 2. O mesmo ocorrendo com os tratamentos PC 1 e PC 2

Tabela 6: Valores de precipitação (P), irrigação realizada (I), variação de armazenamento de água no solo (ΔA), evapotranspiração da cultura (ETc), evapotranspiração média (ETc m) e evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac) para cada fase da cultura do feijoeiro, obtidas do balanço hídrico para o sistema plantio direto (SPD 1). ano 2006. Feagri/Unicamp.

D.A.E	Estádio	Precipitação	Irrigação	ΔA	ETc	ETc m	ETc ac
		-----mm-----					
12 a 23	DV	0,0	22,7	-1,58	24,28	2,2	—
24 a 35	DV	18,8	0,0	7,93	10,87	0,98	35,15
36 a 42	FL	0,0	20,4	-4,43	24,83	4,14	59,98
43 a 49	FL	0,0	29,9	5,0	24,90	4,15	84,88
50 a 56	FL	18,0	24,1	0,2	41,88	6,98	126,76
57 a 63	EG	22,6	13,3	-1,14	37,04	6,19	163,80
64 a 70	EG	0,0	25,2	0,12	25,08	4,18	188,88
71 a 79	MF	38,2	0,0	1,07	37,13	4,64	226,01

Dv – Desenvolvimento vegetativo; FL-Florescimento; EG- Enchimento de grãos; MF-Maturação fisiológica

Tabela 7: Valores de precipitação (P), irrigação realizada (I), variação de armazenamento de água no solo (ΔA), evapotranspiração da cultura (ETc), evapotranspiração média (ETc m) e evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac) para cada fase da cultura do feijoeiro, obtidas do balanço hídrico para o sistema plantio direto (SPD 2). ano 2006. Feagri/Unicamp.

D.A.E	Estádio	Precipitação	Irrigação	ΔA	ETc	ETc m	ETc ac
-----mm-----							
12 a 23	DV	0,0	23,4	-0,35	23,75	2,16	—
24 a 35	DV	18,8	0,0	4,27	14,53	1,32	38,28
36 a 42	FL	0,0	12,11	3,09	9,02	1,5	47,3
43 a 49	FL	0,0	25,7	-0,29	25,99	4,33	73,29
50 a 56	FL	18,0	24,2	-0,35	42,55	7,09	115,84
57 a 63	EG	22,6	15,3	-1,86	39,76	6,62	155,6
64 a 70	EG	0,0	26,1	0,67	25,43	4,23	181,03
71 a 79	MF	38,2	0,0	-4,27	42,47	5,3	223,5

Tabela 8: Valores de precipitação (P), irrigação realizada (I), variação de armazenamento de água no solo (ΔA), evapotranspiração da cultura (ETc), evapotranspiração média (ETc m) e evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac) para cada fase da cultura do feijoeiro, obtidas do balanço hídrico para o sistema plantio direto (PC 1). ano 2006. Feagri/Unicamp.

D.A.E	Estádio	Precipitação	Irrigação	ΔA	ETc	ETc m	ETc ac
-----mm-----							
12 a 23	DV	0,0	25,33	-0,86	26,19	2,38	—
24 a 35	DV	18,8	0,0	5,27	13,53	1,23	39,72
36 a 42	FL	0,0	21,4	3,58	17,82	2,97	57,54
43 a 49	FL	0,0	45,9	-0,32	46,22	7,7	103,76
50 a 56	FL	18,0	20,6	-0,39	38,99	6,5	142,75
57 a 63	EG	22,6	12,6	-2,16	37,36	6,23	180,11
64 a 70	EG	0,0	37,91	0,79	37,12	6,19	217,23
71 a 79	MF	38,2	0,0	-5,16	43,36	5,42	260,59

Tabela 9: Valores de precipitação (P), irrigação realizada (I), variação de armazenamento de água no solo (ΔA), evapotranspiração da cultura (ETc), evapotranspiração média (ETc m) e evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac) para cada fase da cultura do feijoeiro, obtidas do balanço hídrico para o sistema plantio direto (PC 2). ano 2006. Feagri/Unicamp.

D.A.E	Estádio	Precipitação	Irrigação	ΔA	ETc	ETc m	ETc ac
-----mm-----							
12 a 23	DV	0,0	23,5	-0,77	24,27	2,21	—
24 a 35	DV	18,8	0,0	4,79	14,01	1,27	38,28
36 a 42	FL	0,0	12,2	3,37	8,83	1,47	47,11
43 a 49	FL	0,0	37,84	-0,31	38,15	6,36	85,26
50 a 56	FL	18,0	19,5	-0,37	37,87	6,31	123,13
57 a 63	EG	22,6	12,5	-2,03	37,13	6,19	160,26
64 a 70	EG	0,0	11,3	0,73	10,57	1,76	170,83
71 a 79	MF	38,2	0,0	-4,74	42,94	5,37	213,77

cujas maiores perdas foram de -5,16 e -4,74 mm, respectivamente, também no início da maturação.

Na fase de DV todos os tratamentos apresentaram comportamentos semelhantes com relação ao armazenamento de água no solo, sendo que o tratamento SPD 1 apresentou o menor valor de evapotranspiração neste período, que foi de 35,15 mm, sendo 8,2 % inferior em relação ao SPD 2 e PC 2 e de 11,5 % quando comparado ao PC 1. Isto de certa forma pode ser explicado pela presença da cobertura morta na superfície do solo contribuindo para a diminuição da evaporação de água na sua superfície.

Na fase de FL foram obtidos os maiores valores de evapotranspiração para todos os tratamentos, com valores de 91,61 mm, 77,56 mm, 103,03 mm e 84,85 mm para os tratamentos SPD 1, SPD 2, PC 1 e PC 2. DOORENBOS e KASSAN (1979) e CALVACHE et al. (1997) relatam que nesta fase ocorre maior consumo de água pela cultura do feijoeiro.

O SPD 2 apresentou o menor valor de evapotranspiração acumulada até a fase de FL seguido do tratamento com PC 2, com valores de 115,84 mm e 123,13 mm, respectivamente.

A cultura no PC 1 apresentou consumo de água 18,9 % superior em relação ao SPD 2 e 11,2 % quando comparado ao SPD 1. O PC 2 apresentou valor semelhante ao encontrado no SPD 1. Porém cabe ressaltar que no tratamento PC 2 as plantas não se desenvolveram satisfatoriamente, o que pode ter influenciado o consumo de água pela cultura neste tratamento.

Na fase de EG os valores de evapotranspiração são menores em relação a fase de FL em todos os tratamentos, com valores de 62,12 mm, 65,19 mm, 74,48 mm e 47,7 mm para os tratamentos SPD 1, SPD 2, PC 1 e PC 2, respectivamente, sendo que o maior consumo de água pela cultura observado neste período ainda é do PC 1, sendo superior em 16,6 % e 12,5% quando comparado ao SPD 1 e SPD 2, respectivamente. Analisando a evapotranspiração acumulada até o final deste período, estes valores foram superiores em 13,1% e 16,7% em relação aos mesmos tratamentos analisados anteriormente, com o SPD 1 e SPD 2 apresentando valores de evapotranspiração acumulada de 188,88 mm e 181,03 mm, respectivamente. Para o PC 1 este valor foi de 217, 23 mm. O PC 2 apresentou o menor valor que foi de 170,83 mm.

Na fase de MF a evapotranspiração da cultura tende a diminuir devido ao processo de senescência das plantas e maturação dos grãos, com valores obtidos em torno de 40 mm para todos tratamentos. As precipitações ocorridas nesta fase contribuíram para um aumento no valor estimado de evapotranspiração devido a não contabilização do componente escoamento superficial que possa ter ocorrido neste período.

LOPES et al. (2004) comparando o método do balanço hídrico climatológico com o tensiométrico na determinação do balanço hídrico de água no solo na cultura do feijoeiro cultivado em SPD e PC concluíram que não houve diferenças importantes de armazenamento de água no solo entre os sistemas de plantio estudados e que tensiometria além de possibilitar melhor entendimento das reais condições hídricas do solo na região do sistema radicular resultou propiciou economia de 15% na água de irrigação aplicada. O mesmo ocorrendo com os tratamentos com SPD, que apresentaram economia de água em torno de 20 % em relação aos tratamentos com PC.

Analisando o consumo total de água pela cultura, o SPD 1 apresentou o valor de 226,01mm, sendo que o maior consumo de água médio diário foi de 6,98 mm dia⁻¹, durante o período de 50 a 56 DAE, que corresponde a fase de florescimento da cultura. No SPD 2 este consumo foi de 223,5 mm, valor este semelhante ao encontrado no SPD 1. O SPD 2 apresentou maior valor médio diário de 7,08 mm dia⁻¹ no mesmo período que o tratamento anterior.

Com relação ao PC 1 a quantidade de água fornecida para a cultura neste sistema de preparo foi de 260,6 mm, neste caso, superando os valores encontrados no SPD 1 e SPD 2 em 13,3 % e 14,2 %, respectivamente, apresentando no período de 43 a 49 DAE o maior valor médio diário de consumo, que foi de 7,70 mm dia⁻¹. O PC 2 apresentou menor consumo total de água (213,78 mm) com maior consumo médio diário ocorrendo também no período 43 a 49 DAE, cujo valor foi de 6,36 mm.dia⁻¹. Este menor valor do consumo total de água encontrado no PC 2, explica-se pelo fato da cultura não ter se desenvolvido satisfatoriamente nesta parcela, o que também não exigiu uma demanda maior de água via irrigação, conforme já explicado anteriormente.

STONE et al. (2006) ao determinarem a evapotranspiração durante o ciclo do feijoeiro, cultivar pérola, em SPD, pela metodologia do balanço hídrico de campo encontraram valores variando de 259,8 a 343,7 mm, dependendo da cultura de cobertura e do ano. Sendo estes valores foram superiores aos obtidos no presente ensaio para o mesmo sistema de preparo. O PC 1 apresentou valor de 260,6 mm, valor este semelhante ao encontrado pelo autor, que foi de 259,8 mm. As palhadas de braquiária e mombaça, pela maior produção de matéria seca, propiciaram as menores perdas de água por evapotranspiração, sendo as maiores diferenças entre as palhadas das culturas de cobertura, com relação à evapotranspiração do feijoeiro, ocorrem nos estádios iniciais e finais do ciclo.

Segundo DOORENBOS & KASSAM (1979), a necessidade de água do feijoeiro com ciclo de 60 a 120 dias varia entre 300 a 500 mm para obtenção de alta produtividade. No entanto, nenhum dos tratamentos atingiu o valor de 300 mm para atender a demanda da cultura no presente ensaio. Porém este consumo varia em função da época de plantio, devido às variações climáticas do local, sendo que as magnitudes da evapotranspiração e da lâmina de irrigação são ditadas pelos principais elementos de clima, como, radiação solar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, sendo que estes fatores variam com a época do ano. Com isso, plantios mais precoces ou mais tardios podem apresentar diferenças com relação às perdas por evapotranspiração.

SANTOS e ANDRÉ (1992), VASCONCELLOS e ANDRÉ (1998) verificando o consumo de água na cultura do feijoeiro obtiveram valores em torno de 300 mm, valor este superior ao encontrado neste ensaio em 25% para o SPD 1 e SPD 2 e de 13,3 % e 28,7 % para PC 1 e PC 2, respectivamente. Valores semelhantes foram encontrados por MEDEIROS (2001)

que trabalhando com a variedade IAC Carioca na mesma área do presente ensaio obteve o consumo de água pela cultura em torno de 300 mm, não encontrando diferença estatística entre os tratamentos com escarificador, arado de aiveca e enxada rotativa.

JUNQUEIRA et al. (2004) observaram que o consumo para a cultivar Carioquinha foi de 274,01 mm, cujo resultado foi semelhante ao encontrado no presente ensaio em relação ao mesmo PC1, cultivado com a cultivar Carioca precoce, porém superiores em 17,5 %, 18,4 % e 22,0 % em relação aos tratamentos SPD 1, SPD 2 e PC 2.

Em trabalho realizado por STONE et al. (2006) com feijão de inverno, variedade Pérola, cultivado em Santo Antônio de Goiás (GO) constataram que o aporte total de água à cultura foi de 460 mm, praticamente o dobro ao encontrado neste trabalho. Porém os autores também observaram que as perdas por drenagem profunda foram muito elevadas, em razão da maneira que foi conduzida a irrigação, com valores acima de 40 % no tratamento sistema plantio direto mais braquiária como cobertura morta.

Poucos são os trabalhos relacionando a evapotranspiração da cultura em cada fase de seu desenvolvimento com a técnica do plantio direto, que se caracteriza pela presença da cobertura morta na sua superfície, podendo ocasionar diminuição das perdas de água por evaporação principalmente nas fases iniciais da cultura, influenciando a evapotranspiração e o consumo de água pela planta.

Uma forma de verificar esta influência é através do coeficiente de cultura que para as fases iniciais é função basicamente da evaporação do solo, que depende do teor de água na sua superfície.

4.4 Coeficiente de cultura

A partir dos dados obtidos de ET_c e ET_o (método de Penman-Monteith) foi possível estimar o coeficiente de cultura (K_c) por meio da relação entre estes dois parâmetros, cujos resultados são apresentados nas tabelas 10, 11, 12 e 13 para os tratamentos SPD 1, SPD 2, PC 1, e PC 2, respectivamente.

Observa-se por meio das tabelas abaixo que todos os tratamentos apresentaram comportamentos semelhantes com relação a demanda de água em cada fase, apresentando menores valores de K_c no início do ciclo, com valores mais elevados nas fases de FL e EG em função do maior consumo de água pela cultura nestes períodos.

Analisando os valores médios de Kc em todas as fases da cultura observa-se na fase DV que o tratamento SPD 1 apresentou menor valor deste índice, que foi de 0,68. Os demais tratamentos apresentaram valores variando de 0,78 a 0,79, o que corresponde ao menor consumo de água pela cultura no SPD 1, propiciando uma economia de água em torno de 8,6 % em relação ao SPD 2 e PC 1 e de 11,9% quando comparado ao PC 2.

Estes resultados são semelhantes aos encontrados por DOORENBOS& KASSAM (1979), SANTOS e ANDRÉ (1992), VASCONCELLOS e ANDRÉ (1998) e JUNQUEIRA et al. (2004) que estudando o consumo de água na cultura do feijoeiro na fase DV apresentaram valores entre 0,7 e 0,8. Isto mostra o comportamento semelhante da cultura do feijoeiro na fase inicial de seu desenvolvimento com relação ao consumo de água em diversos estudos.

Na fase de FL ocorre o aumento dos valores de Kc em todos os tratamentos, o que já era esperado já que na fase o consumo de água pela cultura é mais elevado em relação aos demais estádios de seu desenvolvimento. Nesta fase o SPD 2 apresentou menor valor de Kc médio, que foi de 0,88. O SPD 1, PC 1 e PC 2 apresentaram os valores de 1,10, 1,18 e 0,95, o

Tabela 10. Valores da evapotranspiração média (ETc m), evapotranspiração de referência (ETo) e o coeficiente de cultura (Kc) no sistema plantio direto (SPD 1) para cada fase da cultura do feijoeiro. ano 2006. Feagri/Unicamp.

D.A.E.	Estádio	ETc m	ETo	Kc
		-----mm-----		
12 a 23	DV	2,2	3,56	0,62
24 a 35	DV	0,98	1,36	0,73
36 a 42	FL	4,14	3,77	1,10
43 a 49	FL	4,15	5,26	0,79
50 a 56	FL	6,98	4,99	1,40
57 a 63	EG	6,19	4,46	1,38
64 a 70	EG	4,18	5,74	0,73
71 a 79	MF	4,64	4,71	0,99

Dv – Desenvolvimento vegetativo; FL-Florescimento; EG- Enchimento de grãos; MF-Maturação fisiológica

Tabela 11. Valores da evapotranspiração média (ETc m), evapotranspiração de referência (ETo) e o coeficiente de cultura (Kc) no sistema plantio direto (SPD 2) para cada fase da cultura do feijoeiro. ano 2006. Feagri/Unicamp.

D.A.E.	Estádio	ETc m	ETo	Kc
		-----mm-----		
12 a 23	DV	2,16	3,56	0,61
024 a 35	DV	1,32	1,36	0,97
36 a 42	FL	1,5	3,77	0,40
43 a 49	FL	4,33	5,26	0,82
50 a 56	FL	7,09	4,99	1,42
57 a 63	EG	6,62	4,46	1,48
64 a 70	EG	4,23	5,74	0,74
71 a 79	MF	5,3	4,71	1,13

Tabela 12. Valores da evapotranspiração média (ETc m), evapotranspiração de referência (ETo) e o coeficiente de cultura (Kc) no plantio convencional (PC 1) para cada fase da cultura do feijoeiro. ano 2006. Feagri/Unicamp.

D.A.E.	Estádio	ETc m	ETo	Kc
		-----mm-----		
12 a 23	DV	2,38	3,56	0,67
24 a 35	DV	1,23	1,36	0,90
36 a 42	FL	2,97	3,77	0,79
43 a 49	FL	7,7	5,26	1,46
50 a 56	FL	6,5	4,99	1,30
57 a 63	EG	6,23	4,46	1,4
64 a 70	EG	6,19	5,74	1,08
71 a 79	MF	5,42	4,71	1,15

Tabela 13. Valores da evapotranspiração média (ETc m), evapotranspiração de referência (ETo) e o coeficiente de cultura (Kc) no plantio convencional (PC 2) para cada fase da cultura do feijoeiro. ano 2006. Feagri/Unicamp.

D.A.E.	Estádio	ETc m	ETo	Kc
		-----mm-----		
12 a 23	DV	2,21	3,56	0,62
24 a 35	DV	1,27	1,36	0,94
36 a 42	FL	1,47	3,77	0,39
43 a 49	FL	6,36	5,26	1,21
50 a 56	FL	6,31	4,99	1,26
57 a 63	EG	6,19	4,46	1,39
64 a 70	EG	1,76	5,74	0,31
71 a 79	MF	5,37	4,71	1,14

que representa economia de água proporcionada por este tratamento e nesta fase de 15,4 %, 24,7 % e 8,6 %, em relação aos anteriores.

STONE e SILVA (1999) ao determinarem o Kc para o feijoeiro no SPD verificaram que o valor mais elevado (Kc=1,06) ocorreu na fase de FL da cultura. No presente ensaio o máximo valor obtido de Kc na fase de FL em SPD foi apresentado pelo SPD 1 com valor de 1,10, semelhante ao obtido pelos referidos autores. Comparando este valor com máximo obtido que foi no PC 1, observou-se que o SPD proporcionou economia de água.

STEINMETZ (1984) estudando o consumo de água pela cultura do feijoeiro no PC obtiveram o valor máximo de Kc de 1,28, sendo que o maior valor obtido neste mesmo sistema de preparo no presente ensaio foi de 1,18, ou seja, 7,8 % inferior ao primeiro.

Na fase de EG os valores de Kc aumentaram no SPD 2 e PC 1, com valores de 1,11 e 1,24, respectivamente. O mesmo não ocorreu com o SPD 1 e PC 2, havendo uma diminuição dos valores de Kc, para 1,06 e 0,85, respectivamente. Nesta fase observa-se que o maior valor foi encontrado no PC 1, que foi de 1,18, e o menor no PC 2 com valor de 0,85, sendo que o primeiro apresentou consumo de água de 16,6 %, 12,5 % e 36 % maior em relação ao SPD 1, SPD 2 e PC 2, respectivamente.

SANTOS e ANDRÉ (1992) encontraram nesta fase o valor de 1,21, superando os encontrados no SPD 1, SPD 2 e PC 2 do presente ensaio. Os valores obtidos no SPD 1 e SPD 2 foram, respectivamente, de 1,06 e 1,11, estando dentro da faixa obtida por DOORENBOS e KASSAM (1979) que apresentaram valores entre 1,05 e 1,20. VASCONCELLOS ANDRÉ (1998) para a cultura do feijoeiro na fase de EG encontraram o valor de Kc igual a 1,35, superior a todos os valores obtidos no presente ensaio independente do tratamento estudado, sendo que o PC 1 apresentou o valor mais próximo, que foi de 1,24. JUNQUEIRA et al. (2004) constatou que o valor de Kc para a cultura do feijão nesta fase variou de 0,94 a 1,17, o mesmo ocorrendo neste ensaio para o SPD 1 e SPD 2.

Na fase de MF nota-se um aumento dos valores de Kc em todos os tratamentos, que apresentaram valores semelhantes, variando de 0,99 a 1,15, com este menor valor encontrado no SPD 1 e o maior no PC 1. VASCONCELLOS e ANDRÉ (1998) encontraram nesta mesma fase o valor de 0,82 e JUNQUEIRA et al. (2004) valores variando entre (0,7 a 0,55). Comparando os resultados obtidos com aqueles encontrados nos trabalhos citados acima, observa-se que aqueles resultados são superiores aos encontrados no presente ensaio, cujo menor valor foi de 0,99. Isto provavelmente ocorreu devido a não contabilização do escoamento superficial que possa ter ocorrido nas parcelas em função das elevadas precipitações neste período, superestimando os valores de evapotranspiração da cultura e conseqüentemente dos índices de Kc, conforme já destacado por REICHARDT (1985,1986).

As diferenças climáticas nas mais diversas regiões de estudo também contribuem para a variabilidade dos resultados, mostrando a importância das determinações do balanço hídrico e também de Kc para um lugar específico.

A figura 16 apresenta os valores de Kc e ETc ac em todos os tratamentos durante o ciclo da cultura.

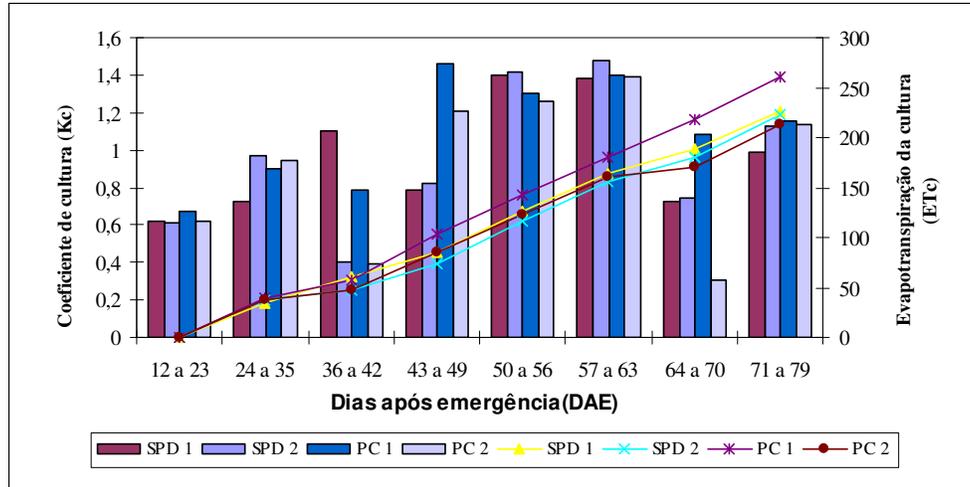


Figura 16: Valores de Kc e evapotranspiração acumulada (ETc ac) para cada fase da cultura do feijoeiro para os tratamentos SPD 1, SPD 2, PC 1 e PC 2.

4.5. Determinação da cobertura morta, produção e a Eficiência do uso da água

Na tabela 14 estão apresentados os resultados de produtividade, evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac), cobertura morta (CM) e eficiência do uso da água (EUA) para todos os tratamentos estudados.

Tabela 14: Valores de produtividade, evapotranspiração da cultura (ETc), cobertura morta (CM) e eficiência do uso da água (EUA) em todos os tratamentos, ano 2006, Feagri-Unicamp.

Tratamentos	5	ETc mm	Cobertura morta %	EUA Kg ha ⁻¹ mm ⁻¹
SPD 1	1974,00	226,01	95	8,73
SPD 2	2337,40	223,50	95	10,46
PC 1	1491,50	260,59	11	5,73
PC 2	714,20	213,77	11	3,34

Para o SPD 1 a estimativa da porcentagem de cobertura morta proveniente da cultura do milho foi de 95 % que representa a quantidade de 7,5 t ha⁻¹ de restos culturais. O SPD 2 apresentou maior quantidade, 8,7 t ha⁻¹, para uma mesma porcentagem de cobertura morta.

Para os tratamentos PC 1 e PC 2 os valores de cobertura morta foram de 11 %, com quantidades de restos vegetais de 2,3 e 1,3 t ha⁻¹, respectivamente.

ALVARENGA et al. (2001) avaliando a produção de matéria seca por algumas plantas utilizadas para cobertura morta do solo em SPD na cidade de Iraí, MG, aos 98 dias após semeadura encontraram o valor de 6 t ha⁻¹, que é inferior em 20% e 31% aos obtidos pela cultura do milho utilizada na formação de palhada para os tratamentos com SPD. Segundo o mesmo autor pode se considerar que cerca de 6 t. ha⁻¹ de resíduos vegetais sobre o solo é uma quantidade adequada para proteger o solo da ação da chuva e proporcionar a diminuição da evapotranspiração, mostrando a importância da cultura do milho na formação da palhada, que em média produziu 8,1 t. ha⁻¹.

Porém, WUTKE et al. (2002) relatam que geralmente a quantidade de resíduos na cultura do feijoeiro em SPD geralmente é reduzida, em torno de 2 ton/ha. Este valor é bem inferior ao constatado no presente ensaio para o SPD, se aproximando ao obtido no PC, cujo valor médio foi de 1,8 ton/ha.

A presença da palhada na superfície do solo em quantidade adequada é de grande importância na agricultura irrigada, pois ela reduz as taxas de evapotranspiração das culturas, principalmente nos estádios iniciais, em que o dossel destas não cobre totalmente o solo, resultando em economia de água.

Segundo MOREIRA et al. (1999b) a economia de água começa a ser significativa a partir dos 50 % de cobertura do solo pela palhada, implicando em menor número de irrigações do feijoeiro. Daí a importância da manutenção da palhada na área de cultivo sob SPD. No presente ensaio com uma cobertura de 95%, o SPD 1 e SPD 2 apresentaram menor consumo de água em relação ao PC 1, em 13,3% e 14,2%, respectivamente, apresentando maior eficiência do uso da água em relação aos tratamentos com PC. Resultados semelhantes foram obtidos por BIZARI et al. (2006a) que trabalhando com a variedade IAC carioca, na mesma área onde foi instalado o presente ensaio, concluíram que o SPD apresentou economia de água em torno de 12% em relação ao PC. O PC 2 apresentou o menor consumo devido ao não desenvolvimento das plantas neste estande, o que influenciou a evapotranspiração.

O SPD 2 apresentou maior valor de EUA, cujo valor foi de 10,46 kg.ha⁻¹ mm⁻¹. Para o SPD 1 este valor foi de 8,73 kg ha⁻¹ mm⁻¹. O PC 2 apresentou o valor mais baixo, ou seja, 3,34 kg.ha⁻¹ mm⁻¹ e o PC 1 o valor de 5,73 kg.ha⁻¹ mm⁻¹. Com os dados obtidos nota-se que o SPD 2

apresentou valores superiores em 16,5 %, 45,2 % e 68 % em relação ao SPD 1, PC 1 e PC 2, respectivamente, sendo o mais eficiente no uso da água dentre todos os tratamentos estudados.

Os resultados encontrados neste ensaio são semelhantes aos obtidos por STONE e MOREIRA (2000) que observaram que a EUA foi maior na cultura do feijoeiro cultivado no SPD com cobertura morta, verificando economia de água em torno de 14 % para a cultivar Aporé e superiores aos encontrados por ANDRADE et al. (2002) que observou que o tratamento com 100 % de cobertura morta do solo propiciou aumento de cerca de 38% na EUA em relação ao tratamento sem cobertura, na cultura do feijão variedade Pérola cultivada em SPD, sendo que para este mesmo sistema de preparo os valores obtidos no presente experimento variaram de 45,2 % a 68,0 % em relação aos tratamentos sem cobertura.

Os resultados também foram superiores aos encontrados por BARROS e HANKS (1993) que apresentaram para EUA o valor de $7,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ na cultura do feijão em SPD. O mesmo não ocorrendo com os tratamentos com PC, que apresentaram valores inferiores ao obtido pelos referidos autores, que foi de $6,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Resultado semelhante ao encontrado por CALVACHE et al.(1997) que para este mesmo sistema de preparo obteve a EUA de $6,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ para cada milímetro de água aplicada.

PEREIRA (2000) para a cultivar do feijoeiro Pérola em SPD apresentou valores de 7,36, 9,01 e 9,90 $\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, em função das respectivas porcentagens de cobertura morta no solo, 50 %, 75 % e 100 %. Sendo que para os dois últimos tratamentos (75 % e 100 %) os resultados encontrados estão dentro da faixa obtida no presente ensaio, cujos valores variaram de 8,73 a 10,46 $\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ no mesmo sistema de preparo com 95 % de cobertura do solo.

A figura 17 mostra o resultado dos valores obtidos de cobertura morta nos dois sistemas



Figura 17: Amostragem para determinação da cobertura morta no SPD e PC.

de manejo do solo. MEDEIROS (2001) trabalhando com a variedade IAC carioca não encontrou diferença estatística entre os tratamentos com escarificador, arado de disco e enxada rotativa com relação a EUA com o primeiro apresentando o maior valor, ou seja, $7,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ porém inferior aos encontrados no SPD 1 e SPD 2 em 14,0 % e 28,3 %, respectivamente na mesma área do presente ensaio.

JUNQUEIRA et al. (2004) estudando a EUA para a cultivar carioquinha obtiveram o valor de $14,12 \text{ kg. ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, valor este superior em 26 % ao máximo valor encontrado no presente ensaio que foi de $10,46 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ obtido no SPD 2 para a cultivar Carioca precoce.

Os valores de EUA estão de acordo do recomendado por DOORENBOS e KASSAN (1979) que apresentam para a cultura do feijoeiro valores na ordem de 3,0 a $6,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ e semelhantes aos encontrados em outros experimentos com feijoeiro irrigado.

Analisando os valores de produtividade observa-se que o tratamento SPD 2 apresentou o maior valor, que foi de $2337,4 \text{ kg ha}^{-1}$, superando em 15,5%, 36,2% e 69,4 % os tratamentos SPD 1, PC 1 e PC 2, respectivamente.

Os resultados obtidos neste ensaio estão de acordo com os resultados encontrados por STONE e SILVEIRA (1999) que estudando o efeito de diferentes sistemas de preparo do solo sobre a produtividade do feijoeiro irrigado concluíram que o SPD propiciou maiores valores de produtividade em comparação ao preparo com arado de aiveca.

MEDEIROS (2001) estudando a influência do manejo do solo na produtividade do feijoeiro irrigado concluiu que a maior produtividade de grãos foi obtida no tratamento com escarificador, cujo valor foi de 2519 kg ha^{-1} , embora não tenha encontrado diferença estatística entre este e os tratamentos com arado de aiveca e enxada rotativa, sendo que o valor encontrado no tratamento com escarificador foi superior a todos os tratamentos estudados no presente ensaio. Porém o SPD 2 foi superior aos tratamentos arado de aiveca e enxada rotativa em 5,3 % e 7,45 % respectivamente. PEREIRA et al. (2004) relataram que o tratamento que apresentou a maior produtividade foi o preparo com arado de aiveca, com o valor de $1808,0 \text{ kg ha}^{-1}$, superior em 17,5 % e 60,5 % em relação ao PC 1 e PC 2, respectivamente. O mesmo ocorrendo no trabalho realizado por CARDOSO e ZANINI (2003) que para a cultura do feijoeiro irrigado por Pivô Central apresentaram valores superiores em 21,5 % e 62,4 % quando comparado aos valores obtidos nos mesmos tratamentos com PC do presente ensaio. Por outro

lado, os valores encontrados no SPD 1 e SPD 2 foram superiores em 3,7 % e 18,7 % ao valor encontrado pelos referidos autores no PC.

De modo geral os tratamentos com SPD apresentaram valores dentro da faixa encontrada por outros trabalhos realizados com a cultura do feijoeiro, ou seja, em torno de 2000 kg ha⁻¹. O mesmo não ocorrendo com os tratamentos com PC, cujos valores de produção ficaram abaixo do esperado, indicando que a cultura possa ter sofrido um déficit hídrico no período do florescimento, proporcionando queda no rendimento da cultura. Resultados semelhantes foram obtidos por VIEIRA (1984), FIEGENBAUN et al. (1991) na cultura do feijão.

Além disso, o tratamento SPD 2 que está instalado neste sistema há mais de 10 anos, apresentou maior produtividade e EUA, mostrando a influência também da origem do sistema de preparo nos resultados obtidos.

4.6 Componentes da produção

A tabela 15 apresenta os resultados obtidos com relação às componentes da produção. Os componentes da produção foram determinados com base na amostragem de 3 linhas de plantio coletadas em cada parcela estudada, sendo que somente a população final de plantas (PFP) e o índice de colheita (IC) não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos.

Tabela 15: Dados médios de população final de plantas (PFP) por talhão, número de vagens por planta (NV), número de grãos por vagem (NG), massa de 100 grãos (M100), matéria seca (MS) e índice de colheita (IC), ano 2006, Feagri – Unicamp.

Tratamentos	PFP/talhão		NV		NG		MS g.m ⁻²		IC (%)		M100 (g)	
	Média	CV %	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
SPD 1	10.824a	17,8	12,08a	1,3	3,76a	5,3	117,92a	5,4	66,43a	2,4	26,70	*
SPD 2	11.066a	10,4	11,51a	14,9	3,45ab	4,8	117,89a	5,5	62,45a	3,6	28,66	*
PC 1	11.154a	23,3	8,44b	12,8	3,54ab	2,8	81,38b	8,7	64,5a	3,2	27,52	*
PC 2	8.998a	4,0	5,93b	9,2	3,10b	8,1	36,21c	15,1	66,18a	4,9	26,62	*

Médias seguidas da mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

* não foi realizada análise estatística.

Nota-se na tabela 15 que a PFP por talhão foi maior no PC 1 em relação aos demais tratamentos e que o PC 2 apresentou o menor desempenho na avaliação deste parâmetro. Os resultados obtidos em todos os tratamentos foram superiores aos encontrados por CARDOSO e ZANINI (2003) que obtiveram PFP de 10.770, exceto para o tratamento PC 2. No entanto, estes valores foram inferiores aos obtidos por ANDRADE et al. (2002) que encontrou para o parâmetro PFP o valor de 12.000 em SPD, sendo superior em 9,8 % e 7,8 % em relação aos tratamentos SPD 1 e SPD 2, respectivamente. Com relação aos tratamentos com PC, esta diferença foi mais acentuada com relação ao PC 2, com valor de 25%.

Com relação ao número de vagens por planta (NV) observa-se que houve diferença significativa entre os tratamentos com SPD e PC, embora estes não tenham se diferenciado estatisticamente entre si, conforme mostra a tabela 15. O SPD 2 apresentou valor semelhante ao SPD 1, e 30,1 % e 50,9 % maiores em relação aos tratamentos PC 1 e PC 2. Sendo que os valores obtidos no SPD foram semelhantes aos encontrados por ANDRADE et al. (2002), que apresentou para o NV o valor de 11,7 para feijão cultivado em SPD com 100% de cobertura do solo e superiores aos obtidos por MEDEIROS (2001), cujo valor foi de 10,1 para a cultivar IAC Carioca.

Porém, estes mesmos valores encontrados no presente ensaio em todos os tratamentos foram inferiores aos obtidos por CARDOSO e ZANINI (2003) que apresentaram para a cultivar Carioca-80 cultivada em PC, o NV igual a 16,24 e por CALVACHE et al. (1997) que encontraram valores variando de 15,58 a 23,50 em função da lâmina de água aplicada para a cultivar Imbabello “INIAP 404” em solo Franco arenoso e por SANTOS et al. (1997) que avaliando três sistemas de preparo do solo (grade, arado de aiveca e plantio direto) na cultura do feijão concluíram que o NV encontrado foi de 20,9; 16,1 e 15,4 para os tratamentos com grade aradora, SPD e arado de aiveca, respectivamente.

Comparando os dados obtidos com o trabalho realizado por PEREIRA et al. (2004) em relação ao NV, observa-se que os tratamentos SPD 1, SPD 2 e PC 1 apresentaram valores superiores em 52,3 %, 47,9 % e 28,9 %, respectivamente, aos encontrados pelos referidos autores na cultura do feijão em PC, cujo valor foi de 6,0. Somente o tratamento PC 2 apresentou valor semelhante, ou seja, de 5,95. Para STONE e MOREIRA (2000) a componente da produção mais influenciada pelo sistema de preparo do solo é o NV.

Quanto ao número de grãos por vagem (NG) observa-se que houve diferença estatística somente entre os tratamentos SPD 1 e PC 2, com valores de 3,76 e 3,10, respectivamente. Os resultados obtidos para todos os tratamentos foram inferiores ao apresentado por CARDOSO e ZANINI (2003) e ANDRADE et al. (2002) que apresentaram valores em torno de 5,9 e também ao apresentado por PEREIRA et al. (2004) cujo valor foi de 4,7 para o preparo com escarificador.

MEDEIROS (2001) não encontrou diferença estatística entre o NG em diversos sistemas de preparo do solo, cujos valores obtidos variaram de 4,1 a 4,5, mas que também se mostraram superiores aos obtidos neste experimento. STONE e MOREIRA (2000) concluíram que houve diferença estatística entre o SPD e o preparo com grade aradora, com relação ao NG, sendo os maiores valores obtidos no SPD.

Para a componente matéria seca (MS) observa-se que não houve diferença estatística entre os tratamentos SPD 1 e SPD 2. Porém, ambos foram estatisticamente diferentes em relação ao PC 1 e PC 2, com os tratamentos com SPD apresentando os maiores valores. O PC 2 apresentou o menor valor de MS quando comparado aos demais tratamentos, apresentando diferença estatística significativa em relação ao PC 1. MEDEIROS (2001) para este mesmo parâmetro encontrou os maiores valores no preparo com enxada rotativa seguido do preparo com arado de disco, porém não encontrou diferença estatística entre os tratamentos estudados, sendo que os valores obtidos no presente ensaio foram inferiores em relação aos encontrados pelo autor

Com relação aos valores de índice de colheita (IC) estes ficaram acima de 60%, não havendo diferença estatística entre os tratamentos estudados. O SPD 1 apresentou maior valor de IC, com valor de 66,43 %. Estes valores são superiores aos encontrados por ANTONINI et al. (2000) que encontraram o valor de 25% e também aos obtidos por CALVACHE et al. (1997) com valores variando de 47 a 59 % para a cultivar Imbabello “INIAP 404”.

MEDEIROS (2001) encontrou diferença estatística entre os tratamentos com preparo alternado e enxada rotativa, com os valores de 57,9 % e 51,3 %, respectivamente, mas apresentou valores inferiores em relação aos obtidos no presente experimento, com a maior diferença apresentada pelo SPD 1 em relação ao tratamento com enxada rotativa, cujo valor foi de 22,8%.

Analisando a massa de 100 grãos (M100) nota-se que o SPD 2 foi o que apresentou o maior valor (28,66 g) seguido do PC 1, com o valor de 27,52 g. Os tratamentos SPD 1 e PC 2 apresentaram valores semelhantes variando de 26,62 a 26,7 g, respectivamente. Os resultados obtidos em todos os tratamentos foram superiores aos encontrados por CARDOSO e ZANINI (2003) que obtiveram valor médio de 20,86 em mais de 20 %, com destaque para o SPD 2, cuja diferença foi de 27,2. Os valores encontrados também foram maiores que os obtidos por LUCHIARI JÚNIOR (1990) que obteve o valor de 24,7 g, com a maior diferença também referente ao SPD 2, com valor de 13,8 % e por MEDEIROS (2001) com valores também em torno de 24 g. O maior valor de M100 obtido no SPD 2 foi semelhante ao encontrado por PEREIRA et al. (2004) cujo maior valor foi obtido no preparo com arado de aiveca, situando-se em 28,5.g e por ANDRADE et al. (2002) que apresentou o valor de 28,4 g para a cultivar Pérola em SPD.

No que se refere ao estudo dos componentes da produção observou-se variação dos resultados obtidos em relação aos demais trabalhos, com alguns parâmetros apresentando valores acima, outros abaixo e até mesmo similares em relação aos encontrados em outros estudos, provavelmente em função das características da variedade estudada, manejo da irrigação, sistemas de preparo, tratamentos culturais empregados, dentre outros.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, chegaram-se as seguintes conclusões:

Os tratamentos com SPD apresentaram menores valores de evapotranspiração da cultura praticamente durante todo o seu ciclo, sendo esta diferença mais acentuada na fase de florescimento, mostrando a importância da manutenção da cobertura morta em sua superfície.

Os diferentes sistemas de preparo e o manejo da irrigação influenciaram a produção, sendo os maiores valores encontrados nos tratamentos com SPD.

Os tratamentos com SPD apresentaram menor lâmina de água, em média, quando comparado aos tratamentos com PC durante o ciclo da cultura do feijoeiro e também o maiores valores de matéria seca e número de vagens por planta.

Os tratamentos com SPD foram mais eficientes no uso da água em relação aos tratamentos com PC.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J.; THUNG, M. **Produção de Sementes Sadias de Feijão Comum em Várzeas Tropicais.**

<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoVarzeaTropical/esta-el_cultura.htm>, 26/11/2006.

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M.. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Irr. Drain. Paper 56. UN-FAO, Rome, 1998.

ALONÇO, A. dos S., ANTUNES, I.F. Semeadura direta de feijão em resteva de trigo, visando à colheita mecanizada direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.9, p. 919-922, 1997.

ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, n.22, p. 25-36, 2001.

AMBROSANO, E.J.; WUTKE, E.B.; BULISANI, E.A. **Feijão: *Phaseolus vulgaris* L** In: RAIJ, B.V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (ed.) Recomendações de adubação e calagem do Estado de São Paulo. 2ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996.

ANDRADE, R.S.; MOREIRA, J.A.A.; STONE, L.F.; CARVALHO, J.A. Consumo relativo de água do feijoeiro no plantio direto em função da porcentagem de cobertura morta do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.1, p.35-38, 2002.

ANTONINI, A.C.D.; SAMPAIO, E.V.S.B.; DALL'OLIO, A.; SALCEDO, I.H. Balanço hídrico em solo com cultivos de subsistência no semi-árido do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.1, p.29-34, 2000.

AZEVEDO, J.A.; MIRANDA, L.N. Produtividade do feijão em resposta à adubação fosfatada e regimes de irrigação em solo de Cerrado. II - Manejo da irrigação. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 22, 1996, Manaus. **Resumos...** Manaus: Editora da Universidade do Amazonas, p.12-13, 1996.

BARROS, L.C.G.; HANKS, R.J. Evapotranspiration and yield of beans as affected by mulch and irrigation. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, p.692-697, 1993.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6ed. Viçosa: Imprensa universitária. Univ., 1995.

BIZARI, D.R.; MATSURA, E.E.; ROQUE, M.W.; MESTAS, R.M.V.; SOUZA, A.L. Eficiência do uso da água no sistema plantio direto da cultura do feijão de inverno irrigado. In: Congresso Internacional de Engenharia Agrícola, 2006a, Chillán. **Resumos...** Chillán: Editora Trama, p.89, 2006a.

BIZARI, D.R.; MATSURA, E.E.; ROQUE, M.W.; SOUZA, A.L.; MESTAS, R.M.V. Variabilidade temporal da umidade do solo nos sistemas plantio direto e plantio convencional irrigados por aspersão na cultura do feijão de inverno. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2006b, João Pessoa. **Resumos...** João Pessoa, p.123, 2006b.

CALVACHE, A.M.; REICHARDT, K.; MALAVOLTA, E.; BACCHI, O.O.S. Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso da água em uma cultura de feijão. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.54, n.3, p.1-15, 1997.

CARDOSO, S.da.S; ZANINI, J.R. Parcelamento de nitrogênio aplicado por fertirrigação via pivô central em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.23, n.3, p.441-449, 2003.

CARVALHO, A.M.; SILVA, A.M.; COSTA, E.F.; COUTO, L. Efeitos de lâminas de água e épocas de parcelamento de nitrogênio em cobertura via fertirrigação no rendimento de grãos do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 9, 1992, Natal. **Anais...** Fortaleza: ABID, p.767-789, 1992.

CEPAGRI. **Clima de Campinas**. <<http://orion.cpa.unicamp.br/portal/modules>>, 19/01/2007.

CERVI, E.U. A revolução da palha. **Revista Plantio Direto**, p.8-13, 2003.

CHRISTIANSEN, E. J. **Irrigation by sprinkler**. Berkeley, University of California, 142p., 1942. (Bulletin, 670).

CHIEPE JUNIOR, J.B. **Métodos de controle de irrigação na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob três tensões de água do solo**. Botucatu: UNESP, 1998. 112p.

CONAB. **Levantamento de grãos na safra 2006/07**. <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/1safragraos2006_07.pdf>, 16/10/2006.

CURY, B. Porque fazer Plantio Direto. **Guia para Plantio Direto**. 109p., 2000.

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. Fur Techn. Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Fundação IAPAR, 1991. 292p.

DOOREMBOS, J.; KASSAN, A.H. **Field response to water**. Rome: FAO, 1979. 193p. (FAO. Irrigation and drainage Paper, 33).

DOORENBOS, J., KASSAN, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DOURADO NETO, D.; LIER, Q.J.V.; BOTREL, T.A.; FRIZZONE, J.A. Programa para confecção da curva de retenção da água no solo utilizando o modelo de Genuchten. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v.1, p.92-102, 1990.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, 412 p., 1999.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. **Área de plantio direto no Brasil**. <http://www.febrapdp.org.br/area_PD_2002.htm>,20/09/2005.

FIGENBAUM, V.; SANTOS, D.S.B., MELLO, V.D.C. Influência do déficit hídrico sobre componentes e rendimento de três cultivares de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.26, n.2, p.275-80, 1991.

FOLONI, L.L., Plantio direto em sistema de produção irrigado In: 8º Encontro Nacional de Plantio Direto na Palha: Conservando a água e preservando a vida, 2002, Águas de Lindóia **Resumos...** Águas de Lindóia, p.163-166, 2002.

FAO. **Water for Food Security**. 2003. <<http://www.wateryear2003.org/em/ev.php>>10/11/2006.

GARCIA, A.; ANDRÉ, R. G. B.; IGNÁCIO, N.; SANTA CAPITA, C. A. Eficiência do uso da água em uma cultura do feijão, submetida a duas condições de disponibilidade hídrica. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11, Rio de Janeiro, **Anais...** Rio de Janeiro:Comitê de Agrometeorologia, 2000. (AG00038, CD).

GASSEN, D.N.; GASSEN, F.R. **Plantio Direto**: o caminho do futuro. Passo Fundo: Aldeia do Sul, 1996.

GOMES, H.P. **Engenharia de Irrigação**. Hidráulica dos Sistemas Pressurizados Aspersão e Gotejamento. 2ed. Campina Grande, Edufpb, 1997.

GOMIDE, R.L. Monitoramento para manejo da irrigação: instrumentação, automação e métodos. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27, 1998, Poços de Caldas, **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA, v.1, p. 133-138, 1998.

HILLEL, D. **Applications of soil physics**. New York:London: Academic Press, p. 319-344, 1980.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. Previsões e Estimativas das Safras Agrícolas do Estado de São Paulo, Ano Agrícola 2004/05. <<http://www.iea.sp.gov.br/out/producao/ps-1105-2l-1.php>>,20/11/2005.

JADOSKI, S.O.; CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; WOISCHICK, D.; CERVO, L. População de plantas e espaçamento entre linhas do feijoeiro irrigado: comportamento morfológico das plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.4, p.559-565, 2000.

JUNQUEIRA, A.M.R.; OLIVEIRA, C.A. da S.; VALADÃO, L.T. Fabricação “caseira” de tensiômetros de boa performance e baixo custo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27, 1998, Poços de Caldas. **Anais...**Lavras: UFLA/SBEA, v.1, p. 253-255, 1998.

JUNQUEIRA, A.M.; ANDRE, R.G.B.; PINHEIRO, F.M.A. Consumo de água pelo feijoeiro comum, cv. Carioca. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v.12, n.1, p.51-56, 2004.

LANDERS, J.N. **Fascículo de experiências de plantio direto no Cerrado**. Goiânia: Associação de Plantio Direto no Cerrado, 1995.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica de água no solo**, Edusp. 344 p., 2005.

LOPES, A.S.; PAVANI, L.C.; CORÁ, J.E.; ZANINI, J.R.; MIRANDA, H.A. Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.24, n.1, p.89-100, 2004.

LOYOLA, J.M.T.; PREVEDELLO, C.L. Modelos analíticos para predição do processo da redistribuição de água no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.783-787, 2003.

LUCHIARI JÚNIOR, A.; FIGUEIREDO, S. Estabelecimento do momento de irrigação em feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*, L.) cultivado em latossolo de cerrados. In: REUNIÃO SOBRE FEIJÃO IRRIGADO, 1., 1990, Goiânia. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, p.18-119, 1990 (Documento, 27).

MEDEIROS, G.A. **Influência do desenvolvimento do dossel vegetativo sobre o consumo de água e coeficiente de cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

MEDEIROS, G.A. **Influência do manejo de um latossolo roxo sobre a eficiência do uso da água e produção do feijoeiro irrigado**. 184p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2001.

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 de Ciência do solo**, Campinas, v.17, n.2, p.291-297, 1993.

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, 1999b. 2p. (Embrapa Arroz e Feijão. Pesquisa em foco, 26).

MOREIRA, J.A.A, STONE, L.F., SILVA, S.C., SILVEIRA, P.M. **Irrigação do feijoeiro no Sistema Plantio Direto**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999a. 31p. (Circular técnica, 33).

MOUHOUCHE, B, RUGET, F., DELÉCOLLE, R. Effects of water stress applied at different phenological phase on yield components of dwarf bean (*Phaseolus vulgaris* L.) **Agronomie**, Paris, v.18, p. 197-205, 1998 apud MEDEIROS, G.A. **Influência do manejo de um latossolo roxo sobre a eficiência do uso da água e produção do feijoeiro irrigado**. 184p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2001.

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**. 137p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, 1998.

NASCIMENTO, J.L.; STONE, L.F.; OLIVEIRA, L.F.C. Demanda total de água do feijoeiro nos sistemas de plantio convencional e direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v.31, n.2, p.159-161, 2001.

OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1999, 64p. (mapa).

OLIVEIRA, T.K.; CARVALHO, G.J.; MORAES, R,N, S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.37, n.8, p. 1079-1087, 2002.

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**. 128p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Unesp, 2000.

PEREIRA, G.M. **Irrigação por aspersão convencional**. Universidade Federal de Lavras – UFLA. 90p. 2001.

PEREIRA, J.C.R., RODRIGUES, R.A.F., ARF, O., ALVAREZ, A.C.C. Influência do manejo do solo, lâminas de irrigação e doses de nitrogênio na produtividade do feijoeiro. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.26, n.1, p.13-19, 2004.

REGO, P.G. **Plantio Direto: Economia e gerência no manejo dos solos**. Castro. PR, 1997.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas: Fundação Cargill, 1985.

REICHARDT, K. **Água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1986.

RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P.E.P. **Métodos e estratégias de manejo de irrigação: Embrapa Milho e Sorgo**, 2002. 10p. (Circular técnica, 19).

ROSTON, A.J.; BULISANI, E.A. **Feijão**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. 1988. 16p. (Instrução Prática, n. 219).

ROSTON, A.J. **Feijão**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. 1990. 18p. (Boletim técnico, n. 199).

RUEDELL, J. A soja numa agricultura sustentável. Apud: SILVA, M.T.B. da (Ed.). **A soja em rotação de culturas no plantio direto**. Cruz Alta: Fundacep; Fecotrigo, p.1-34.1998.

SAAD, J.C.C.; SCALOPPI, E.J. Análise dos principais métodos climatológicos para estimativa da evapotranspiração. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 8., 1988. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABID, v.2, p.999-1021, 1988.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.2, p. 313-319, 1995.

SANTOS, A.B.; SILVA, O.G.; FERREIRA, E. Avaliação de práticas culturais em um sistema agrícola irrigado por aspersão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n.3, p. 317-327, 1997.

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, p. 543-548, 1992.

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, Osijek. **Conference...** Osijek: IAPAR, p. 537-574, 1982.

SILVA, O.F., FARIA, L.C., MELO, L.C., DEL PELOSO, M.J. **Sistemas e custos de produção do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) em diferentes épocas e regiões de cultivo**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. 40p. (Documentos).

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. **Manejo da irrigação do feijoeiro: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central**. Brasília: Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1994. 46p. (Documento, 27).

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. **Irrigação**. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas**. Viçosa, MG: UFV, 1998. p.181-220.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. **Manejo da irrigação do feijoeiro**: Santo Antônio de Goiás: 2002, 4p. (Circular técnica, 38).

SOUZA, C.F.; MATSURA, E.E. Avaliação de sondas de TDR multi haste segmentadas para estimativa da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.63-68, 2002.

STEINMETZ, S. **Evapotranspiração máxima no cultivo do feijoeiro de inverno**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa arroz e feijão, 1984. 4p. (Circular técnica, 47).

STONE, L.F. Irrigação do feijoeiro e do arroz de terras altas no Sistema Plantio Direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.14, n.86, p. 31-34, 2005.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.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, 2000.

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. (Pesquisa em foco, 25).

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.2, p. 395-401, 2001 apud STONE, L.F. Irrigação do feijoeiro e do arroz de terras altas no Sistema Plantio Direto. **Revista Plantio Direto**, p. 31-33, 2005.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M.; MOREIRA, J.A.A.; BRAZ A.J.B.P. Evapotranspiração do feijoeiro irrigado em plantio direto sobre diferentes palhadas de culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.4, p. 577-582, 2006.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E.E. **Manejo de irrigação: Métodos e Práticas**. Feagri-Unicamp. 24p. 2004.

TOMMASELLI, J.T.G.; BACCHI, O.O.S. Calibração de um equipamento TDR para medida de umidade de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.9, p. 1145-1154, 2001.

URCHEI, M. A.; RODRIGUES, J. D.; STONE, L. F.; CHIEPPE JR, J. B. Efeitos do plantio direto e do preparo convencional sobre alguns atributos físicos de um latossolo vermelho-escuro argiloso, sob pivô central. **Irriga**, Botucatu, v.1, n.3, p. 8-15, 1996.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.892-898, 1980.

VASCONCELLOS, E.C.; VECHI, V.A. Feijão Carioca precoce. **CATI Responde**, Campinas, n.45, 2001.

VASCONCELLOS, S.B.; ANDRÉ, R.G.B. Necessidade de água para o feijoeiro (*Phaseolus Vulgaris* L.) cv. Carioquinha e coeficientes de cultura estimados por diferentes métodos. **Científica**, São Paulo, v.26, n.1/2, p. 187-201, 1998.

VIEIRA, H.J. **Parâmetros hídricos e de crescimento de duas variedades feijão** (*Phaseolus vulgaris* L.) **sob diferentes condições de disponibilidade de água no solo**. Piracicaba, 1984. 153 p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

VIEIRA, S.R. Permeâmetro: novo aliado na avaliação de manejo do solo. **O Agrônomo**, Campinas, v.47, p. 32-33, 1998.

YOKOYAMA, L.P., **Tendências de mercado e alternativas de comercialização do feijão**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 4p. (Comunicado técnico, 43).

WUTKE, E.B.; ARRUDA, F.B.; FANCELLI, A.L.; PEREIRA, J.C.V.N.A. SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G.M.B. Propriedades do solo e o sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.3, p.621-633, 2000.

WUTKE, E.B.; DE MARIA, I.C.; MARTINS, A.L.M.; CANTARELLA, H. Cuidados com a cultura do feijão em plantio direto. **O Agrônomo**, Campinas, p.23-24. 2002

7. ANEXOS

Tabela 1: Valores de leitura dos tensiômetros durante a realização do ensaio (SPD 1 e SPD 2) no período de 12 a 79 DAE.

DAE	Data	Leitura do tensiômetros (kPa)			
		SPD 1		SPD 2	
		Prof. 20 cm	Prof 40 cm	Prof. 20 cm	Prof 40 cm
12	17/jul	10	7	8	10
14	19/jul	10	8	9	7
16	21/jul	9	9	9	10
19	24/jul	9	8	7	10
20	25/jul	9	7	8	9
21	26/jul	8	8	8	10
23	28/jul	8	9	8	8
28	2/ago	8	8	8	7
30	4/ago	9	12	8	9
33	7/ago	12	11	10	9
35	9/ago	22	13	13	11
37	11/ago	36	13	18	12
38	12/ago	41	17	25	15
40	14/ago	54	16	35	15
41	15/ago	36	14	33	15
42	16/ago	34	22	28	16
43	17/ago	14	22	39	17
44	18/ago	25	25	43	18
45	19/ago	49	29	70	21
46	20/ago	13	19	25	19
47	21/ago	17	13	10	10
48	22/ago	62	14	16	15
49	23/ago	23	17	23	18
50	24/ago	41	21	36	23
51	25/ago	17	19	35	24
52	26/ago	39	19	39	30
53	27/ago	25	23	25	31
54	28/ago	20	16	8	25
55	29/ago	15	21	11	26
56	30/ago	28	18	14	25
57	31/ago	44	20	33	26
58	1/set	8	27	31	26
59	2/set	8	21	20	24
61	4/set	8	13	9	21
62	5/set	9	12	8	17
63	6/set	11	13	10	23
64	7/set	33	19	21	25
65	8/set	25	19	26	31
66	9/set	39	24	24	31
67	10/set	22	34	11	27
68	11/set	21	29	16	31

CONTINUAÇÃO					
DAE	Data	Leitura do tensiômetros (kPa)			
		SPD 1		SPD 2	
		Prof. 20 cm	Prof 40 cm	Prof. 20 cm	Prof 40 cm
69	12/set	30	34	35	36
70	13/set	47	29	39	38
71	14/set	34	37	24	35
72	15/set	30	30	39	37
75	18/set	9	16	19	37
76	19/set	9	11	8	23
77	20/set	8	10	6	23
78	21/set	8	11	7	23
79	22/set	10	15	10	15

Tabela 2: Valores de leitura dos tensiômetros durante a realização do ensaio (PC 1 e PC 2) no período de 12 a 79 DAE.

DAE	Data	Leitura do tensiômetros (kPa)			
		PC 3		PC 4	
		Prof. 20 cm	Prof 40 cm	Prof. 20 cm	Prof 40 cm
12	17/jul	12	17	12	15
14	19/jul	12	16	13	12
16	21/jul	16	17	14	12
19	24/jul	19	20	15	14
20	25/jul	17	13	14	14
21	26/jul	18	19	14	14
23	28/jul	16	16	13	12
28	2/ago	11	20	9	12
30	4/ago	16	22	12	14
33	7/ago	23	24	13	11
35	9/ago	40	25	17	13
37	11/ago	57	24	22	15
38	12/ago	64	33	29	17
40	14/ago	71	36	41	17
41	15/ago	71	35	43	18
42	16/ago	75	39	49	14
43	17/ago	62	46	59	21
44	18/ago	74	48	59	24
45	19/ago	67	57	52	28
46	20/ago	51	30	57	29
47	21/ago	27	14	15	18
48	22/ago	47	22	28	25
49	23/ago	41	27	33	27
50	24/ago	29	26	34	30
51	25/ago	37	29	18	29
52	26/ago	44	36	26	25
53	27/ago	19	46	32	29
54	28/ago	8	32	14	19
55	29/ago	11	38	14	18

CONTINUAÇÃO					
DAE	Data	Leitura do tensiômetros (kPa)			
		PC 1		PC 2	
		Prof. 20 cm	Prof 40 cm	Prof. 20 cm	Prof 40 cm
56	30/ago	17	32	13	18
57	31/ago	27	25	24	15
58	1/set	49	43	31	24
59	2/set	12	37	5	16
61	4/set	6	21	6	7
62	5/set	8	13	7	9
63	6/set	14	16	9	10
64	7/set	26	22	12	12
65	8/set	39	27	16	13
66	9/set	43	29	22	14
67	10/set	40	32	18	14
68	11/set	7	27	24	14
69	12/set	8	30	50	14
70	13/set	12	31	62	18
71	14/set	27	33	65	18
72	15/set	52	39	52	21
75	18/set	22	48	5	12
76	19/set	5	28	5	9
77	20/set	6	17	7	9
78	21/set	9	19	8	11
79	22/set	21	19	12	12

Tabela 3: Valores da variação do armazenamento de água no solo para todos os tratamentos na cultura do feijão.no período de 12 a 79 DAE.

DAE	Data	Variação de armazenamento de água no solo - mm			
		SPD 1	SPD 2	PC 3	PC 4
12	17/jul	0,00	0,00	0,00	0,00
14	19/jul	-0,33	0,13	-0,24	-0,22
16	21/jul	-0,35	0,09	0,11	0,10
19	24/jul	-0,23	-0,96	-1,22	-1,09
20	25/jul	-0,16	0,38	0,49	0,44
21	26/jul	-0,16	0,00	0,00	0,00
23	28/jul	-0,17	0,00	0,00	0,00
28	2/ago	-0,09	0,00	0,00	0,00
30	4/ago	0,80	0,24	0,30	0,27
33	7/ago	1,64	1,21	1,52	1,37
35	9/ago	3,29	1,32	1,63	1,48
37	11/ago	2,20	1,50	1,82	1,67
38	12/ago	0,57	1,37	1,62	1,51
40	14/ago	0,93	1,28	1,47	1,39
41	15/ago	-1,52	-0,25	-0,28	-0,27
42	16/ago	-0,15	-0,62	-0,71	-0,67
43	17/ago	-4,26	1,30	1,48	1,40
44	18/ago	2,84	0,30	0,33	0,32

CONTINUAÇÃO					
DAE	Data	Variação de armazenamento de água no solo - mm			
		SPD 1	SPD 2	PC 3	PC 4
45	19/ago	2,78	1,52	1,67	1,62
46	20/ago	-5,86	-3,52	-3,96	-3,79
47	21/ago	1,36	-4,38	-5,30	-4,87
48	22/ago	5,28	2,38	2,92	2,67
49	23/ago	-3,77	1,74	2,07	1,92
50	24/ago	2,38	1,68	1,94	1,83
51	25/ago	-3,89	-0,18	-0,20	-0,19
52	26/ago	3,65	0,40	0,45	0,43
53	27/ago	-1,83	-1,58	-1,81	-1,71
54	28/ago	-1,05	-5,57	-6,79	-6,21
55	29/ago	-1,55	1,64	2,05	1,85
56	30/ago	3,03	1,43	1,76	1,60
57	31/ago	1,85	3,51	4,14	3,86
58	1/set	-8,70	-0,26	-0,30	-0,28
59	2/set	0,00	-1,81	-2,11	-1,98
61	4/set	0,00	-3,97	-4,86	-4,44
62	5/set	0,42	-0,68	-0,86	-0,77
63	6/set	1,57	1,36	1,71	1,54
64	7/set	5,57	3,51	4,26	3,91
65	8/set	-1,08	1,01	1,18	1,10
66	9/set	1,82	-0,39	-0,46	-0,43
67	10/set	-2,55	-3,78	-4,56	-4,20
68	11/set	-0,15	2,06	2,52	2,31
69	12/set	1,54	3,23	3,78	3,53
70	13/set	1,81	0,30	0,33	0,32
71	14/set	-1,29	-1,75	-2,01	-1,90
72	15/set	-0,42	1,81	2,07	1,96
75	18/set	-6,46	-2,84	-3,29	-3,09
76	19/set	-0,38	-4,51	-5,55	-5,05
77	20/set	-0,42	-1,78	-2,29	-2,03
78	21/set	0,00	0,97	1,26	1,12
79	22/set	0,00	2,07	2,62	2,35

Tabela 4: Valores obtidos de drenagem e ascensão capilar em todos os tratamentos na cultura do feijão no período de 12 a 79 DAE.

DAE	Estádio	SPD 1	
		Drenagem (mm)	ascensão capilar (mm)
12 A 23	DV	-2,86E-27	0,00
24 a 35	DV	-3,30E-27	0,00
36 a 42	FL	-1,02E-26	0,00
43 a 49	FL	-1,05E-26	0,00
50 a 56	FL	-9,64E-27	0,00
57 a 63	EG	-4,78E-27	0,00
64 a 70	EG	-1,11E-26	0,00
71 a 79	MF	-5,86E-27	0,00
DAE	Estádio	SPD 2	
		Drenagem (mm)	ascensão capilar (mm)
12 A 23	DV	-5,62E-27	6,78E-26
24 a 35	DV	0,00	1,57E-25
36 a 42	FL	0,00	8,72E-25
43 a 49	FL	0,00	1,42E-24
50 a 56	FL	-4,43E-25	5,39E-25
57 a 63	EG	-3,35E-25	1,90E-25
64 a 70	EG	-4,00E-25	6,18E-26
71 a 79	MF	-7,76E-25	5,62E-26
DAE	Estádio	PC 1	
		Drenagem (mm)	ascensão capilar (mm)
12 A 23	DV	-1,11E-27	0,00
24 a 35	DV	-1,36E-27	0,00
36 a 42	FL	-5,08E-28	4,41E-29
43 a 49	FL	-4,45E-28	4,80E-56
50 a 56	FL	-2,23E-27	7,36E-28
57 a 63	EG	-1,15E-27	2,93E-28
64 a 70	EG	-8,49E-28	5,88E-28
71 a 79	MF	-2,14E-27	8,23E-29
DAE	Estádio	PC 2	
		Drenagem (mm)	ascensão capilar (mm)
12 A 23	DV	0,00	2,05E-25
24 a 35	DV	0,00	1,97E-25
36 a 42	FL	0,00	5,43E-25
43 a 49	FL	0,00	8,70E-25
50 a 56	FL	0,00	6,43E-25
57 a 63	EG	0,00	4,42E-25
64 a 70	EG	0,00	6,88E-25
71 a 79	MF	0,00	4,57E-25

Tabela 5: Valores de umidade (%) obtidos em todos os tratamentos na cultura do feijão.no período de 12 a 79 DAE.

DAE	Data	Umidade (%)			
		SPD 1	SPD 2	PC 1	PC 2
12	17/jul	31,49	32,24	31,20	33,78
14	19/jul	31,62	32,18	31,29	33,87
16	21/jul	31,76	32,15	31,25	33,83
19	24/jul	31,85	32,53	31,74	34,27
20	25/jul	31,92	32,38	31,54	34,09
21	26/jul	31,98	32,38	31,54	34,09
23	28/jul	32,05	32,38	31,54	34,09
28	2/ago	32,08	32,38	31,54	34,09
30	4/ago	31,76	32,28	31,42	33,98
33	7/ago	31,11	31,80	30,81	33,44
35	9/ago	29,79	31,27	30,16	32,84
37	11/ago	28,91	30,67	29,43	32,17
38	12/ago	28,68	30,12	28,79	31,57
40	14/ago	28,31	29,61	28,20	31,01
41	15/ago	28,92	29,71	28,31	31,12
42	16/ago	28,98	29,96	28,59	31,39
43	17/ago	30,68	29,44	28,00	30,83
44	18/ago	29,55	29,32	27,87	30,70
45	19/ago	28,44	28,71	27,20	30,05
46	20/ago	30,78	30,12	28,78	31,57
47	21/ago	30,24	31,87	30,90	33,52
48	22/ago	28,12	30,92	29,73	32,45
49	23/ago	29,63	30,22	28,90	31,68
50	24/ago	28,68	29,55	28,13	30,95
51	25/ago	30,24	29,62	28,21	31,03
52	26/ago	28,78	29,46	28,03	30,86
53	27/ago	29,51	30,09	28,75	31,54
54	28/ago	29,93	32,32	31,47	34,02
55	29/ago	30,55	31,67	30,65	33,28
56	30/ago	29,34	31,09	29,94	32,64
57	31/ago	28,60	29,69	28,29	31,10
58	1/set	32,08	29,79	28,41	31,21
59	2/set	32,08	30,52	29,25	32,00
61	4/set	32,08	32,11	31,20	33,78
62	5/set	31,92	32,38	31,54	34,09
63	6/set	31,29	31,84	30,86	33,48
64	7/set	29,06	30,43	29,15	31,91
65	8/set	29,49	30,03	28,68	31,47
66	9/set	28,76	30,19	28,86	31,64
67	10/set	29,78	31,70	30,69	33,32
68	11/set	29,84	30,87	29,68	32,40
69	12/set	29,22	29,58	28,17	30,99
70	13/set	28,50	29,47	28,03	30,86
71	14/set	29,01	30,17	28,84	31,62

72	15/set	29,18	29,44	28,01	30,83
75	18/set	31,76	30,58	29,32	32,07
76	19/set	31,92	32,38	31,54	34,09
77	20/set	32,08	33,09	32,45	34,90
78	21/set	32,08	32,70	31,95	34,46
79	22/set	31,49	31,87	30,90	33,52