



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO DO FEIJOEIRO CULTIVADO EM PLANTIO
DIRETO NO SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

PAULO CÉSAR RIBEIRO DA CUNHA

Orientador:
Prof. Dr. Jorge Luiz do Nascimento

Fevereiro - 2009

PAULO CÉSAR RIBEIRO DA CUNHA

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO DO FEIJOEIRO CULTIVADO EM PLANTIO
DIRETO NO SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

Orientador:

Prof. Dr. Jorge Luiz do Nascimento

Co-orientadores

Pesq. Dr. Pedro Marques da Silveira

Prof. Dr. José Alves Júnior

Goiânia, GO - Brasil
2009

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(GPT/BC/UFG)**

Cunha, Paulo César Ribeiro da
C972m **Manejo da irrigação do feijoeiro cultivado em plantio direto no sistema integração lavoura-pecuária [manuscrito] / Paulo César Ribeiro da Cunha. – Goiânia, 2009.**
125 f., figs.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luiz do Nascimento.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, 2009.

Bibliografia: f. 110-122.

Anexos.

Inclui lista de figuras e tabelas.

1. Feijão – Irrigação – Métodos 2. *Phaseolus vulgaris* L. 3. Evapotranspiração 4. Coeficientes do tanque Classe A I. Nascimento, Jorge Luiz do. II. Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos III. Título.

CDU: 631. 674

PAULO CÉSAR RIBEIRO DA CUNHA

“MANEJO DA IRRIGAÇÃO DO FEJJOEIRO CULTIVADO EM PLANTIO DIRETO NO SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA”.

Dissertação **DEFENDIDA** e **APROVADA** em 26 de fevereiro de 2009, pela Banca Examinadora constituída pelos membros:

Prof. Dr. Jorge Luiz do Nascimento
Presidente - EA/UFG

Pesq. Dr. Pedro Marques da Silveira
Embrapa/CNPAP

Prof. Dr. José Alves Júnior
EA/UFG

Prof. Dr. Dácio Ricardo Botelho Alves
IFG/Campus Urutaí-GO

DEDICATÓRIA

À Helena Gonçalves de Paula Santos Cunha,
esposa e companheira, pelo incentivo,
compreensão e apoio.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Jorge Luiz do Nascimento pela orientação, amizade e respeito;

Ao pesquisador e amigo Dr. Pedro Marques da Silveira, pelas preciosas orientações, pela disposição, incentivo e, sobretudo pela confiança;

Ao professor Dr. José Alves Júnior, pelas orientações e apoio;

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Goiás pela oportunidade;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Goiás, pela colaboração na minha formação;

Ao secretário do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Welinton Barbosa Mota, pela dedicação e atenção;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro;

À Embrapa Arroz e Feijão, pelas condições oferecidas para a realização deste trabalho;

Aos técnicos Antônio Afonso Ribeiro, Francisco de Lima e Adilson Francisco da Costa Vilela, pelo apoio efetivo na condução do experimento;

A todos, minha gratidão.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE ANEXOS	13
RESUMO GERAL	14
GENERAL ABSTRACT	15
1 INTRODUÇÃO GERAL	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO FEIJOEIRO.....	19
2.2 NECESSIDADES HÍDRICAS DO FEIJOEIRO.....	21
2.2.1 Períodos críticos	22
2.2.2 Déficit e excesso hídrico	24
2.2.3 Sistema de cultivo e consumo de água pelo feijoeiro	26
2.3 IRRIGAÇÃO DO FEIJOEIRO.....	30
2.3.1 Manejo da irrigação	31
2.3.2 Métodos de manejo da irrigação	33
2.3.3 Coefficiente do tanque Classe A	35
3 MÉTODOS DE MANEJO DA IRRIGAÇÃO NO FEIJOEIRO BRS-SUPREMO CULTIVADO EM PLANTIO DIRETO NO SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA	
RESUMO.....	37
ABSTRACT.....	37
3.1 INTRODUÇÃO.....	38
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3.2.1 Caracterização do local	40
3.2.2 Descrição da área experimental	41
3.2.3 Características do solo	42
3.2.4 Delineamento experimental	47
3.2.5 Manejo da irrigação	49
3.2.5.1 Tratamento 1 - Tensiômetro e curva característica de retenção de água do solo.....	50
3.2.5.2 Tratamento 2 - Tanque Classe A e coeficiente de cultura.....	51
3.2.5.3 Tratamento 3 - Método de Penman-Monteith e coeficiente de cultura.....	52
3.2.6 Características avaliadas	53
3.2.6.1 Produtividade de grãos.....	53
3.2.6.2 Número de vagens por planta.....	54
3.2.6.3 Número de grãos por vagem.....	54
3.2.6.4 Massa de 100 grãos.....	54
3.2.6.5 Altura da planta.....	54
3.2.6.6 Eficiência do uso da água (EUA).....	54
3.2.7 Análise estatística	55

3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
3.3.1	Variáveis meteorológicas.....	55
3.3.2	Evapotranspiração da cultura.....	58
3.3.3	Métodos de manejo e lâminas de irrigação.....	59
3.3.3.1	Manejo com tensiômetro.....	65
3.3.3.2	Manejo com tanque Classe A.....	68
3.3.3.3	Manejo com modelo de Penman-Monteith.....	70
3.3.4	Produtividade do feijoeiro.....	72
3.3.5	Número de vagens por planta e de grãos por vagem.....	76
3.3.6	Massa de 100 grãos.....	79
3.3.7	Altura da planta.....	80
3.3.8	Eficiência no uso da água (EUA).....	82
3.4	CONCLUSÕES.....	84
4	COEFICIENTES DO TANQUE CLASSE A (Kp) PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA EM SANTO ANTÔNIO DE GOIÁS, GO	
	RESUMO.....	85
	ABSTRACT.....	85
4.1	INTRODUÇÃO.....	86
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	88
4.2.1	Estimativa da evapotranspiração.....	89
4.2.2	Coefficientes do tanque Classe A.....	89
4.2.2.1	Valores tabelados propostos por Doorenbos & Pruitt (1977).....	89
4.2.2.2	Modelo proposto por Snyder (1992).....	90
4.2.2.3	Método de Cuenca (1989).....	90
4.2.2.4	Modelo de Pereira et al. (1995).....	91
4.2.2.5	Modelo recomendado pela FAO/56 (Allen et al., 1998).....	91
4.2.2.6	Valor constante do Kp em 0,7.....	92
4.2.3	Avaliação dos métodos de determinação do Kp para estimativa da ET₀.....	92
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	94
4.3.1	Período anual.....	94
4.3.2	Período seco.....	100
4.3.3	Período chuvoso.....	104
4.4	CONCLUSÕES.....	107
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	109
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110
	ANEXOS.....	123

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1.	Croqui geral, com a locação do experimento na área do pivô central, distribuição dos blocos na área experimental e das parcelas com os tratamentos (T1, T2 e T3), suas respectivas repetições dentro de cada bloco, e as coordenadas geográficas da área experimental.....	48
Figura 3.2.	Croqui detalhado do quadrante do pivô, com a distribuição dos blocos no quadrante e das parcelas com os tratamentos (T1, T2 e T3) dentro dos blocos, com caracterização do tamanho das parcelas, incluindo a área útil da parcela.....	49
Figura 3.3.	Condições meteorológicas durante o ciclo do feijoeiro semeado em 05/07/2007 em Santo Antônio de Goiás, Goiás. Radiação solar e velocidade do vento (a), umidades relativas máximas e mínimas (b) e temperaturas máximas e mínimas (c). Dados da estação automatizada da Embrapa Arroz e Feijão.....	56
Figura 3.4.	Estádios do ciclo fenológico do feijoeiro semeado em 05/07/2007 em Santo Antônio de Goiás, Goiás, com duração em dias, lâminas de irrigação aplicadas com manejo pelos métodos de (a) Penman-Monteith, (b) tanque Classe A e (c) tensiômetro, e (d) precipitações pluviais efetivas ocorridas durante condução do experimento.....	60
Figura 3.5.	Lâminas de água (precipitação pluvial + irrigação) recebidas pelas parcelas dos tratamentos tensiômetro e curva de retenção TE+CR, tanque Classe A e coeficiente de cultura TA+Kc e Penman-Monteith e coeficiente de cultura PM+Kc. Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.....	63
Figura 3.6.	Lâminas de água acumuladas (irrigação + precipitação) recebidas pelas parcelas dos tratamentos tensiômetro e curva de retenção TE+CR, tanque Classe A e coeficiente de cultura TA+Kc e Penman-Monteith e coeficiente de cultura PM+Kc nos estádios fenológicos da cultura do feijoeiro. Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.....	64
Figura 3.7.	Estádios do ciclo fenológico do feijoeiro irrigado cultivado no sistema integração lavoura-pecuária, em latossolo vermelho distroférico, com respectivas durações em dias, (c) precipitações pluviais efetivas ocorridas e (b) irrigações efetuadas com o tratamento tensiômetro e curva de retenção TE+CR em função de (a) variações na tensão de água no solo nas profundidades de 0,15 m e 0,30 m, média das três baterias de tensiômetros. Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.....	66
Figura 3.8.	Estádios do ciclo fenológico do feijoeiro semeado em 05/07/2007 em Santo Antônio de Goiás, Goiás, com duração em dias, precipitação pluvial efetiva e lâminas de irrigação aplicadas com o método do tanque Classe A TA+Kc.....	69
Figura 3.9.	Estádios do ciclo fenológico do feijoeiro semeado em 05/07/2007 em Santo Antônio de Goiás, Goiás, com duração em dias, precipitação pluvial efetiva e lâminas de irrigação aplicadas com o tratamento Penman-Monteith e coeficiente de cultura PM+Kc.....	71

Figura 3.10. Produtividade média do feijoeiro (P) obtida com aplicação das lâminas de água estimadas pelos métodos de manejo da irrigação, tratamentos tensiômetro e curva de retenção TE+CR, tanque Classe A e coeficiente de cultura TA+Kc e Penman-Monteith e coeficiente de cultura PM+Kc. Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007. ** significativo a 1%.....	75
Figura 3.11. Número médio de grãos por vagem (GPV) obtido com aplicação das lâminas de água estimadas pelos métodos de manejo da irrigação, tratamentos tensiômetro e curva de retenção TE+CR, tanque Classe A e coeficiente de cultura TA+Kc e Penman-Monteith e coeficiente de cultura PM+Kc. Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007. ** significativo a 1%.....	79
Figura 3.12. Altura média das plantas (ALP) obtidas com aplicação das lâminas de água estimadas pelos três métodos de manejo da irrigação, tensiometria, tanque Classe A e Penman-Monteith, tratamentos TE+CR, TA+Kc e PM+Kc, respectivamente. Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007. **significativo a 1%.....	82
Figura 4.1. Relações entre a evapotranspiração de referência diária (ET_0) estimada pelos métodos de Penman-Monteith e do tanque Classe A, utilizando diferentes métodos de estimativa e cálculo do coeficiente do tanque (K_p), para período anual, em Santo Antônio de Goiás, Goiás.....	96
Figura 4.2. Relações entre a evapotranspiração de referência diária (ET_0) estimada pelos métodos de Penman-Monteith e do tanque Classe A, utilizando diferentes métodos de estimativa e cálculo do coeficiente do tanque (K_p), para período seco, em Santo Antônio de Goiás, Goiás.....	101
Figura 4.3. Relações entre a evapotranspiração de referência diária (ET_0) estimada pelos métodos de Penman-Monteith e do tanque Classe A, utilizando diferentes métodos de estimativa e cálculo do coeficiente do tanque (K_p), para período chuvoso, em Santo Antônio de Goiás, Goiás.....	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1.	Resumo das fases e estádios fenológicos de desenvolvimento do feijoeiro comum.....	20
Tabela 3.1.	Características principais da cultivar de feijão (<i>P. vulgaris</i> L.) BRS Supremo.....	42
Tabela 3.2.	Equações ajustadas da curva característica de retenção de água do solo nas camadas de 0 m a 0,15 m e 0,15 m a 0,30 m, conforme modelo de Van Genuchten (1980), com utilização do software SWRC (Dourado Neto et al., 2001), para latossolo vermelho distroférico manejado no sistema plantio direto em Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.....	43
Tabela 3.3.	Umidades para as tensões de interesse e coeficientes de ajuste das curvas de retenção, segundo o modelo de Van Genuchten (1980), para as profundidades de 0 m a 0,15 m e 0,15 m a 0,30 m.....	43
Tabela 3.4.	Valores da capacidade de água disponível no solo (CAD), água facilmente disponível no solo (AFD) e a reserva de água disponível crítica do solo (RADc), para as camadas de 0 m a 0,15 m, 0,15 m a 0,30 m e o total na camada de 0 m a 0,30 m.....	44
Tabela 3.5.	Características físicas do solo da área experimental, para a profundidade de 0 m a 0,20 m. Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.....	45
Tabela 3.6.	Características químicas do solo da área experimental, para as profundidades de 0 m a 0,20 m. Santo Antônio de Goiás, Goiás, 200.....	45
Tabela 3.7	Umidade do solo e água armazenada antes do plantio e na ocasião da colheita do experimento, para as profundidades de 0 m a 0,20 m, 0,20 m a 0,40 m e 0,40 m a 0,60 m.....	46
Tabela 3.8.	Identificação e caracterização dos tratamentos empregados no experimento.....	47
Tabela 3.9	Coefficiente de cultura do feijoeiro cultivar Aporé cultivado no sistema plantio direto.....	52
Tabela 3.10.	Esquema da análise de variância realizada com os dados obtidos no experimento.....	55
Tabela 3.11.	Duração em dias dos estádios do ciclo fenológico do feijoeiro irrigado, cultivar BRS Supremo, semeado no início de julho e evapotranspiração média diária da cultura estimada pelos métodos do tanque Classe A e Penman-Monteith. Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.....	59
Tabela 3.12.	Número de irrigações e lâminas aplicadas com manejo pelos métodos de tensiometria, tanque Classe A e Penman-Monteith, e precipitações pluviais efetivas recebidas pelo feijoeiro em cada estágio fenológico da cultura. Cultivar BRS Supremo semeado no início de julho. Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.....	61
Tabela 3.13.	Taxa média da variação na tensão de água no solo em valores absolutos (kPa d ⁻¹) nas parcelas manejadas com o tratamento tensiômetro e curva de retenção TE+CR em cada estágio do ciclo fenológico do feijoeiro irrigado, cultivar BRS Supremo, semeado no início de julho em Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.....	68

Tabela 3.14.	Resultado da análise de variância para as médias de produtividade de grãos do feijoeiro em kg ha ⁻¹ , percentagem em relação ao tratamento mais produtivo e lâminas totais de água recebidas pelas parcelas de cada tratamento por irrigação e precipitação pluvial em Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.....	72
Tabela 3.15.	Resultado da análise de variância para as médias do número de vagens por planta e de grãos por vagem obtidos com aplicação das lâminas totais de água estimadas por três métodos de manejo da irrigação em Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.....	77
Tabela 3.16.	Resultado da análise de variância para as médias de massa de 100 grãos obtidas em função das lâminas totais de água recebidas pelas parcelas de cada tratamento por irrigação e precipitação pluvial em Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.....	80
Tabela 3.17.	Resultado da análise de variância para as médias de altura da planta obtidas em função das lâminas totais de água recebidas pelas parcelas de cada tratamento por irrigação e precipitação pluvial em Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.....	81
Tabela 3.18.	Resultado da análise de variância para as médias de eficiência do uso da água obtidas com base nas produtividades alcançadas com as lâminas totais de água recebidas pelas parcelas de cada tratamento por irrigação e precipitação pluvial em Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.....	83
Tabela 4.1.	Valores de coeficiente do tanque propostos por Doorenbos & Pruitt (1977), em função da velocidade do vento, umidade relativa média do ar e do meio circundante ao tanque.....	90
Tabela 4.2.	Classificação das correlações de acordo com o coeficiente de correlação (r).....	93
Tabela 4.3.	Critérios de interpretação do coeficiente de confiança “c” dos métodos de estimativa da ET ₀	94
Tabela 4.4.	Análise estatística para avaliação dos métodos de estimativa e cálculo do coeficiente do tanque (Kp) para determinação da evapotranspiração de referência diária (ET ₀) pelo método do tanque Classe A, no período anual, em Santo Antônio de Goiás, Goiás.....	97
Tabela 4.5.	Coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), e classificação do desempenho dos métodos de determinação do Kp para estimativa diária da ET ₀ pelo método do tanque Classe A, no período anual, em Santo Antônio de Goiás, Goiás, conforme proposto por Hopkins (2002) e por Camargo & Sentelhas (1997).....	99
Tabela 4.6.	Análise estatística para avaliação dos métodos de estimativa e cálculo do coeficiente do tanque (Kp) para determinação da evapotranspiração de referência diária (ET ₀) pelo método do tanque Classe A, no período seco, em Santo Antônio de Goiás, Goiás.....	102
Tabela 4.7.	Coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), e classificação do desempenho dos métodos de determinação do Kp para estimativa diária da ET ₀ pelo método do tanque Classe A, no período seco, em Santo Antônio de Goiás, Goiás, conforme proposto por Hopkins (2002) e Camargo & Sentelhas (1997).....	103

Tabela 4.8.	Análise estatística para avaliação dos métodos de estimativa e cálculo do coeficiente do tanque (K_p) para determinação da evapotranspiração de referência diária (ET_0) pelo método do tanque Classe A, no período chuvoso, em Santo Antônio de Goiás, Goiás.....	106
Tabela 4.9.	Coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), e classificação do desempenho dos métodos de determinação do K_p para estimativa diária da ET_0 pelo método do tanque Classe A, no período chuvoso, conforme proposto por Hopkins (2002) e Camargo & Sentelhas (1997).....	107

LISTA DE ANEXOS

Anexo A.	Tabela da análise de variância da produtividade de grãos do feijoeiro, cultivar BRS Supremo, obtida com o manejo da irrigação pelos métodos da tensiometria, tanque Classe A e Penman-Monteith.....	124
Anexo B.	Tabela da análise de variância do número de vagens por planta, obtidos com o manejo da irrigação pelos métodos da tensiometria, tanque Classe A e Penman-Monteith.....	124
Anexo C.	Tabela da análise de variância do número de grãos por vagem do feijoeiro, cultivar BRS Supremo, obtidos com o manejo da irrigação pelos métodos da tensiometria, tanque Classe A e Penman-Monteith.....	124
Anexo D.	Tabela da análise de variância da massa de 100 grãos, obtidas com o manejo da irrigação pelos métodos da tensiometria, tanque Classe A e Penman-Monteith.....	125
Anexo E.	Tabela da análise de variância da altura da planta do feijoeiro, cultivar BRS Supremo, obtida com o manejo da irrigação pelos métodos da tensiometria, tanque Classe A e Penman-Monteith.....	125
Anexo F.	Tabela da análise de variância da eficiência do uso da água, obtidas com o manejo da irrigação pelos métodos da tensiometria, tanque Classe A e Penman-Monteith.....	125

RESUMO GERAL

CUNHA, P. C. R. **Manejo da irrigação do feijoeiro cultivado em plantio direto no sistema integração lavoura-pecuária**. 2009. 125 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal)—Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.¹

A água está se tornando um recurso cada vez mais escasso, com importância estratégica crescente nos setores ambiental, econômico, social e político. A agricultura irrigada é responsável por considerável parcela da produção agrícola, entretanto, é a atividade que mais demanda água. Nos cultivos irrigados, um dos fatores mais importantes é a determinação das lâminas de água para reposição das perdas ocorridas em função da evapotranspiração, com consequente melhora da eficiência produtiva. Dentro deste contexto torna-se evidente a necessidade de gerenciamento da água aplicada pela irrigação. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de três métodos de manejo da irrigação no feijoeiro cultivado em plantio direto no sistema integração lavoura-pecuária; os métodos foram avaliados quanto à estimativa da evapotranspiração, lâminas e frequência de irrigação, produtividade de grãos e seus componentes. Também se avaliou nos períodos anual, seco e chuvoso, o desempenho de métodos de determinação do coeficiente do tanque Classe A (K_p), e ainda, a possibilidade de adoção de um valor fixo para tal variável. A avaliação foi feita com base na evapotranspiração estimada com tanque Classe A usando os coeficientes avaliados e a estimada pelo método padrão Penman-Monteith (FAO 56). O trabalho foi conduzido na área experimental da Fazenda Capivara da Embrapa Arroz e Feijão em Santo Antônio de Goiás, Goiás, Brasil. Na avaliação dos métodos de manejo utilizou-se o feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. BRS Supremo; os métodos avaliados foram tensiometria, tanque Classe A e Penman-Monteith. Houve diferenças significativas quanto à produtividade, número de grãos por vagem e altura da planta em relação aos métodos de manejo, tendo o tanque Classe A propiciado a obtenção de maiores produtividades, em decorrência da maior lâmina total, e das maiores frequências de irrigação. O manejo por tensiometria ocasionou redução de 40% na demanda total de água do feijoeiro, porém, com reduções significativas na produtividade. O tanque Classe A estimou lâminas maiores e da tensiometria lâminas menores em relação às lâminas totais estimadas pelo método padrão FAO 56 Penman-Monteith. Independente do K_p , o método do tanque Classe A estimou maior evapotranspiração em relação ao método de Penman-Monteith. Para as condições climáticas nas quais se realizou o trabalho, o melhor método de determinação do K_p , para a estimativa da ET_0 no período anual foi o de Pereira et al. (1995). Para o período seco foi o proposto por Cuenca (1989). No período chuvoso todos os métodos apresentaram baixos desempenhos, no entanto, o método de Pereira et al. (1995) mostrou-se mais eficiente. Observou-se que o método do tanque Classe A não é eficiente para estimar a ET_0 no período chuvoso. As análises mostraram que a adoção de um K_p fixo e constante em 0,70 resultou em elevado desempenho, principalmente nos períodos anual e seco.

Palavras-chave: Feijão, necessidades hídricas, evapotranspiração, *Phaseolus vulgaris* L., coeficientes do tanque Classe A.

¹Orientador: Prof. Dr. Jorge Luiz do Nascimento. EA-UFG.

Co-orientadores: Pesq. Dr. Pedro Marques da Silveira. Embrapa Arroz e Feijão.
Prof. Dr. José Alves Júnior. EA-UFG.

GENERAL ABSTRACT

CUNHA, P. C. R. **Irrigation management of no-tillage common bean crop in farming-livestock system**. 2009. 125 f. Dissertation (Master's degree in Agronomy: Crop Science) –College of Agriculture and Food Engineer, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.¹

The water is becoming a resource more and more scarce, with growing strategic importance in the sections environmental, economical, social and political. The irrigated agriculture is responsible for considerable portion of the agricultural production, however, it is the activity that more it demands water. In the irrigated areas, one of the most important factors is the determination of the water levels for replacement of the losses happened in function of the evapotranspiration, with consequent it gets better of the productive efficiency. Inside of this context he becomes evident the need of administration of the applied water for the irrigation. The objective of this work was to evaluate the acting of three irrigation management methods in beans crop cultivated in direct planting in the system integration farming-cattle; the methods were appraised as for the estimate of the evapotranspiration, levels and irrigation frequency, productivity of grains and their components. It was also evaluated in the periods annual, dry and rainy season, the acting of methods of determination of the coefficient of the class A pan (K_p), and still, the possibility of adoption of a fixed value for such variable. The evaluation was made within the dear evapotranspiração with class A pan using the appraised coefficients and the dear for the standard method Penman-Monteith (FAO 56). The work was driven in the experimental area of Capivara farm, Rice and Beans Research Center in Santo Antônio de Goiás, Goiás State, Brazil. In the evaluation of the irrigation management methods the common bean crop was used (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. BRS Supremo; the appraised methods were tensiometry, class A pan and Penman-Monteith. There were significant differences as for the productivity, number of grains for plant and height of plants in relation to the irrigation management methods, tends the class A pan propitiated the obtaining of larger yield, due to the largest total water, and of the largest irrigation frequencies, the management for tensiometry caused reduction of 40% in the total demand of water of the beans crop, however, with significant reductions in the productivity, tends the class A pan overestimated and of the underestimated tensiometry the total water esteemed by the standard method FAO 56 Penman-Monteith. Independent of K_p , the method of the class A pan overestimated the evapotranspiration obtained with Penman-Monteith. For the climatic conditions in which he took place the work, the best method of determination of K_p , for the estimate of ET_0 in the annual period was it of Pereira et al. (1995). For the dry season it was it proposed by Cuenca (1989). In the rainy season all of the methods presented low acting, however, Pereira et al. (1995) method it was shown more efficient. It was observed that the method of the class A pan is not efficient to esteem ET_0 in the rainy season. The analyses showed that the adoption of a fixed and constant K_p in 0,70 showed in high acting, mainly in the annual and dry seasons.

Key words: Beans, water requirement, evapotranspiration, *Phaseolus vulgaris* L., coefficients class A pan.

¹ Adviser: Prof. Dr. Jorge Luiz do Nascimento. College of Agriculture and Food Engineer-UFG.
Co-advisers: Pesq. Dr. Pedro Marques da Silveira. Embrapa-Rice and Beans Research Center.
Prof. Dr. José Alves Júnior. College of Agriculture and Food Engineer-UFG.

A cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) se destaca como um dos cult de maior importância no Brasil, pois o feijão é um produto agrícola extremamente apreciado pelos brasileiros, está inserido nos costumes culinários da nação e é considerado como um alimento básico, sendo uma das principais fontes de proteínas na dieta da população.

Com relação às regiões onde o feijão é cultivado, o cerrado merece destaque, pois, conforme colocado por Kluthcouski (1998), graças aos atributos climáticos favoráveis do bioma, é possível o uso intensivo do solo durante todo o ano, na maioria das sub-regiões, desde que se proceda a irrigação durante o período de inverno, o que proporciona estabilidade da produção agrícola. O cerrado brasileiro apresenta alto potencial para a produção agropecuária e, nos últimos anos, tem elevado significativamente sua participação na produção nacional de alimentos e matérias primas.

Na safra 2007/2008 foram produzidas 3336100 toneladas de feijão em 4083000 hectares cultivados nas três safras, portanto, a atual produtividade média brasileira, considerando as três safras, é de 817 kg ha⁻¹, que é considerada baixa. A chamada safra de inverno é responsável por 774200 toneladas de grãos de feijão (25% da produção nacional), numa área plantada de 823900 hectares (21% da área plantada), com produtividade média maior que a média das três safras (940 kg ha⁻¹). Entretanto, ainda é considerada baixa (Conab, 2007).

1 INTRODUÇÃO GERAL

Dentre os tratos culturais e tecnologias disponíveis ao produtor de feijão, a irrigação, desde que bem manejada, se apresenta como uma alternativa viável para a substancial melhoria da produtividade. Conforme colocado por Rezende et al. (2004), com o uso intenso de tecnologia, principalmente da irrigação, tem-se obtido normalmente na época de plantio de inverno, produtividades em torno de 3600 kg ha⁻¹. Silveira & Stone (1998) ressaltam que com o plantio em áreas irrigadas é possível fornecer água no momento correto e na quantidade ideal, de maneira que sejam atendidas as exigências hídricas da cultura durante todo o ciclo. A água de irrigação deve atender a exigência

hídrica da planta, que varia, principalmente, com o sistema de cultivo, condições climáticas do local, época de semeadura, cultivar e estádios de desenvolvimento da planta.

A avaliação de sistemas de cultivo e de técnicas de manejo, que potencializem a produção da cultura com o emprego de uma técnica como a irrigação, nos dias atuais, assume considerável importância devido à escassez de recursos hídricos e pelo fato da agricultura irrigada ser um dos setores que mais demandam água. Poucos estudos, porém, atentam para o efeito do manejo do solo sobre a eficiência do uso da água, principalmente em culturas como o feijoeiro. Neste sentido, cabe destacar que são escassas informações relacionadas ao manejo da irrigação do feijoeiro cultivado no sistema integração lavoura-pecuária.

Para um eficiente manejo da água, é necessário conhecer as necessidades hídricas das culturas irrigadas durante seu ciclo. A estimativa dessa necessidade é baseada na evapotranspiração de referência (ET_0) do local, multiplicados pelo coeficiente da cultura para cada estágio de desenvolvimento da planta (Allen et al., 1998).

São vários os métodos para estimar a quantidade de água requerida por uma cultura, como o tanque Classe A, o método da tensiometria e o manejo pelo modelo de Penman-Monteith. Os métodos do tanque Classe A e da tensiometria são considerados simples, de fácil aplicação e com custo relativamente baixo, são de fácil adoção por produtores quando comparados ao método de Penman-Monteith.

O tanque Classe A é um método que não necessita de maiores conhecimentos para executá-lo; o tanque pode ser instalado próximo à área de cultivo, e seus resultados integram variáveis meteorológicas e da cultura. A ET_0 é estimada multiplicando-se os valores diários da evaporação do tanque (ECA) por um coeficiente do tanque (K_p), dado em função do tamanho e do tipo da bordadura ao redor do tanque, da velocidade do vento e da umidade relativa do ar. Existem vários métodos para calcular o K_p , Sentelhas & Folegatti (2003) alertaram para a necessidade de calibração e avaliação do desempenho desses métodos nas localidades onde serão aplicados.

Quanto ao manejo por tensiometria, medidas da tensão de água no solo têm sido consideradas como melhor alternativa para avaliação indireta da deficiência hídrica de uma cultura (Heermann et al., 1990). Nesse caso, o tensiômetro tem sido apontado como instrumento preciso e simples para estabelecer o momento da irrigação e, indiretamente, para determinar a quantidade de água necessária para reposição no solo, no momento da irrigação (Silveira & Stone, 1994b). A tensiometria apresenta-se como método eficiente,

principalmente por efetuar medidas baseadas nas condições do solo, não necessitando da obtenção de dados meteorológicos, às vezes indisponíveis.

Tais dados meteorológicos são indispensáveis para aplicação do modelo de Penman-Monteith; este é o método mais utilizado para estimativa da ET_0 , e é recomendado pela FAO como método padrão. No entanto, sua aplicação não é tão simples como o tanque Classe A e a tensiometria, pois necessita de maior número de dados obtidos de estações meteorológicas. Tais equipamentos são de custo elevado e exigem operadores qualificados.

O manejo da irrigação constitui na escolha correta do método de aplicação de água e no estabelecimento de critérios para determinação da necessidade hídrica das culturas, o que irá resultar em níveis satisfatórios de produtividade (Wutke et al., 2000a). No entanto, muitos produtores ainda não se preocupam com o manejo adequado da água no solo, sendo a quantidade de água aplicada determinada com base na experiência individual e empírica, resultando em valores que podem proporcionar lâminas inadequadas.

Para English & Raja (1996), lâminas de água excessivas, além de onerarem o custo de produção, também são prejudiciais por reduzirem o rendimento da cultura. Por outro lado, lâminas insuficientes expõem a cultura a condições de deficiência hídrica, reduzindo seu potencial produtivo.

Diante da importância de estudos capazes de gerar informações sobre as necessidades hídricas e manejo da irrigação do feijoeiro BRS Supremo cultivado no sistema integração lavoura-pecuária, desenvolveu-se este trabalho com o objetivo de avaliar o desempenho de três métodos de manejo. Estudaram-se os efeitos de diferentes níveis de reposição de água no solo, propiciados pelos métodos nos diferentes estádios fenológicos da cultura, nos componentes e na produtividade do feijoeiro. Objetivou-se também avaliar o desempenho de métodos de estimativa do K_p e o uso de um valor fixo e constante (0,70) na estimativa da ET_0 diária, a partir da evaporação do tanque Classe A.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO FEIJOEIRO

O feijoeiro comum pertence à família Fabaceae, gênero *Phaseolus*, espécie *Phaseolus vulgaris* L. Possui um sistema radicular ramificado, no qual a raiz principal (pivotante) salienta-se por seu diâmetro e posição oposta ao caule. Após a emergência desenvolvem-se as raízes secundárias. A amplitude do sistema radicular varia segundo as condições físicas do solo, tais como estrutura, porosidade, aeração, capacidade de retenção de água e temperatura, entre outras (Fancelli & Dourado Neto, 1997).

Aproximadamente 90% das raízes concentram-se em uma faixa de solo com profundidade de 20 cm, o que pode resultar em problemas de déficits hídricos, nutricionais e de acamamento. O caule é o eixo principal da parte aérea da planta e tem origem a partir do meristema apical do embrião, situado no ápice do epicótilo. Acima das folhas primárias o caule desenvolve-se de forma dinâmica e ascendente, originando uma sucessão de nós e entrenós. As folhas se apresentam em dois tipos: simples e compostas. As únicas folhas simples são as primárias, já presentes no embrião e as demais folhas do feijoeiro são compostas e são características desta espécie, inserindo-se nos nós do caule e das ramificações. O fruto é um legume (Araújo et al., 1996).

Conforme Fancelli & Dourado Neto (1997), as fases de desenvolvimento na cultura do feijão não apresentam nítida separação, principalmente quando consideradas plantas de hábito de crescimento indeterminado, constatando-se sobreposições representadas pela possibilidade de emissões simultâneas de folhas, flores e vagens. Esse fato deve ser considerado por ocasião da elaboração de recomendações técnicas e de manejo. A duração das etapas de desenvolvimento do feijoeiro pode ser afetada por alguns fatores, dentre os quais merecem destaque o genótipo, o qual determina o hábito de crescimento e precocidade das plantas, o clima e as condições de fertilidade do solo. Na Tabela 2.1 são resumidas as fases e estádios fenológicos do ciclo cultural do feijoeiro.

Tabela 2.1. Resumo das fases e estádios fenológicos de desenvolvimento do feijoeiro comum.

Fases	Estádios	Características	Início do Estádio/Descrição
Vegetativa	V0	Germinação	Semeadura/Absorção de água, emissão da radícula, transformação raiz primária.
	V1	Emergência	Cotilédones de 50% das plantas ao nível do solo/Desenvolvimento epicótilo.
	V2	Folhas primárias	Folhas primárias de 50% das plantas estão desdobradas/Expansão das folhas.
	V3	Primeiro trifólio	Abertura da primeira folha trifoliolada em 50% das plantas/Abertura primeiro trifólio, surgimento do segundo.
	V4	Terceiro trifólio	Abertura da terceira folha trifoliolada em 50% das plantas/Abertura terceiro trifólio e formação ramos nas gemas e nós inferiores.
Reprodutiva	R5	Pré-floração	Aparecem os primeiros botões florais em 50% das plantas/Aparecimento primeiro botão floral e primeiro racemo.
	R6	Floração	Abertura da primeira flor em 50% das plantas/Florescimento das plantas.
	R7	Formação das vagens	Aparecimento das primeiras vagens em 50% das plantas ao murchar a corola/Aparecimento da primeira vagem até 2,5 cm de comprimento.
	R8	Enchimento das vagens	Primeiras vagens cheias de grãos em 50% das plantas/Crescimento da semente.
	R9	Maturação fisiológica	Modificação da cor das vagens em 50% das plantas/Vagens perdem pigmentação e começam a secar, grãos com cor típica da variedade.

Fonte: Adaptado de Fernandez et al. (1985) e Fancelli & Dourado Neto (1997).

Esses mesmos autores mencionam que o estágio R9 é caracterizado pela mudança da cor das vagens, amarela ou pigmentada, de acordo com a cultivar. Os grãos adquirem sua cor e brilho final e o processo de senescência da planta se acelera. A evolução normal dessa etapa exige ausência ou baixa disponibilidade de água.

Entre os legumes de grãos comestíveis é a espécie que apresenta a mais ampla distribuição geográfica, sendo atualmente cultivada em todos os continentes, em regiões com amplitude térmica entre 10°C e 35°C. A maior parte da produção de feijão, todavia, é procedente de microrregiões com temperaturas médias variando de 17°C a 25°C, faixa térmica considerada ótima para a espécie (Portes, 1996).

Nas regiões aptas ao cultivo, a época de semeadura deve ser determinada para que a floração ocorra, preferencialmente, quando a temperatura ambiente for próxima a

21°C. Na fase de intenso crescimento vegetativo o calor excessivo aumenta a fotorrespiração reduzindo a taxa de crescimento das plantas, principalmente se acompanhado de seca. No período compreendido entre a diferenciação dos botões florais até o enchimento dos grãos nas vagens, as temperaturas elevadas causam redução nos componentes de rendimento, notadamente no número de vagens por planta, devido à esterilização do grão de pólen e a conseqüente queda de flores. A taxa de abscisão de flores e vagens pequenas é uma das maiores limitações no rendimento do feijoeiro e pode atingir índices elevados quando temperaturas diurnas e noturnas forem superiores a 30°C e 25°C, respectivamente. A ocorrência de temperaturas inferiores a 15°C na fase vegetativa retarda o crescimento das plantas; quando estas ocorrem na diferenciação das estruturas reprodutivas, provocam, em alguns casos, redução no número de grãos por vagem (Stone & Silveira, 2001).

A luz é imprescindível ao processo fotossintético de assimilação do dióxido de carbono, o qual juntamente com a água e os nutrientes, formam as substâncias de reserva das plantas. Nas condições tropicais a intensidade luminosa não constitui fator limitante, exceto quando ocorrem períodos de intensa nebulosidade, que reduzem a taxa fotossintética e, conseqüentemente, o crescimento das plantas (Araújo et al., 1996).

2.2 NECESSIDADES HÍDRICAS DO FEIJOEIRO

Sabe-se que o uso eficiente da água pelas culturas agrícolas depende, 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. Todas as plantas exigem quantidades relativamente elevadas de água para a produção de matéria seca; uma cultura de feijão, por exemplo, requer cerca de 1750 kg de água para a produção de 1 kg de matéria seca de grãos (Doorenbos et al., 1979).

A instabilidade climática afeta o feijoeiro em quase todas as regiões produtoras do Brasil, com períodos de excessos e de deficiência hídrica, o que provoca grande oscilação na produção nacional de feijão. Esta é uma cultura sensível à deficiência hídrica, sendo que em regiões com distribuição irregular das precipitações pluviais, o emprego de irrigação é essencial (Guimarães et al., 1996b).

Conforme colocado por Doorenbos & Kassam (1979), Gallegos & Adams (1991) e Calvache & Reichardt (1996) devido ao curto período do ciclo do feijoeiro,

pequenos períodos de seca podem afetar severamente seu crescimento. De acordo com o ciclo, que é de 60 a 120 dias, a cultura requer de 300 mm a 500 mm de água, dependendo do clima.

Para Fancelli (1987), a cultura do feijoeiro exige um mínimo de 250 mm de água, sendo muito mais importante a sua distribuição do que a disponibilidade total, refletindo, principalmente, nos períodos considerados críticos quanto à exigência de água: emergência, início do florescimento e formação de vagens.

2.2.1 Períodos críticos

A determinação do período mais crítico do feijoeiro à deficiência hídrica é importante para a definição do nível operacional do sistema. Magalhães & Millar (1978) verificaram que é possível usar o período de maior resposta à deficiência hídrica para gerar a relação entre rendimento relativo e potencial matricial do solo, a qual é de importância para a definição do nível operacional do manejo da irrigação.

A maior ou menor disponibilidade de água e nutrientes no solo, associada às variações meteorológicas, afetam o feijoeiro ao longo do seu ciclo, no que se relaciona à fenologia e aos componentes do rendimento. Em termos de resposta à deficiência hídrica, o feijoeiro tem demonstrado ser altamente sensível no sub-período de prefloração ao início da formação de vagens e também durante o enchimento de grãos e em menor escala no crescimento vegetativo (Amorim Neto et al., 1995). Segundo Doorenbos & Kassam (1979), para o feijoeiro os períodos críticos, durante os quais a deficiência hídrica causa decréscimos na produção, já estão bem determinados (V0/V1, R6 e R8).

Segundo Calvache et al. (1997a), a floração é o estágio mais sensível à deficiência hídrica. Para Magalhães et al. (1979), o sub-período do início da floração à plena floração, ocorrido aos 31 dias após a emergência para a cultivar “IPA-74-79”, é a fase mais crítica do feijoeiro à deficiência hídrica. Entretanto, Oliveira (1991) considerou como período crítico o intervalo entre 30 a 60 dias após a emergência, para ciclo de 90 dias e 35 e 65 dias para ciclo de 95 dias. Magalhães et al. (1979) concluíram que para obter um rendimento de ao menos 80% do rendimento potencial, não pode faltar água para a cultura no período que se estende desde antes do início da floração (quatro dias antes da plena floração) até a plena frutificação (18 dias após a plena floração).

Robins & Domingo (1956) constataram que a diminuição no rendimento acentuava-se quando a deficiência hídrica ocorria durante intervalos curtos a partir da floração. De fato, Fageria et al. (1997) afirmaram que a fase da planta mais sensível à deficiência de água é a reprodutiva, sendo altamente vulnerável desde o início da floração até o início da formação das vagens. O período mais crítico do feijoeiro coincide com o período de maior consumo de água pela planta. Para Matzenauer et al. (1991), o maior consumo de água médio diário para o feijoeiro ocorre durante o sub-período compreendido entre o início do florescimento ao início do enchimento de grãos, em função do maior índice de área foliar e da maior atividade fotossintética. De fato, outros trabalhos demonstraram que os maiores valores de evapotranspiração máxima para o feijoeiro ocorrem nos estádios de florescimento e de enchimento de vagens (Bergamaschi et al., 1989; Calvache et al., 1997b).

Oliveira (1987) em trabalho com déficit aplicado em diferentes fases do ciclo da cultura do feijoeiro, observou que a produção de matéria seca total é extremamente sensível à ocorrência de estresse na fase de crescimento das plantas. Detectou ainda, que, dentre os componentes de produção, o número de vagens por planta foi o mais afetado pela falta de água no solo, principalmente quando esta ocorreu na fase de frutificação. Este autor não encontrou alteração no tamanho dos grãos em função de déficit hídrico.

Garrido et al. (1979) verificaram que o déficit de umidade ocorrido no início e no final da floração, ou no início de formação e no crescimento das vagens provocou, respectivamente, reduções de 16%, 42% e 58% na produção, em relação ao cultivo sem déficit hídrico. Para Norman et al., (1995) a produtividade é mais afetada quando o estresse hídrico ocorre dos cinco a dez dias antes da antese, podendo haver uma diminuição superior a 50% no rendimento. Para Kramer & Boyer (1995) esse efeito é causado principalmente pela baixa taxa de polinização e pelo aborto de óvulos, que causam abscisão dos órgãos reprodutivos, resultante do decréscimo na translocação de fotoassimilados das folhas para as flores.

Fornecer água à cultura de forma que atenda suas necessidades hídricas nas diversas fases do ciclo é fundamental para alcançar bons níveis de produtividade, visto que 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 (Silveira & Stone, 1998).

Nesse sentido, Guimarães (1998) constatou que durante a fase vegetativa do desenvolvimento do feijoeiro, o déficit hídrico tem efeito indireto no rendimento de grãos, pela redução da área foliar das plantas. Se o déficit ocorrer durante a floração, provoca abortamento e queda das flores, com redução do número de vagens por planta; se ocorrer no enchimento de grãos, prejudica a formação dos grãos ou reduz sua massa. Para Portes (1996), no feijoeiro a principal fonte de fotoassimilados para a formação de grãos é obtida durante o período pós-florescimento e durante o crescimento das vagens. Diante de resultados que comprovam a necessidade de fornecer água à cultura, no momento e na quantidade correta, é fundamental que atenção especial seja dada às formas de manejar as necessidades hídricas da cultura, supridas pela irrigação.

2.2.2 Déficit e excesso hídrico

O feijoeiro tem seu rendimento bastante afetado pela condição hídrica do solo. De forma que a falta ou o excesso de água, nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura, são capazes de causar reduções na produtividade em diferentes proporções (Stone & Silveira, 2001).

A tolerância ao déficit hídrico é uma característica muito importante em qualquer cultivo. Dessa forma, é imperativo o conhecimento da resposta de diferentes cultivares ao déficit hídrico nos períodos fenológicos de maior demanda de água, a fim de se adequar o planejamento das culturas, assim como o eficiente manejo dos sistemas de irrigação (Libardi, 1998).

Stone & Silveira (2001) mencionam que o feijoeiro é considerado pouco tolerante ao déficit hídrico severo e a falta de água constitui um dos principais fatores limitantes ao rendimento da cultura, principalmente quando ocorre na fase reprodutiva da planta. Deficiência hídrica moderada na fase vegetativa inicial causa pequena redução no rendimento, porém, estresse hídrico prolongado nas semanas que antecedem a floração restringe o crescimento vegetativo, causando reduções consideráveis na produção de grãos. A fase de desenvolvimento mais sensível ao déficit hídrico, no entanto, situa-se entre a formação dos botões florais (estádio R5) e o enchimento dos grãos nas vagens (R7). Neste período são determinados, sequencialmente, os componentes de rendimento: número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa unitária do grão.

Quando as necessidades hídricas do feijoeiro não são satisfeitas, o rendimento se reduz a um valor dependente da etapa fenológica em que o déficit de água acontece. Quando o déficit ocorre na fase vegetativa, por exemplo, o efeito sobre o crescimento é menor, enquanto que na etapa de pré-floração e enchimento de vagens, a planta é muito sensível à falta de água no solo (Gallegos & Adams, 1991; Calvache & Reichardt, 1996).

Cabe destacar que embora a fase reprodutiva seja a mais sensível ao estresse hídrico, o déficit na fase vegetativa também é prejudicial (Maurer et al., 1969; Miranda & Belmar, 1977). Maurer et al. (1969) verificaram que plantas de feijão submetidas a estresse hídrico intenso na fase vegetativa recuperaram-se quando irrigadas adequadamente do início da floração em diante, embora não tenham produzido tão bem quanto aquelas que não sofreram déficit hídrico.

Doorenbos & Kassam (1979) analisaram vários experimentos realizados no mundo, com feijoeiro; os autores notaram que um déficit hídrico de 50% na etapa vegetativa provoca uma redução de rendimento de apenas 10%. O mesmo déficit na floração reduz a produção em 55%, e durante o enchimento das vagens, em 38%. No entanto, o déficit durante a maturação reduz o rendimento em apenas 10%. Daí a necessidade de manejo da irrigação.

Sakai et al. (1987) estudaram o efeito do déficit hídrico sobre o comportamento estomático e a temperatura das folhas do feijoeiro, e observaram que plantas sob déficit hídrico apresentaram maiores valores de resistência estomática e temperatura foliar. Segundo Bergamaschi et al. (1988), além do efeito direto da resistência estomática à difusão de vapor de água de plantas de feijoeiro submetidas à deficiência hídrica, ocorre também diminuição da fotossíntese causada pelo aumento da temperatura da folha e conseqüente fechamento estomático, ocasionado pelo déficit hídrico, tornando escassa a disponibilidade de fotossintatos para o enchimento das vagens.

Os efeitos do déficit hídrico iniciam-se quando a taxa de evapotranspiração supera a taxa de absorção de água pelas raízes e sua transmissão para a parte aérea da planta. O déficit hídrico está associado, portanto, a uma redução progressiva da água no solo, que acompanha a profundidade radicular. Quanto maior a redução, mais severo o déficit. Deve-se levar em consideração também que, independente da magnitude do estresse hídrico, cultivares de feijão respondem de forma diferenciada ao déficit de água no solo (Doorenbos & Kassam, 1979).

No que se refere ao excesso de água, o feijoeiro é considerado sensível ao excesso de umidade no solo (Silva, 1982; Stone & Silveira, 2001). Silva (1982) trabalhou com várias frequências e tempos de inundação, constatou que períodos de inundação superiores a dois dias tiveram efeito prejudicial significativo sobre a área foliar durante o período vegetativo do feijoeiro e que a inundação na floração é muito prejudicial ao rendimento. O componente de rendimento mais afetado foi o número de vagens por planta.

O aumento da resistência ao movimento de água através das raízes, a diminuição da absorção de nutrientes, o aumento da concentração de substâncias tóxicas na planta e a diminuição do crescimento e do potencial de água na folha são outros aspectos negativos que ocorrem quando há excesso de água. Além disso, há o favorecimento a incidência de doenças radiculares (Fancelli & Dourado Neto, 1997).

O excesso de água no solo provoca redução da absorção de potássio e da nitrificação, aumento da lixiviação de nitratos, e redução da absorção de nutrientes (Power, 1990). Veen (1981) estimou que a respiração para absorção iônica e para processos de transporte representava, aproximadamente, 60% do total da respiração radicular. Assim, uma redução da aeração do solo por excesso de água aplicada provocará redução da absorção de nutrientes.

Diante dos resultados apresentados, torna-se evidente a necessidade de conhecer as exigências hídricas do feijoeiro nos seus estádios do ciclo fenológico, de forma que, sobretudo em locais em que a atividade de produção de feijão é diretamente determinada pela prática da irrigação, seja possível fornecer água às plantas na quantidade adequada para cada fase, evitando expor a cultura a condições de estresse ou de excesso hídrico.

2.2.3 Sistema de cultivo e consumo de água pelo feijoeiro

A busca de uma agricultura sustentável por meio da utilização de sistemas agrícolas que, além do aumento de rendimentos e produção econômica imediata, consideram também a questão da estabilidade ecológica, vem promovendo profundas alterações na atividade agrícola (Pereira et al., 2002).

Neste contexto, o sistema plantio direto, desde que bem conduzido, pode proporcionar sustentabilidade aos diferentes sistemas agrícolas regionais, possibilitando inclusive a integração lavoura-pecuária (Balbino et al., 1996).

Dentro do sistema integração lavoura-pecuária, o feijão é a principal cultura nos cultivos irrigados por aspersão durante a entressafra, outono-inverno, na região Centro-Oeste. Essa região vem apresentando expressivo crescimento na produção de feijão irrigado, porém, tem-se constatado que os sistemas agrícolas irrigados ainda enfrentam algumas dificuldades, principalmente relacionadas à falta de controle da irrigação (Urchei et al., 2000).

O cultivo no inverno do feijão irrigado, em áreas de integração lavoura-pecuária, é favorecido devido à excelente cobertura morta proporcionada pela forrageira. Isto porque o sistema plantio direto depende de fontes eficientes de cobertura morta, capazes de proteger plenamente a superfície do solo e ter longevidade adequada. Nesse sentido, a palhada das espécies do gênero *Brachiaria* tem atendido a esses dois quesitos, produzindo mais de 15 t ha⁻¹ de biomassa seca, quando corretamente manejada e persistindo por mais de seis meses na superfície do solo (Cobucci, 2001).

O consórcio de culturas produtoras de grãos e forrageiras tropicais é possível, graças ao diferencial de tempo e espaço, no acúmulo de biomassa entre as espécies (Kluthcouski et al., 2003). De acordo com Jakelaitis et al. (2004), a competição existente pode inviabilizar o cultivo consorciado. Porém, o conhecimento do comportamento das plantas pela competição por fatores de produção, torna-se de grande importância para o êxito na formação da pastagem no período de outono-inverno, e para a produção satisfatória da cultura produtora de grãos.

No sistema de integração lavoura-pecuária, ocorre uma consorciação no cultivo de verão, normalmente milho com forrageira, uma braquiária. A forrageira tem a função de fornecer alimento para a exploração pecuária, a partir do final do verão até início da primavera e, posteriormente, formação de palhada para o cultivo da cultura produtora de grãos, em sistema plantio direto. Uma das alternativas é o cultivo do feijão de inverno, irrigado por pivô central. Esse sistema pode vir a ser uma alternativa para o agricultor ou agropecuarista, visto que, em muitas regiões do Brasil, o cultivo de safrinha tem apresentado insucesso, face à baixa disponibilidade hídrica e irregularidade na precipitação pluvial no período outono-inverno (Borghi & Crusciol, 2007). Nesse sistema observa-se incremento na produção de biomassa seca total, no índice de área foliar, na taxa de crescimento da cultura, taxa de crescimento relativo, taxa assimilatória líquida e na duração da área foliar (Urchei et al., 2000).

A espécie produtora de palha exerce grande influência no rendimento de grãos do feijoeiro (Oliveira et al., 2002). A cobertura do solo com capins do gênero *Brachiaria* pode ser utilizada com êxito para o plantio direto de feijão; maiores quantidades dessas coberturas podem propiciar melhor desenvolvimento do feijoeiro e aumentar a produtividade (Lolatto et al., 2002); e reduzir a incidência de doenças (Costa & Silveira, 1997). Visto que a cultura do feijoeiro apresenta baixa relação C/N, é de fundamental importância a introdução de espécies, em rotação ou consorciação, que proporcionem cobertura do solo para a viabilização do plantio direto.

Segundo Castro (1995), em áreas sob sistema de preparo convencional, realizado sempre a uma mesma profundidade, é comum formar gradativamente uma camada subsuperficial compactada. Essa camada pode ficar muito densa, o que acarretará diminuição da taxa de infiltração de água e dificuldade na penetração de raízes, o que prejudica o desenvolvimento da planta, por falta ou por excesso de água, e por deficiência na nutrição. O mesmo autor verificou que o solo superficial preparado fica bastante desagregado, sujeito ao selamento por ocasião das chuvas, o que irá impedir uma adequada infiltração; além disso, anos sucessivos de cultivo convencional tendem a reduzir, cada vez mais, a taxa de infiltração da água.

Em geral, os sistemas de preparo que movimentam menos o solo e que mantêm boa quantidade de restos culturais, como o sistema plantio direto, conseguem ampliar o número de agregados maiores (Lucarelli et al., 1998). Isso se deve, segundo Derpsch et al. (1986), ao fato de não haver ação de implementos que removam o solo, que possibilitam manter já no preparo, além de agregados maiores, maior quantidade de matéria orgânica, servindo para melhorar a estabilidade dos próprios agregados e facilitar a infiltração de água. Além disso, o acúmulo de resíduos na superfície, nestes sistemas, ajuda a manter a água no corpo do solo, a diminuir as perdas por evaporação e a aumentar a taxa de infiltração.

A cobertura morta é um dos principais fatores relacionados ao sistema de preparo e manejo do solo, sendo apontada por vários autores como responsável pela maior produtividade do feijoeiro sob plantio direto. Esta propicia menores valores de lâminas de irrigação e menor variação ao longo do ciclo da tensão matricial da água no solo, em comparação aos demais sistemas (Stone & Silveira, 1999; Urchei et al., 2000; Nascimento et al., 2001). Isso se dá mesmo que a área esteja, pela primeira vez, sob esse sistema de preparo, como observado por Urchei et al. (2000).

Vários trabalhos demonstram maior produtividade do feijoeiro e economia de água de irrigação no plantio direto, em relação ao plantio convencional (Galvão et al., 1981; Stone & Silveira, 1999; Silva et al., 2001). Castro et al. (1987) constataram a eficiência desse sistema no aumento da água disponível, sugerindo que outras pesquisas devam ser realizadas para determinar a melhor combinação de práticas que levam ao aumento de eficiência do uso da água.

Nascimento et al. (2001) observaram que a demanda total de água do feijoeiro cultivado no sistema plantio direto foi menor em relação ao cultivado no sistema de plantio convencional. Com manejo da irrigação por tensiometria, em plantio convencional a cultura demandou 325,4 mm, enquanto que em plantio direto a demanda foi de 260,3 mm, o que representou uma redução de 20% do total de água aplicado no sistema de plantio convencional. A demanda total de água do feijoeiro, estimada com base na evaporação do tanque Classe A, foi 11% e 29% maior que a demanda determinada por tensiometria para os sistemas de plantio convencional e direto, respectivamente.

Dentre os principais fatores relacionados ao sistema de preparo e manejo do solo, está o que vários autores consideram como responsável pela maior eficiência do uso da água do feijoeiro e de outras culturas: a cobertura morta, que propicia menores valores e menor variação ao longo do ciclo da tensão matricial da água no solo, em comparação aos demais sistemas (Azooz & Arshad, 1998). Contudo, o efeito positivo dessa cobertura depende das condições meteorológicas, da quantidade e do tipo de cobertura e mesmo da variedade.

A eficiência da utilização da água pela cultura, ou seja, o consumo de água em relação ao rendimento obtido é um parâmetro de grande importância, sobretudo em locais em que a atividade de produção de feijão é diretamente determinada pela prática da irrigação, refletindo na rentabilidade e na eficiência da produção. Para a cultura do feijoeiro, o valor da eficiência de uso da água, no caso da produção de grãos com umidade de 10%, é da ordem de $0,3 \text{ kg m}^{-3}$ a $0,6 \text{ kg m}^{-3}$ (Doorenbos & Kassam, 1979).

Trabalhos com feijoeiro irrigado, que relacionam sistema de preparo e manejo do solo, têm demonstrado que a presença de cobertura morta também melhora a eficiência do uso da água pelo feijoeiro (Stone & Moreira, 2000), e que esta influência positiva pode variar com a cultivar. A presença de cobertura morta elevou a eficiência do uso da água e biomassa em $0,362 \text{ kg m}^{-3}$ e $0,195 \text{ kg m}^{-3}$ para o feijoeiro submetido a diferentes níveis de irrigação (Barros & Hanks, 1993).

Pelos trabalhos apresentados é possível observar que as necessidades hídricas da cultura do feijoeiro podem ser bastante variáveis com as condições de cultivo, e necessitam ser determinadas com acurácia, para garantir um eficiente e econômico uso da água na produção vegetal.

2.3 IRRIGAÇÃO DO FEIJOEIRO

O feijoeiro é cultivado em muitas regiões do Brasil. O cultivo é realizado em três safras anuais bem definidas: a primeira, de verão, denominada feijão das águas, cuja semeadura concentra-se nos meses de outubro e novembro, normalmente não necessitando de irrigação; a segunda safra, da seca, cuja semeadura se concentra nos meses de fevereiro e março, com necessidade de irrigações suplementares, e a terceira safra, de inverno, cuja semeadura é realizada nos meses de maio a julho, sendo indispensável o uso da irrigação. No cultivo de inverno são obtidas as maiores produtividades da cultura.

Conforme já mencionado, a produtividade da cultura do feijoeiro é função de vários fatores, como qualidade de sementes, cultivar, clima e aspectos físico-químicos do solo. Dentre os fatores climáticos, a precipitação pluvial é uma das principais causas do insucesso na obtenção de altas produtividades. Em regiões nas quais a distribuição de chuvas é irregular, podem ocorrer perdas significativas, principalmente quando a falta ou o excesso de água ocorre na fase mais sensível. Nesses casos a irrigação é uma tecnologia que pode não só reduzir os riscos de insucessos, como também aumentar a produtividade do feijoeiro, e até proporcionar maior número de safras durante o ano (Rezende, 2000).

Quanto ao clima, pelo fato de a maior parte da produção de feijão corresponder ao plantio das águas, há grande dependência da distribuição de chuvas, geralmente muito irregular ou insuficiente, resultando em significativas quedas da produção e no rendimento. Isso é notório quando a insuficiência ocorre em períodos críticos. Consequentemente justifica-se o uso da irrigação como meio de garantir maior produtividade e maior estabilidade na produção de feijão. Todavia irrigações mal conduzidas, com aplicação inadequada de água, podem comprometer o desenvolvimento e a produtividade da cultura, visto que o feijoeiro é considerado sensível à falta ou ao excesso de água. Há necessidade, portanto, de maior conhecimento a respeito do requerimento hídrico do feijoeiro para adequar o manejo da água às necessidades, no intuito de propiciar condições favoráveis para melhores produtividades (Garrido, 1998).

A irrigação é imprescindível para a produção de inverno, pois o feijoeiro é classificado como planta sensível ao estresse hídrico, principalmente em virtude da sua baixa capacidade de recuperação após o déficit e do seu sistema radicular pouco desenvolvido (Guimarães, 1998) e do fato de ter uma baixa capacidade fotossintética (Lopes et al., 1987).

2.3.1 Manejo da irrigação

Dentro do sistema irrigado de produção, o manejo da irrigação contribui significativamente para o sucesso do empreendimento. Muitos sistemas são bem dimensionados e apresentam déficit econômico em função da aplicação inadequada da água, por não considerar critérios de solo, planta e atmosfera que indicam o momento e a lâmina ideal de irrigação. Lâminas excessivas, além de ocasionarem perda de água e energia, também influenciam no processo erosivo da área pelo escoamento superficial. Em contrapartida, lâminas deficitárias podem submeter as plantas a processos de estresse hídrico, que irão refletir em redução da produtividade (Stone & Silveira, 2001).

Para Folegatti et al. (1999), o manejo adequado da irrigação constitui no estabelecimento de critérios para determinação da necessidade hídrica da cultura. Para Fernandes & Turco (2003), a irrigação, para que sejam obtidos resultados positivos, deve ser bem quantificada. Aplicações insuficientes repõem água apenas nas camadas superficiais do solo, não umedecendo toda a zona radicular do feijoeiro, fazendo com que as raízes tornem superficiais e incapazes de explorar o volume de solo disponível. Como consequência, diminui consideravelmente a reserva hídrica útil do solo (Rezende et al., 2004).

Irrigações excessivas acarretam perdas de água e nutrientes pela percolação abaixo da zona radicular, além de favorecer a proliferação de microorganismos patogênicos. Em casos de solos mal drenados com impedimentos à percolação, ocorrerá a saturação ou mesmo o escoamento superficial, levando ao excesso de umidade ou mesmo a perdas de solo (Urchei et al., 2000).

De acordo com Alves Júnior (2006), o manejo da irrigação envolve a tomada de decisão sobre quando irrigar e quanto de água aplicar. Se não houver uma correta definição entre essas duas variáveis, o irrigante estará fazendo o uso ineficiente da água, seja pela aplicação em excesso ou aquém das necessidades da planta. A definição correta

do momento de irrigar, além de proporcionar melhor eficiência no uso da água, terá como consequência aumento na produtividade da cultura.

Para o manejo da água de irrigação se proceder dentro de um critério racional, é necessário o controle diário da umidade do solo, durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura. Para tanto é indispensável o conhecimento de fatores relacionados à planta, ao solo e ao clima; só deste modo pode-se determinar o momento ideal de promover a irrigação e a quantidade de água a ser aplicada (Stone & Silveira, 2001).

Outro quesito importante relacionado ao manejo da irrigação diz respeito à época em que é feita a semeadura do feijoeiro de inverno, pois em condições de ótima disponibilidade de água no solo, a perda de água pela evapotranspiração se dá em função da vegetação e, em sua maior parte, das condições climáticas. Assim, das variáveis meteorológicas, a radiação solar, a temperatura, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento são os principais fatores que irão influenciar na evapotranspiração e, conseqüentemente, na demanda de água de irrigação pelo feijoeiro (Silveira et al., 2001).

Levando em consideração que todos esses fatores variam com a época do ano e considerando a estação da seca, época de semeadura do feijão de inverno, meses de abril a julho, Stone & Silveira (1995) observaram que nesses meses, quanto mais tarde for feita a semeadura, maior será o consumo de água pelo feijoeiro.

De fato Cunha et al. (2007) constataram que comparado à semeadura em julho, com a semeadura nos meses de abril ou maio, é possível reduzir a demanda total de água de irrigação em até 100 mm. Quando comparadas as demandas totais do feijoeiro semeado em maio, com aquele semeado em junho houve economia de 550 m³ de água ha⁻¹ durante um ciclo. Esses autores observaram que se considerarmos dois mil pivôs centrais em Goiás (área média de 60 ha cada), esse valor corresponde a 66 milhões de m³ de água perdidos, água esta, suficiente para abastecer uma cidade de novecentos mil habitantes durante todo um ano (200 litros de água por pessoa dia). Essa perda, quando extrapolada para energia elétrica, corresponde um total de 280,5 Mwh (considerando que para aplicar 1 mm de água no feijoeiro são consumidos 4,25 Kwh). Esta água usada desnecessariamente seria suficiente para incrementar a área irrigada de feijão sob pivô central em Goiás em 13,7%. Se considerarmos toda a região Centro-Oeste, aproximadamente cinco mil pivôs centrais, essa perda de água e energia seria 2,5 vezes maior.

Com o manejo correto da água, estes insumos podem ser economizados, diminuindo o custo total de produção da cultura e aumentando a lucratividade para o

produtor. Diante desses resultados, torna-se inquestionável a importância do manejo da irrigação no intuito de propiciar o seu uso eficiente, sempre com o objetivo de uso racional da água e energia elétrica, buscando a máxima sustentabilidade possível dos recursos naturais.

2.3.2 Métodos de manejo da irrigação

Existem vários e diferenciados métodos de manejo da irrigação do feijoeiro, tanto no que se refere ao momento de irrigar, quanto à quantidade de água a ser aplicada. O método do tanque Classe A e a tensiometria com a curva de retenção de água do solo têm sido os mais usados no controle da irrigação.

Em 1990, os métodos recomendados pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) em 1977, no boletim número 24, foram submetidos a uma revisão feita por especialistas em evapotranspiração, que chegaram à conclusão que o método de Penman-Monteith, parametrizado para grama com 12 cm de altura, resistência aerodinâmica da superfície de 70 s m^{-1} e albedo de 0,23, apresentava melhores resultados, passando a ser recomendado pela FAO como método padrão para estimativa da ET_0 (Smith et al., 1990).

Lopes et al. (2004) compararam os métodos do balanço hídrico climatológico com uso do tanque Classe A e tensiometria empregados no sistema de plantio convencional e plantio sem revolvimento do solo. Os autores concluíram que ambos os métodos são passíveis de serem adotados por produtores e técnicos com nível médio de tecnologia e conhecimento, ressaltando que o tensiômetro foi capaz de demonstrar melhor as condições hídricas do solo na região do sistema radicular do feijoeiro. Esses autores observaram que o manejo por tensiometria resultou em economia de água de 15 %, sem que a produção fosse afetada, sendo que entre os sistemas de cultivo não foram verificadas diferenças significativas de produtividade.

Dessa forma, em áreas onde o cultivo do feijoeiro é praticado em diferentes sistemas agrícolas, como comumente acontece nos cerrados da região central do Brasil, esperam-se também diferentes respostas dessa cultura às lâminas diferenciadas de irrigação. Conforme observado por Garrido et al. (2000), que trabalharam com três lâminas de irrigação para a cultura do feijoeiro variando doses de nitrogênio para diferentes cultivares, a irrigação afeta a taxa de crescimento, a área foliar, o acúmulo de

matéria seca e a absorção de nutrientes. As aplicações de lâminas para suprir o consumo de água do feijoeiro propiciaram maior área foliar, maior acúmulo de matéria seca e maior taxa de absorção de nutrientes. Observaram ainda que o excesso de água é mais prejudicial que o déficit. Silveira et al. (1984) encontraram as maiores produções com lâmina de água constante para todo o ciclo de 6 mm d^{-1} , correspondente a uma demanda total de 411 mm por ciclo, e a menor com lâmina constante de 2 mm d^{-1} , 173 mm por ciclo.

Com o manejo é possível atender as necessidades hídricas da cultura, sendo possível aplicar a lâmina adequada no momento correto. Trabalhos com lâminas de irrigação demonstram as variações de resposta da cultura ao fornecimento de diferentes lâminas. Jadoski et al. (2003) trabalharam com lâminas críticas de 15 mm, 30 mm, 45 mm e 60 mm para todo o ciclo de desenvolvimento da cultura, estimadas pelo método do tanque Classe A na região sul do Brasil, visando à maximização do rendimento de grãos do feijoeiro e dos componentes da produtividade. Os resultados demonstraram que a máxima eficiência técnica para o número de grãos por vagem, massa de mil grãos e rendimento de grãos foi obtida com a aplicação de lâminas críticas de irrigação durante todo o ciclo de 26 mm, 37 mm e 33 mm, respectivamente. Isto indica a ocorrência de uma relação de compensação entre os componentes do rendimento massa de mil grãos e número de grãos por vagem. Esses autores definiram o emprego da lâmina de irrigação de aproximadamente 30 mm, como a melhor lâmina crítica para maximizar o rendimento de grãos e o índice de área foliar ativo.

Outros trabalhos com o manejo da irrigação pela tensão de água no solo, como é o caso de Millar & Choudhury (1980), que trabalharam com tensiômetros instalados a 0,20 m e 0,40 m de profundidade entre as linhas de cultivo, observaram que 80% a 90% do potencial de produção da cultura do feijoeiro são obtidos com um manejo de irrigação, no qual se fornece água ao solo quando o mesmo apresenta potencial matricial de 170 kPa a 17 kPa, respectivamente. Ainda nesse sentido, Frizzone (1986), estudou o efeito da lâmina de água sobre o rendimento de grãos e componentes de produtividade do feijoeiro, e verificou que o máximo rendimento relativo de grãos foi obtido no regime de irrigação com a tensão de 19 kPa, correspondendo a uma frequência de irrigação de aproximadamente seis dias.

Stansell & Smittle (1980) encontraram uma redução da produção de 41% e 48%, quando a irrigação foi aplicada a 50 kPa e 75 kPa, respectivamente, em comparação à irrigação a 25 kPa. A redução do uso da água pela cultura foi proporcionalmente menor

que o decréscimo da produtividade, resultando em eficiência do uso da água de 0,62 t de grãos cm^{-1} de água, 0,45 t de grãos cm^{-1} de água e 0,4 t de grãos cm^{-1} de água, para os tratamentos de irrigação com 25 kPa, 50 kPa e 75 kPa. A produtividade de grãos foi reduzida quando as plantas foram submetidas a tensões de 75 kPa, durante os períodos de pré-floração, floração e formação das vagens.

Em trabalho realizado por Chieppe Júnior et al. (2000) foram avaliados os métodos da tensiometria, tanque Classe A e curva característica de água do solo de forma combinada, sendo o momento de irrigar estabelecido pela tensão de água no solo, determinada pelos tensiômetros instalados a 0,15 m e 0,30 m de profundidade, e a lâmina a ser aplicada estimada com base na evapotranspiração acumulada do tanque, e pela água disponível determinada pela curva característica de retenção de água. Verificou-se que nas condições em que o trabalho foi realizado, as tensões de água no solo de 30 kPa em todo o ciclo, 60 kPa em todo o ciclo e, 60 kPa na fase vegetativa e 30 kPa na fase reprodutiva não afetaram significativamente o índice de área foliar e a matéria seca total. Nesse trabalho os métodos de manejo não foram estudados de forma isolada, por estarem condicionados à tensão de água no solo para o momento da irrigação. Espera-se que a aplicação dos métodos de manejo da irrigação, de forma independente, possibilite a obtenção de resultados que possam demonstrar efetivamente a eficiência de cada método.

Desta forma, o conhecimento das respostas da cultura a diferentes métodos de manejo da irrigação permitirá estabelecer métodos de manejo adequados para as condições de cultivo de inverno nos Cerrados, em termos de praticidade e eficiência no uso racional do sistema, de forma a fornecer água às plantas, visando maximizar o seu rendimento e melhorar o aproveitamento da água.

2.3.3 Coeficiente do tanque Classe A

A evapotranspiração de referência (ET_0) pode ser estimada por métodos diretos e indiretos, sendo o método do tanque Classe A um dos métodos indiretos mais utilizados, inclusive no Brasil. O método integra na medida da evaporação de uma superfície de água livre os efeitos da radiação solar, velocidade do vento, temperatura e da umidade relativa do ar do local em que o tanque está instalado (Bernardo et al., 2005). Tais variáveis são integradas por meio do coeficiente do tanque (K_p).

O K_p pode ser obtido por vários métodos (Doorenbos & Pruitt, 1977; Cuenca, 1989; Snyder, 1992; Pereira et al., 1995; Allen et al., 1998; Orang, 1998; Raghuwanshi & Wallender, 1998). Praticamente todos estes métodos baseiam-se na velocidade do vento, umidade relativa e no tipo e extensão da bordadura em volta do tanque para determinar o K_p . Existe ainda a possibilidade de adoção de um valor fixo e constante. No entanto, torna-se evidente a necessidade de que tais métodos sejam avaliados nas condições climáticas nas quais serão aplicados, pois muitos foram desenvolvidos para condições climáticas específicas, sendo que, alguns deles podem apresentar desempenho insatisfatório se adotado sem prévias avaliações.

Sentelhas e Folegatti (2003) observaram que o método de Cuenca (1989) apresentou-se como mais eficiente para cálculo do K_p em Piracicaba, São Paulo, tendo estes também verificado alta eficiência do método proposto por Pereira et al. (1995). A adoção de um K_p fixo em 0,71 também se mostrou como uma boa alternativa para converter ECA em ET_0 . No entanto, os autores alertam para a necessidade de determinação local do valor fixado. O método proposto por Cuenca (1989) também apresentou melhor desempenho no trabalho de Mendonça et al. (2006); o autor trabalhou com dados de três anos, tendo comparado a ET_0 diária estimada pela ECA com a do modelo de Penman-Monteith em baixa altitude no norte do Estado do Rio de Janeiro.

Conceição (2002) trabalhou em escala mensal para as condições do noroeste do Estado de São Paulo, sendo que, o método proposto por Snyder (1992) apresentou melhor desempenho naquelas condições. O método proposto por Snyder (1992) também se mostrou com elevado desempenho em condições de clima semiárido na Índia (Gundekar et al., 2008).

Tais resultados evidenciam a necessidade de se avaliar os métodos de estimativa do K_p nas condições locais onde se pretende adotá-los. Diante da escassez de tais informações para a região de Santo Antônio de Goiás, Goiás, parte do presente trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho de métodos de estimativa do K_p , assim como a possibilidade de adoção de um valor fixo para estimativa da ET_0 diária, a partir da evaporação do tanque Classe A sob as condições climáticas da sede da Embrapa Arroz e Feijão, no município de Santo Antônio de Goiás, Goiás, Brasil.

3 MÉTODOS DE MANEJO DA IRRIGAÇÃO NO FEIJOEIRO BRS-SUPREMO CULTIVADO EM PLANTIO DIRETO NO SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido na Fazenda Capivara pertencente a Embrapa Arroz e Feijão (CNPAP), com o objetivo de avaliar os métodos de manejo da irrigação e os efeitos de diferentes regimes hídricos sobre a produtividade e componentes de produção de feijão cultivar BRS Supremo (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado em plantio direto no sistema integração lavoura-pecuária, na região de cerrado. Foram avaliados três métodos de manejo da irrigação do feijoeiro: (T1) manejo por tensiometria e curva característica de retenção de água do solo; (T2) manejo da irrigação com tanque Classe A utilizando coeficiente do tanque (Kp) proposto por Snyder (1992) e coeficiente de cultura para plantio direto proposto por Stone & Silva (1999); (T3) evapotranspiração de referência obtida pelo método padrão Penman-Monteith FAO 56 e coeficiente de cultura para plantio direto de Stone & Silva (1999). Avaliou-se a produtividade de grãos, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de 100 grãos, altura da planta, lâmina total de água consumida e eficiência de uso da água. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado com nove repetições. O método do tanque Classe A propiciou a maior lâmina acumulada e a maior frequência de irrigação, tendo superado em 14,5% a lâmina total estimada pelo método de Penman-Monteith. A lâmina total estimada com o método da tensiometria foi 29,7% e 17,8% menor que a estimada pelo método do tanque Classe A e de Penman-Monteith, respectivamente. Os resultados demonstraram que houve diferenças significativas quanto à produtividade de grãos, número de grãos por vagem e altura da planta. O método do tanque Classe A propiciou a obtenção de maiores produtividades, enquanto o método da tensiometria levou a economia de água de irrigação, havendo, no entanto, redução da produtividade. Para as condições onde o trabalho foi realizado, o método do tanque Classe A mostra bons resultados quando se pretende irrigar a cultura sem restrição hídrica. Em condições de alta demanda atmosférica a aplicação de maiores lâminas e em maior frequência leva a incrementos na produtividade do feijoeiro.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., evapotranspiração, necessidades hídricas.

ABSTRACT

METHODS OF MANAGEMENT IRRIGATION BEAN CROP OF NO-TILLAGE BRS-SUPREMO CULTIVATED IN FARMING-LIVESTOCK SYSTEM

This work was developed in Capivara Farm in Embrapa Rice and Bean Research Center with the objective of evaluating the methods of handling of the irrigation and the effects of different irrigation level on the productivity and components of production of BRS Supremo bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivated of no-tillage cultivated in farming-livestock system, in the savannah area. They were appraised three methods of management irrigation bean crop: (T1) management for tensiometry and characteristic curve of retention of water in the soil; (T2) management of the irrigation with class A pan using pan coefficient (Kp) proposed by Snyder (1992) and crop coefficient for no-tillage proposed by Stone & Silva (1999); (T3) reference evapotranspiration obtained by the standard method Penman-Monteith FAO 56 and crop coefficient for no-tillage of Stone & Silva (1999). The productivity of grains, number of grains for plant, number of grains for berry, weight of 100 grains, height of plants, total level of consumed water and efficiency of use of the water was evaluated. The experimental designer was used randomized entirely with nine replications. The method of the class A pan propitiated A the largest accumulated sheet and the largest irrigation frequency, having overestimated in 14,5% the total irrigation level esteemed by the method of Penman-Monteith. The method of the tensiometry underestimated in 29,7% and 17,8% the total irrigation level esteemed by the class A pan and of Penman-Monteith, respectively. The results demonstrated that there were significant differences as for the productivity of grains, number of grains for berry and height of plants. The method of the class A pan propitiated the obtaining of larger productivities, while the method of the tensiometry took the economy of irrigation water, having, however, reduction of the productivity. For the conditions where the work was accomplished, the method of the class A pan display good results when it intend to irrigate the crop without water stress. In conditions of high atmospheric demand the application of larger irrigation level and in larger frequency it takes to increments in the productivity of the beans crop.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., evapotranspiration, water requirement.

3.1 INTRODUÇÃO

A principal utilização da água ocorre na irrigação, sendo essa responsável por cerca de 70% do total consumido no mundo (Unesco, 2003) e por 64,7% do consumo de água no Brasil (Tucci et al., 2001), com previsões futuras de aumentar esse consumo em face de demanda de alimentos e de uma população cada vez mais crescente.

A necessidade de se produzir com qualidade e em maior quantidade, exige da comunidade científica novos conhecimentos sobre as reais necessidades hídricas das culturas. Faz-se necessária a adoção de métodos de manejo da irrigação, visando aplicar água na quantidade e no momento certo, objetivando primeiramente a diminuição dos impactos ambientais negativos sobre o recurso natural água, de forma a proporcionar o seu uso eficiente com a utilização de métodos ou técnicas mais apropriadas, daí a necessidade

de estudos das variáveis meteorológicas que quantificam as necessidades hídricas das plantas (Reis et al., 2007).

É notória a importância do feijão como alimento para os brasileiros, Yokoyama (1999) salientou ser o feijão um componente quase obrigatório na dieta da população rural e urbana, com um consumo per capita de 13,8 quilogramas. No entanto, observa-se a necessidade de melhorias nos sistemas produtivos, visto que a média de produtividade do feijoeiro irrigado, cultivado no inverno é baixa, em torno de 1662 kg ha⁻¹ (Soares et al., 1999). Para Silveira & Moreira (1990), melhores rendimentos podem ser alcançados com adoção de níveis tecnológicos mais apropriados pelos produtores, podendo a produtividade ultrapassar 3000 kg ha⁻¹.

No entanto, sabe-se que no Brasil o feijoeiro é cultivado sobretudo por pequenos e médios produtores, sem o uso de irrigação; segundo Singh (1995) em mais de 60% do seu cultivo observa-se deficiência hídrica em algum estágio da cultura. Lâminas de água inadequadas expõem a cultura a condições de deficiência ou excesso hídrico, o que provoca reduções na produtividade. O conhecimento das respostas da cultura a diferentes níveis de manejo da irrigação permite a racionalização do sistema, o que possibilita fornecer água às plantas de forma a potencializar o seu rendimento e melhorar o aproveitamento da água. Moreira et al. (1996) ressaltou que o requerimento hídrico do feijoeiro é variável, sendo influenciado por fatores como época e local de semeadura, variedade, condições edafoclimáticas e estágio de desenvolvimento.

De acordo com Doorenbos & Kassam (1979), a necessidade de água do feijoeiro com ciclo de 60 dias a 120 dias varia entre 300 mm a 500 mm para obtenção de alta produtividade. Entretanto, têm sido relatados consumos inferiores (Fancelli, 1987; Loureiro et al., 1990; Valadão & Klar, 1996).

Durante as fases de desenvolvimento fenológico, a cultura do feijoeiro possui períodos críticos, durante os quais o suprimento inadequado de água causa alterações no desenvolvimento e reduções na produtividade. Durante a fase vegetativa o déficit hídrico tem efeito indireto no rendimento de grãos. Já na fase reprodutiva, os efeitos do déficit são mais acentuados (Guimarães, 1988).

Uma das principais vantagens do manejo da irrigação a partir da reposição da lâmina de evapotranspiração máxima acumulada da cultura é a possibilidade da determinação do momento e da quantidade de água de irrigação a ser aplicada. Existem vários métodos para estimar a quantidade de água requerida pelo feijoeiro, sendo os mais

acessíveis e de fácil compreensão e aplicação pelos irrigantes, o tanque Classe A e a tensiometria. Tais métodos são caracterizados pela simplicidade de utilização e por apresentarem custo relativamente baixo. Outro método passível de adoção é o de Penman-Monteith, recomendado pela FAO como método padrão, no entanto, exige uma série de dados meteorológicos coletados por estações meteorológicas, nem sempre disponíveis.

O método do tanque Classe A, é de fácil execução, e o tanque pode ser instalado no campo próximo à cultura. Normalmente apresenta valores superestimados da evapotranspiração (Lopes et al., 2004; Nascimento et al., 2001). No entanto, seu desempenho é satisfatório por integrar variáveis meteorológicas e da cultura.

O tensiômetro tem sido indicado como ótimo instrumento para manejo da irrigação do feijoeiro, por integrar a condição do solo; vem sendo apontado como excelente método para estabelecer o momento e a quantidade de água da irrigação (Fernandes, 2008; Silveira & Stone, 1994b).

Diante da importância de estudos capazes de gerar informações sobre as necessidades hídricas e manejo da irrigação do feijoeiro cultivado em novos sistemas de cultivo, como o integração lavoura-pecuária em áreas de plantio direto no cerrado, desenvolveu-se este trabalho com o objetivo de avaliar o desempenho de três métodos de manejo da irrigação do feijoeiro em Santo Antônio de Goiás, Goiás. Avaliaram-se os efeitos de diferentes níveis de irrigação no desenvolvimento e na produtividade do feijoeiro.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Caracterização do local

O experimento foi conduzido na área experimental da Fazenda Capivara, pertencente a Embrapa Arroz e Feijão, situada no município de Santo Antônio de Goiás, Goiás, (latitude: 16° 29' 15,6" S, longitude: 49° 17' 55,2" W, e altitude: 786 m) no período de julho a outubro de 2007.

Segundo a classificação de Köppen, a região apresenta clima Aw, tropical de savana, megatérmico. A temperatura média anual é de 23,0°C, e o mês de julho apresenta a menor média de temperaturas mínimas (14,3°C), enquanto o mês de setembro apresenta a maior média de temperaturas máximas (31,5°C). O total médio anual de insolação é de

2318,9 horas. O regime pluvial é bem definido, ou seja, período chuvoso de outubro a abril e período seco de maio a setembro. A precipitação pluvial média anual é de 1487 mm, e a umidade relativa do ar, média anual, é de 71%, com o mês de agosto apresentando o menor índice (49%). A perda de água por evaporação, média anual, medida pelo tanque Classe A, é da ordem de 1915 mm. Com relação à velocidade do vento, os mais fortes são registrados no mês de agosto (Silva et al., 2007).

Durante a condução do experimento os dados climatológicos foram obtidos diariamente da estação meteorológica automatizada da Embrapa Arroz e Feijão, localizada a 780 m da área experimental.

3.2.2 Descrição da área experimental

O experimento foi conduzido em área irrigada por pivô central; da área total de 25,16 hectares utilizou-se um quadrante, com 6,29 hectares, dividido em três blocos de 2,10 hectares cada, demarcados a partir do centro do pivô.

A área encontrava-se com cobertura de *Brachiaria ruziziensis*; e já vinha sendo manejada por três anos consecutivos no sistema integração lavoura-pecuária, milho em consórcio com *Brachiaria ruziziensis* no verão (Sistema Santa Fé) e feijão no inverno, com pastejo rotacionado no período de entressafra. Na semeadura do milho (híbrido AG 7000) foram semeados 10 kg ha⁻¹ de sementes de braquiária misturados ao adubo (400 kg ha⁻¹ de 04-30-16) e 3 kg ha⁻¹ de sementes da forrageira posicionadas entre as linhas de milho espaçadas 0,90 m. Após trinta dias da colheita do milho foram introduzidos touros jovens da raça nelore, a área foi submetida ao pastejo até o final de junho. Após dessecação do material vegetal com aplicação do herbicida glyphosate (1440 g ha⁻¹ do i.a), realizou-se a semeadura do feijão, cultivar BRS Supremo, mecanicamente em 6/7/2007, no espaçamento de 0,45 m entre linhas e 15 sementes por metro.

As principais características da cultivar de feijão (*P. vulgaris* L.) BRS Supremo, são apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Características principais da cultivar de feijão (*P. vulgaris* L.) BRS Supremo.

Características	Cultivar BRS Supremo
Grupo comercial	Preto
Ciclo (floração)	42 dias
Ciclo (colheita)	86 dias
Porte da planta	Ereto
Cor da flor	Violeta
Cor do grão	Preto
Potencial de produtividade	3370 kg ha ⁻¹

Fonte: Melo et al. (2005).

3.2.3 Características do solo

Para a caracterização físico-hídrica do solo, coletaram-se amostras com estrutura indeformada nas camadas de 0 m a 0,15 m e 0,15 m a 0,30 m de profundidade, considerada a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (Silveira & Stone, 1994b; Pires et al., 2001). Foram feitas três repetições por profundidade em três pontos da área experimental. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Solos da Embrapa Arroz e Feijão para determinação da densidade do solo, conforme metodologia recomendada pela Embrapa (1997).

As curvas características de retenção de água do solo foram elaboradas com o método da centrífuga, conforme descrito por Freitas Júnior & Silva (1984), nas tensões de água correspondentes a 6 kPa, 8 kPa, 10 kPa, 33 kPa, 60 kPa, 100 kPa e 1500 kPa (Embrapa, 1997). As equações das curvas características de retenção de água do solo foram ajustadas conforme Van Genuchten (1980), os coeficientes do ajuste das equações foram obtidos com o auxílio do software SWRC (Soil Water Retention Curve) versão 3.00 (Dourado Neto et al., 2001).

As características físico-hídricas do solo estão apresentadas nas Tabelas 3.2 e 3.3. Os dados da Tabela 3.2 correspondem às equações da curva característica de retenção de água do solo, ajustadas conforme modelo de Van Genuchten (1980) para as camadas de 0 m a 0,15 m e 0,15 m a 0,30 m.

Tabela 3.2. Equações ajustadas da curva característica de retenção de água do solo nas camadas de 0 m a 0,15 m e 0,15m a 0,30 m, conforme modelo de Van Genuchten (1980), com utilização do software SWRC (Dourado Neto et al., 2001), para latossolo vermelho distroférico manejado no sistema plantio direto em Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.

Camada de solo (m)	Equação ajustada (Van Genuchten, 1980)	R ²
0-0,15	$\theta = 0,311 + \frac{(0,453 - 0,311)}{[1 + (0,6295 \cdot \psi_m)^{1,3175}]^{0,2410}}$	0,963
0,15-0,30	$\theta = 0,303 + \frac{(0,434 - 0,303)}{[1 + (0,4922 \cdot \psi_m)^{1,3488}]^{0,2588}}$	0,964

θ : umidade volumétrica (m³ m⁻³); ψ_m : potencial matricial (kPa).

Com as equações ajustadas determinaram-se as umidades com solo saturado (θ_0), na “capacidade de campo” (θ_{cc}), umidade crítica (θ_c), no ponto de murcha permanente (θ_{pmp}), os valores calculados estão apresentados na Tabela 3.3, também são apresentados os coeficientes de ajuste das curvas de retenção, segundo o modelo de Van Genuchten (1980) obtidos com auxílio do software Soil Water Retention Curve, versão 3.00 (Dourado Neto et al., 2001).

Tabela 3.3. Umidades para as tensões de interesse e coeficientes de ajuste das curvas de retenção, segundo o modelo de Van Genuchten (1980), para as profundidades de 0 m a 0,15 m e 0,15 m a 0,30 m.

Profundidade (m)	Umidade do solo (m ³ m ⁻³)				α	m	n
	θ_0^1	θ_{cc}^2	θ_c^3	θ_{pmp}^4			
0-0,15	0,4526	0,4020	0,3650	0,3105	0,6295	0,2410	1,3175
0,15-0,30	0,4340	0,3882	0,3521	0,3025	0,4922	0,2583	1,3483

^{1,2,3,4}tensões de 0 kPa, 6 kPa, 30 kPa e 1500 kPa, respectivamente.

A massa específica média do solo nas camadas de 0 m a 0,15 m e 0,15 m a 0,30 m, obtida com método da Embrapa (1997), foi de 1,46 g cm⁻³ e 1,48 g cm⁻³, respectivamente.

Com os valores das umidades obtidos com a curva, calculou-se a capacidade de água disponível no solo (CAD, em mm), a água facilmente disponível no solo (AFD, em mm) e a reserva de água disponível crítica do solo (RADc, em mm). Foram calculadas, respectivamente, pelas equações 3.1, 3.2 e 3.3.

$$CAD = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) \times Z \quad (3.1)$$

$$AFD = (\theta_{cc} - \theta_c) \times Z \quad (3.2)$$

$$RAD_c = CAD - AFD \quad (3.3)$$

em que:

θ_{cc} : umidade de solo na “capacidade de campo” para a tensão matricial de 6 kPa, $m^3 m^{-3}$;

θ_c : umidade crítica do solo para a cultura do feijoeiro, $m^3 m^{-3}$, o valor da tensão matricial crítica (T_c) adotada foi de 30 kPa a 35 kPa, média das três baterias de tensiômetros instalados a 0,15 m de profundidade (Silveira & Stone, 1994b; Guimarães et al., 1996a, 1996b; Moreira et al., 1998);

θ_{pmp} : umidade do solo no ponto de murcha permanente, $m^3 m^{-3}$, tensão de 1500 kPa; e

Z: profundidade efetiva do sistema radicular do feijoeiro, 300 mm.

A capacidade de água disponível no solo (CAD), a água facilmente disponível no solo (AFD) e a reserva de água disponível crítica do solo (RADc), para as camadas de 0 m a 0,15 m, 0,15 m a 0,30 m e o total na camada de 0 m a 0,30 m, encontram-se na Tabela 3.4.

Tabela 3.4. Valores da capacidade de água disponível no solo (CAD), água facilmente disponível no solo (AFD) e a reserva de água disponível crítica do solo (RADc), para as camadas de 0 m a 0,15 m, 0,15 m a 0,30 m e o total na camada de 0 m a 0,30 m.

Profundidade (m)	CAD	AFD (mm)	RAD _c
0-0,15	13,73	5,55	8,18
0,15-0,30	12,86	5,41	7,45
0-0,30	26,59	10,96	15,63

Em todos os tratamentos foi adotada a lâmina de reposição de 10,96 mm, que corresponde à água facilmente disponível, ou seja, a capacidade de armazenamento do solo entre as tensões referentes à “capacidade de campo” e a tensão crítica de 30 kPa.

No Laboratório de Solos da Embrapa Arroz e Feijão foram feitas as análises física e química do solo coletado da camada de 0 m a 0,20 m antes da instalação do experimento. Os resultados das análises são apresentados nas Tabelas 3.5 e 3.6.

Tabela 3.5. Características físicas do solo da área experimental, para a profundidade de 0 m a 0,20 m. Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.

Camada (m)	Areia	Silte (g kg ⁻¹)	Argila	Classe textural
0-0,20	240	270	490	Argiloso*

* Lemos & Santos (1996).

Para determinação da classe textural foi usada a mesma classificação empregada pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Lemos & Santos (1996). O solo predominante é o Latossolo Vermelho distroférico, textura argilosa, fase cerradão subperenifólio, de relevo plano (Silva et al., 2007).

O pH foi determinado em água, a matéria orgânica foi determinada pelo método de Walkley e Black. O Ca e Mg foram extraídos do solo em KCl a 1 N, o P e o K em solução de Mehlich 1 (HCl a 0,5 N + H₂SO₄ a 0,025 N). As análises laboratoriais foram realizadas de acordo com os métodos apresentados pela Embrapa (1997).

Tabela 3.6. Características químicas do solo da área experimental, para a profundidade de 0 m a 0,20 m. Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.

Características	Valores	Características	Valores (g dm ⁻³)	Características	Valores (cmol _c dm ⁻³)
pH em água	5,7	P	21,5	Ca ²⁺	2,05
MO* (g dm ⁻³)	24	K	161	Mg ²⁺	1,04
Fe (g dm ⁻³)	62	Cu	2,2	-	-
Mn (g dm ⁻³)	14	Zn	8,1	-	-

*MO: Matéria orgânica.

A adubação básica nos sulcos de semeadura foi de 400 kg ha⁻¹ da fórmula 04-30-10, realizada levando-se em consideração as características químicas do solo e as recomendações de calagem e adubação de Barbosa Filho & Silva (2000) para feijoeiro irrigado cultivado no cerrado.

Anterior à instalação e na ocasião da colheita do experimento foram feitas amostragens para determinação da umidade do solo. Coletaram-se amostras de solo nas camadas de 0 m a 0,20 m, 0,20 m a 0,40 m e de 0,40 m a 0,60 m de profundidade, três repetições por camada. As amostras foram acondicionadas em latas de alumínio que tiveram sua massa medida previamente, a determinação foi feita através do método da estufa (gravimétrico), as amostras coletadas foram colocadas na estufa a 110°C por 24 horas, em seguida, foi medida a massa das amostras com as latas, a umidade foi determinada ao aplicar a equação 3.4.

$$U = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_2 - m_3)} \quad (3.4)$$

em que:

U: umidade do solo, em (g g⁻¹);

m₁: massa de recipiente com amostra úmida, em g;

m₂: massa de recipiente com amostra seca, em g; e

m₃: massa do recipiente, em g.

A determinação da umidade do solo no momento da colheita possibilitou quantificar a água aplicada que não foi utilizada pela cultura, ou seja, ficou retida no solo após a condução do experimento.

As umidades do solo e o conteúdo de água nas camadas de 0 m a 0,20 m, 0,20 m a 0,40 m e 0,40 m a 0,60 m determinadas antes da instalação e no momento da colheita do experimento encontram-se na Tabela 3.7.

Tabela 3.7. Umidade do solo e água armazenada antes do plantio e na ocasião da colheita do experimento, para as profundidades de 0 m a 0,20 m, 0,20 m a 0,40 m e 0,40 m a 0,60 m.

Camada de solo (m)	Umidade no início (m ³ m ⁻³)	Água disponível* no início (mm)	Umidade do solo na colheita (m ³ m ⁻³)	Água disponível* solo na colheita (mm)
0-0,20	0,334	4,69	0,335	4,90
0,20-0,40	0,320	3,47	0,320	3,47
0,40-0,60	0,316	5,06	0,325	6,81

*Água armazenada entre a umidade no momento da amostragem e a umidade no ponto de murcha permanente, tensão de 1500 kPa, obtido com a curva característica de retenção de água do solo.

É possível observar que no momento da colheita o solo se encontrava com conteúdo de água semelhante ao do início do experimento, com 0,21 mm a mais na camada de 0 m a 0,20 m, apresentou o mesmo conteúdo de água no solo na camada de 0,20 m a 0,40 m, sendo que, a maior variação foi verificada na camada de 0,40 m a 0,60 m, em que o solo apresentou no momento da colheita 1,75 mm a mais de água no solo. Como a profundidade efetiva do sistema radicular do feijoeiro é de 0,30 m, praticamente não houve necessidade de que fossem efetuados descontos nas lâminas aplicadas com os tratamentos. Não houve influência dos tratamentos nas umidades do solo no momento da colheita devido a precipitação de 23 mm ocorrida três dias antes, a precipitação pluvial elevou o solo de todas as parcelas à capacidade de campo, tendo propiciado ainda maior umidade na camada de 0,40 m a 0,60 m, pois a lâmina ultrapassou a capacidade de armazenamento de água do solo e houve percolação para a camada mais profunda.

3.2.4 Delineamento experimental

O delineamento experimental empregado foi o inteiramente casualizado (Chacín Lugo, 1997), com três tratamentos e nove repetições. Na Tabela 3.8 estão apresentadas a identificação e a caracterização dos tratamentos utilizados no experimento. As Figuras 3.1 e 3.2 mostram, respectivamente, o esquema do delineamento experimental e a caracterização e distribuição das parcelas na área experimental.

Tabela 3.8. Identificação e caracterização dos tratamentos empregados no experimento.

Tratamento	Identificação	Caracterização
T1	TE+CR	Manejo da irrigação utilizando tensiômetro (TE) e curva característica de retenção de água do solo (CR).
T2	TA+Kc	Manejo utilizando tanque Classe “A” (TA) e coeficiente de cultura (Kc) recomendados por Stone & Silva (1999).
T3	PM+Kc	Manejo da irrigação utilizando modelo empírico Penman-Monteith (PM) e coeficiente de cultura (Kc) de Stone & Silva (1999).

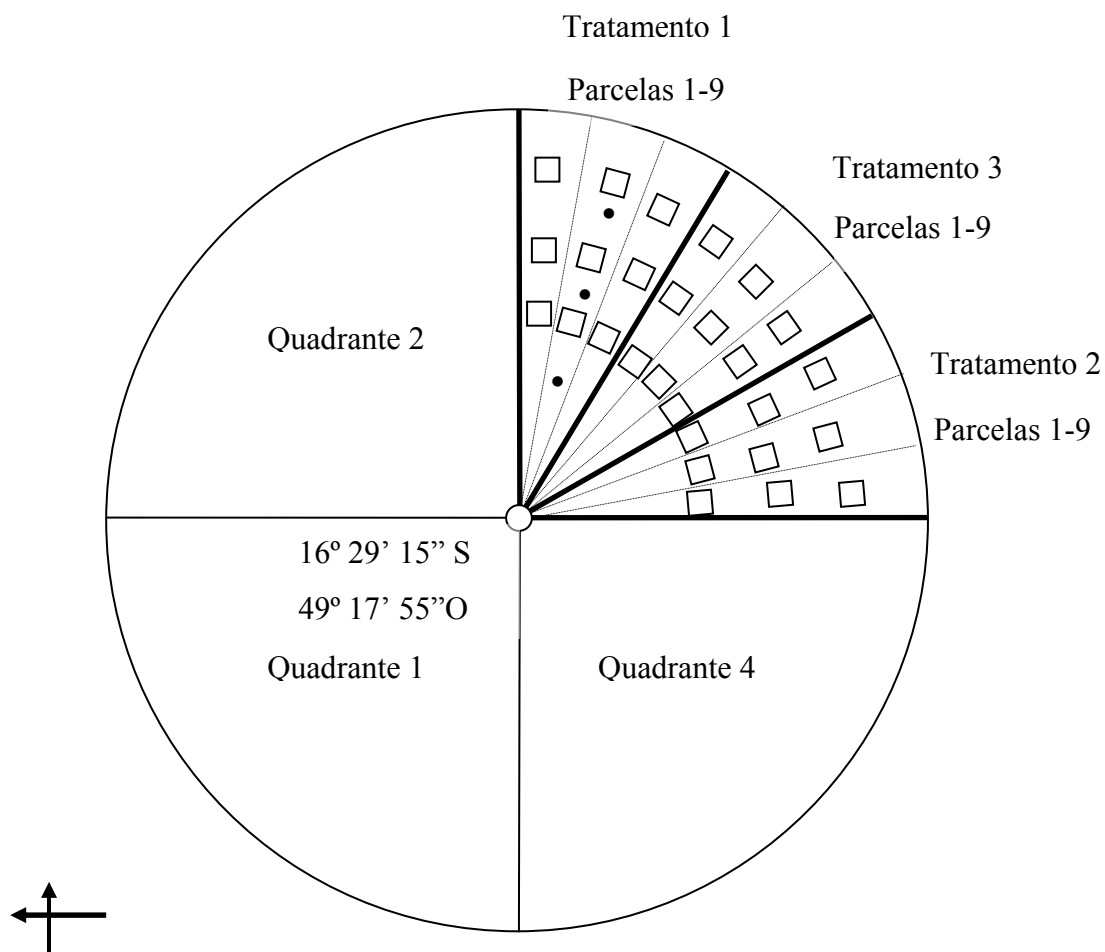


Figura 3.1. Croqui geral com localização do experimento na área do pivô central, distribuição dos blocos na área experimental e das parcelas com os tratamentos (T1, T2 e T3), suas respectivas repetições dentro de cada bloco, e as coordenadas geográficas da área experimental.

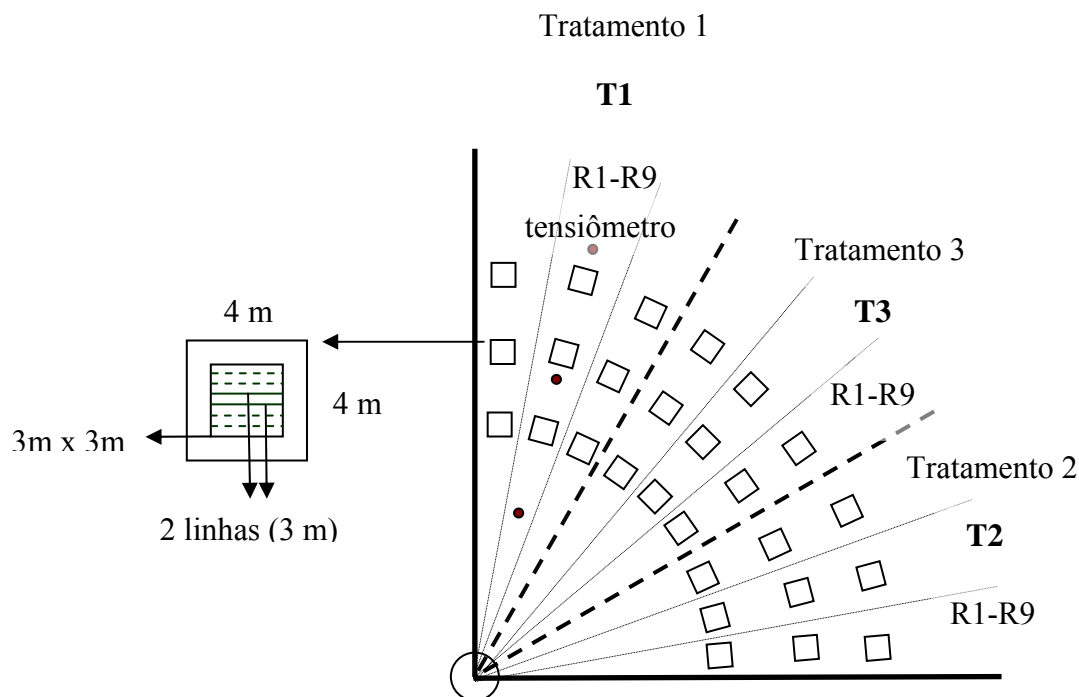


Figura 3.2. Croqui detalhado do quadrante do pivô, com a distribuição dos blocos no quadrante e das parcelas com os tratamentos (T1, T2 e T3) dentro dos blocos, com caracterização do tamanho das parcelas, incluindo a área útil da parcela.

3.2.5 Manejo da irrigação

Para facilitar o manejo da irrigação foi elaborada uma planilha eletrônica no Microsoft *Excel*, que possibilitou a entrada diária de dados climatológicos e do solo e a obtenção direta das lâminas de irrigação.

Antes de iniciar o experimento fez-se a avaliação da uniformidade de aplicação de água do sistema de irrigação pivô central. Foi realizado teste para cálculo do coeficiente de uniformidade de Christiansen CUC, este índice faz uso do desvio médio absoluto, para expressar a dispersão das lâminas (Christiansen, 1942). Na ocasião também foi calculado o coeficiente de uniformidade de distribuição CUD, que analisa a distribuição de água por meio da uniformidade na porção da área irrigada, que recebe menos água (ABNT, 1985).

Os cálculos revelaram um CUC de 89%, e CUD de 83,8%. De acordo com Frizzone & Dourado Neto (2003), o valor mínimo aceitável para o CUC é 85%. Com base em avaliações durante a fase inicial de condução do experimento com o uso de pluviômetros, adotou-se a eficiência de aplicação do equipamento de 85%. Pois, em pivô central, a eficiência de aplicação pode ser considerada igual ao CUD (Keller, 1979).

As lâminas líquidas estimadas pelos métodos de manejo da irrigação, tratamentos TE+CR, TA+Kc e PM+Kc, foram divididas pela eficiência de aplicação do equipamento de irrigação, 85%, sendo convertidas em lâminas brutas e posteriormente aplicadas.

3.2.5.1 Tratamento 1 - Tensiômetro e curva característica de retenção de água do solo

No controle com tensiômetro e curva característica de água do solo, foram colocados aos 17 dias após a semeadura (d.a.s), no final do estágio V2, três baterias compostas por dois tensiômetros, instalados na linha de semeadura, em duas profundidades, a 0,15 m e 0,30 m, lado a lado, posicionados a 4/10, 7/10 e 9/10 do raio do pivô, em linha reta a partir da base (Silveira & Stone, 1994a).

Antes de serem instalados os tensiômetros foram cuidadosamente testados em laboratório para assegurar o perfeito funcionamento dos mesmos.

Durante o desenvolvimento da cultura, as leituras dos tensiômetros foram feitas diariamente, até as nove horas. Foram realizadas irrigações sempre que os tensiômetros instalados a 0,15 m de profundidade acusaram a média de tensões da água no solo entre 30 kPa e 35 kPa, visto que Silveira & Stone (1994a) recomendam irrigar com tensão entre 30 kPa e 40 kPa. Também Guimarães et al. (1996a, 1996b) definem como irrigação adequada ao feijoeiro uma tensão inferior a 35 kPa medida a 0,15 m de profundidade.

Os tensiômetros instalados a 0,15 m foram indicadores do momento de irrigar, enquanto os instalados a 0,30 m serviram para controle das lâminas aplicadas (Saad & Libardi, 1992).

Com o valor da tensão crítica (potencial matricial de água no solo, ψ_m) substituído na equação ajustada da curva característica de retenção de água do solo foi determinada a umidade no momento de irrigar. A lâmina de água a ser aplicada foi calculada empregando-se a equação 3.5, de acordo com a leitura dos tensiômetros no intervalo de tensão estabelecido, procurando sempre elevar a umidade do solo para próximo da “capacidade de campo” (6 kPa).

Determinou-se a água disponível consumida do solo até o dia da irrigação (ADC_i , em mm).

$$ADC_i = (\theta_{cc} - \theta_1) \times Z \quad (3.5)$$

em que:

θ_{cc} : umidade de solo na “capacidade de campo” para a tensão matricial de 6 kPa, $m^3 m^{-3}$;

θ_i : umidade atual do solo no momento da irrigação, $m^3 m^{-3}$; e

Z: profundidade efetiva do sistema radicular do feijoeiro, 300 mm.

Portanto, foram realizadas irrigações no tratamento TE+CR, sempre que a média dos tensiômetros a 0,15 m de profundidade indicou média de tensões iguais ou pouco superiores a 30 kPa. Foram aplicadas as lâmina obtidas com o cálculo da ADC_i, mostrado na equação 3.5.

Considerou-se também, se no dia previsto para irrigação, ou no dia posterior, havia a probabilidade de ocorrência de precipitações iguais ou superiores às lâminas necessárias para elevar o solo à “capacidade de campo”. Os dados de previsão de chuvas para Santo Antônio de Goiás, Goiás, foram obtidos diariamente, por meio de correio eletrônico (ctmail@climatempo.net) e por acesso diário ao site (www.climatempo.com.br).

3.2.5.2 Tratamento 2 - Tanque Classe A e coeficiente de cultura

No tratamento TA+K_c, a lâmina líquida de irrigação (ET_c, em mm d⁻¹) foi estimada conforme mostra a equação 3.6.

$$ET_c = ECA \times K_p \times K_c \quad (3.6)$$

em que:

ECA: evaporação medida no tanque Classe A, mm d⁻¹;

K_p: coeficiente de tanque (adimensional) cujos valores foram calculados segundo Snyder (1992), com base na umidade relativa, velocidade do vento e bordadura que circunda o tanque; e

K_c: coeficiente de cultura para o feijoeiro, recomendados por Stone & Silva (1999), valores apresentados na Tabela 3.9.

O tanque Classe A encontrava-se na estação climatológica da Embrapa Arroz e Feijão, posicionado a 780 m da área experimental. As leituras de evaporação do tanque Classe A assim como as operações de enchimento foram efetuadas sempre às nove horas.

Devido à inexistência de trabalhos com avaliação dos métodos disponíveis para cálculo do K_p nas condições de Santo Antônio de Goiás, Goiás, optou-se pela adoção do método proposto por Snyder (1992). O método de Snyder baseia-se em uma regressão linear múltipla para estimar o coeficiente usando dados meteorológicos diários de velocidade do vento, umidade relativa e tipo e tamanho da área que circunda o tanque. Estas são as mesmas variáveis meteorológicas usadas na obtenção do K_p pelo método baseado na tabela proposta por Doorenbos & Pruitt (1977). Os dados meteorológicos foram obtidos diariamente da estação automatizada, posicionada ao lado do tanque.

Tabela 3.9. Coeficiente de cultura do feijoeiro cultivar Aporé cultivado no sistema plantio direto.

Dias após a emergência	Coeficiente de cultura
0-14	0,49
15-24	0,69
25-34	0,77
35-44	0,90
45-54	1,06
55-64	0,89
65-74	0,74
75-84	0,48
85-94	0,27

Fonte: Stone & Silva (1999).

O momento de irrigação no tratamento TA+Kc foi estabelecido pelo somatório da evapotranspiração da cultura acumulada entre uma irrigação e outra. Foram realizadas irrigações sempre que a lâmina de irrigação atingiu valores próximos a água facilmente disponível (10,96 mm).

3.2.5.3 Tratamento 3 - Modelo de Penman-Monteith e coeficiente de cultura

No tratamento PM+Kc, para o cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith os dados meteorológicos foram obtidos na mesma estação climatológica automatizada. A evapotranspiração de referência foi multiplicada pelos coeficientes de cultura recomendados por Stone & Silva (1999), já apresentados na Tabela 3.10, para ajuste às necessidades hídricas da cultura.

Para o cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith, empregou-se a equação 3.7 apresentada por Allen et al. (1998).

$$ET_{0(PM)} = \frac{0,408s(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u (e_s - e_a)}{s + \gamma(1 + 0,34u)} \quad (3.7)$$

em que:

$ET_{0(PM)}$: evapotranspiração de referência calculada com modelo de Penman-Monteith, mm d⁻¹;

R_n : é o saldo de radiação, MJ m⁻² d⁻¹;

G : fluxo de calor no solo, MJ m⁻² d⁻¹;

s : tangente à curva de pressão de saturação na temperatura do ar, kPa °C⁻¹;

γ : constante psicrométrica, kPa °C⁻¹ (0,063);

T : temperatura média do ar, °C ($T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}}/2$);

u : velocidade do vento a 2 m de altura, m s⁻¹ (estimada com base no vento a 10 m: $u_{(2m)} = u_{(10m)} * 0,748$ (Allen et al., 1998); e

$(e_s - e_a)$: déficit de pressão de vapor, kPa.

Irigaram-se as parcelas do tratamento PM+Kc sempre que os valores acumulados de evapotranspiração da cultura atingiram valores de lâminas líquidas próximos a 10,96 mm, correspondente a água facilmente disponível no solo.

3.2.6 Características avaliadas

Os estádios de desenvolvimento da cultura foram caracterizados segundo critérios propostos por Fernandez et al. (1985), com algumas adaptações contidas em Fancelli & Dourado Neto (1997), já apresentados na Tabela 2.1.

Para avaliar o desempenho dos tratamentos, constituídos dos métodos de manejo da irrigação, assim como o efeito das lâminas diferenciadas de irrigação aplicadas

durante o ciclo do feijoeiro foram avaliados os componentes da produção e a produtividade de grãos do feijoeiro. Para tal avaliou-se:

3.2.6.1 Produtividade de grãos

A produtividade de grãos foi determinada pela colheita de duas linhas com três metros na área útil da parcela. As plantas foram arrancadas e a debulha feita manualmente. Determinou-se a umidade dos grãos, a produtividade foi corrigida para a umidade de 13%, de acordo com as regras para análise de sementes conforme Brasil (1967), expressa em kg ha^{-1} .

3.2.6.2 Número de vagens por planta

Foi determinado pela amostragem ao acaso de dez plantas de cada parcela, fez-se a separação e contagem individual do número de vagens das plantas, calculando-se as médias.

3.2.6.3 Número de grãos por vagem

Nas dez plantas que foram amostradas para a determinação do número de vagens por planta, fez-se a contagem do número total de grãos da planta e dividiu-se pelo número de vagens.

3.2.6.4 Massa de 100 grãos

Dos grãos onde se determinou o número de grãos por vagem foram tomados ao acaso 100 grãos. Fez-se a determinação da massa em balança de precisão decimal, em seguida mediu-se a umidade dos grãos, e foi feita a correção para umidade de 13%.

3.2.6.5 Altura da planta

A altura da planta foi determinada, antes da colheita, em dez plantas de cada parcela, fez-se a medida da altura entre a superfície do solo até a extremidade da haste da planta.

3.2.6.6 Eficiência do uso da água (EUA)

Foi calculada pela razão entre o rendimento de grãos obtido em cada parcela do tratamento e o total acumulado das lâminas aplicadas durante o ciclo da cultura, para cada parcela experimental.

3.2.7 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, na Tabela 3.10 é apresentado o quadro com esquema da análise de variância. Quando obtido resultado significativo, realizou-se análise de regressão para estudo do efeito dos tratamentos constituídos pelas lâminas de água aplicadas com os métodos de manejo. Adotou-se como critério para escolha do modelo, os coeficientes de regressão, significativos a 1% pelo teste F. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

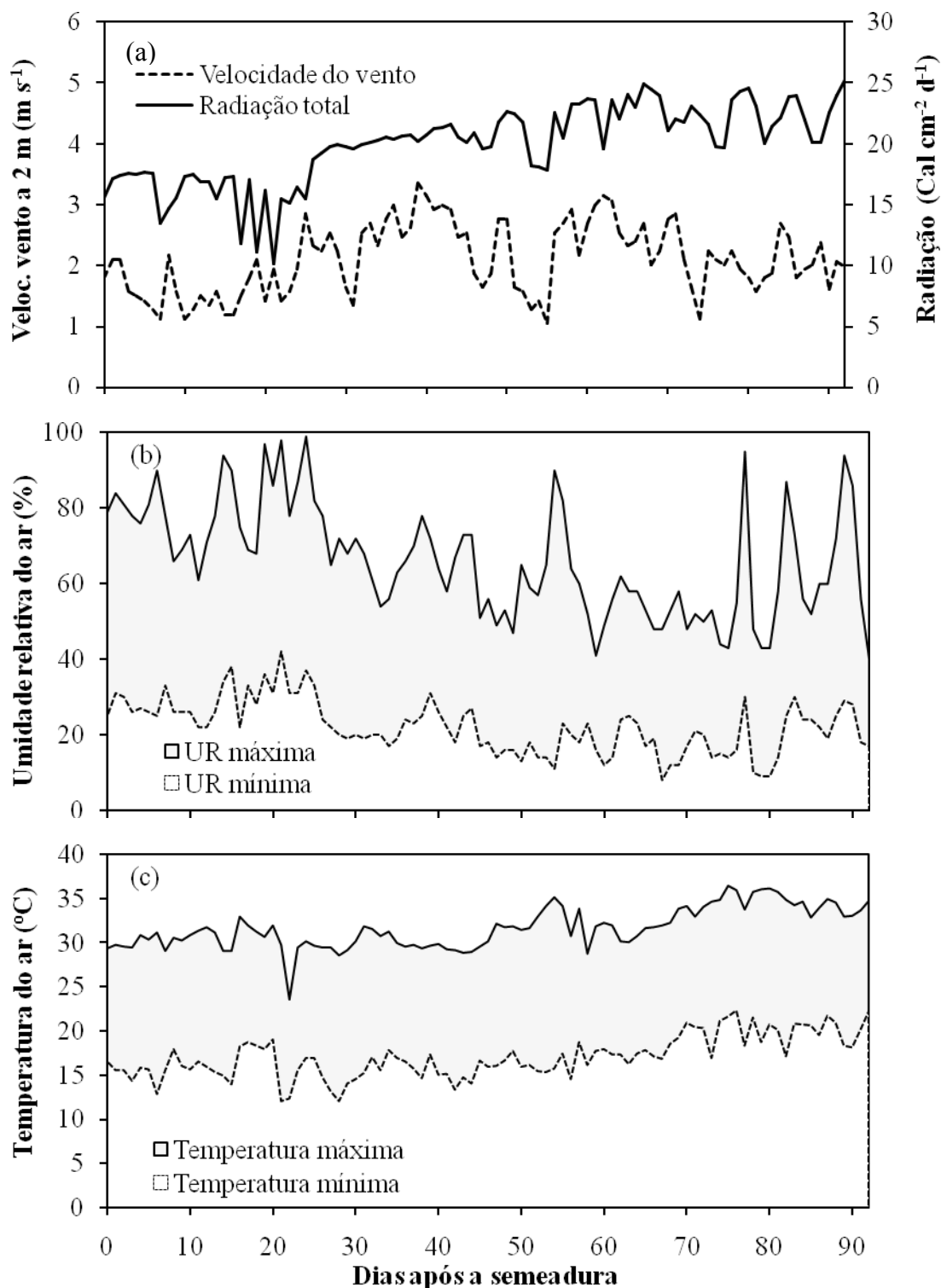
Tabela 3.10. Esquema da análise de variância realizada com os dados obtidos no experimento.

Fonte de variação	Graus de liberdade
Tratamento	2
Resíduo	24
Total	26

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Variáveis meteorológicas

Na Figura 3.3 estão apresentados os dados relativos às variáveis meteorológicas registrados diariamente durante a condução do experimento. Para Wutke et al. (2000b) os fatores meteorológicas capazes de influenciar o crescimento e desenvolvimento do feijoeiro são a temperatura do ar, fotoperíodo, radiação solar e precipitação pluvial em termos de água disponível no solo.



Estádio	V0	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8	R9
Dias	5	6	6	9	16	6	7	11	20	6

Figura 3.3. Condições meteorológicas durante o ciclo do feijoeiro semeado em 05/07/2007 em Santo Antônio de Goiás, Goiás. Radiação solar e velocidade do vento (a), umidades relativas máximas e mínimas (b) e temperaturas máximas e mínimas (c). Dados da estação automatizada da Embrapa Arroz e Feijão.

Conforme mostrado na Figura 3.3a foram registrados valores de radiação total de $10,10 \text{ Cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ a $27,20 \text{ Cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$. O balanço de radiação é de grande importância na determinação das perdas de água. Como o experimento foi semeado no início de julho, após a emergência houve aumento gradual na radiação total, os maiores valores foram registrados no mês de setembro a partir do início da fase reprodutiva, especificamente com a cultura nos estádios R7 e R8, fases de formação e enchimento de vagens. A luz é fundamental como fonte essencial e direta de energia para o desenvolvimento da cultura. A insolação média recebida pelo feijoeiro foi de 8,67 ; 10,68 e 10,01 horas de sol, nos meses de julho, agosto e setembro, respectivamente.

A velocidade do vento medida a 2 m do solo apresentou média de $2,10 \text{ m s}^{-1}$. Ainda na Figura 3.3a pode-se observar que os maiores valores foram registrados de 30 a 70 dias após a semeadura, nos meses de agosto e setembro. A velocidade do vento exerce forte influência sobre a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) com o tanque Classe A e com modelo de Penman-Monteith. Para estimativa da ET_0 com base na evaporação do tanque Classe A faz-se a multiplicação da evaporação pelo coeficiente do tanque, sendo que, à medida que a velocidade do vento aumenta, o coeficiente do tanque diminui, evidenciando o poder evaporante do ar. Já no modelo de Penman-Monteith o vento expressa parte das condições aerodinâmicas do local.

Quanto à umidade relativa, a máxima e mínima média foi de 65,50% e 21,70%, respectivamente, com média de 44,08%. A umidade relativa influencia a evapotranspiração, no tratamento onde se fez o manejo da irrigação com tanque Classe A utilizou-se o valor diário da umidade relativa média para calcular o coeficiente do tanque, usado para converter evaporação em evapotranspiração, sendo que, à medida que a umidade relativa do ar aumenta o coeficiente do tanque também aumenta. No modelo de Penman-Monteith ela foi utilizada no cálculo do déficit de saturação de vapor da atmosfera. Conforme apresentado na Figura 3.3b, os maiores valores foram registrados na fase inicial do experimento, baixas umidades relativas ocorreram no final da fase vegetativa e na maior parte da fase reprodutiva, coincidindo com o período de maior exigência hídrica pela cultura (Robins & Domingo, 1956; Doorenbos & Kassam, 1979; Garrido et al., 1979; Magalhães et al., 1979; Amorim Neto et al., 1995; Calvache et al., 1997a; Stone & Silveira, 2001).

Os valores médios de temperatura máxima e mínima observados foram $31,90^\circ\text{C}$ e $17,40^\circ\text{C}$, respectivamente. A temperatura é um dos principais fatores ambientais

no controle do desenvolvimento e produção do feijoeiro (Arruda et al., 1980). Nota-se, pela Figura 3.3c, que durante a condução do experimento, as temperaturas diárias mais elevadas foram observadas nos estádios R6 e R8. Para Vieira (2000), temperaturas maiores que 35°C são prejudiciais à cultura, por favorecer moléstias e inviabilizar o grão de pólen. Com a cultura em plena floração, estágio R6, ocorreram temperaturas muito próximas e até superiores a esse valor, no entanto, por poucos dias. A temperatura máxima normalmente foi registrada às quinze horas, e a mínima por volta das seis horas. Quanto às temperaturas mínimas, constatou-se que, nos primeiros trinta dias o valor médio foi 15,60°C, portanto, cerca de 2°C menor que a mínima média. No entanto, não afetou o desenvolvimento inicial, visto que o florescimento ocorreu dentro do intervalo de 42 dias preconizado por Melo et al. (2005) para a cultivar BRS Supremo.

De fato, a influência das condições meteorológicas sobre o consumo de água pelo feijoeiro ficou evidenciada durante os estádios R6 e R7. Nestes períodos as plantas apresentavam desenvolvimento máximo de seu dossel vegetativo e, conseqüentemente, elevada superfície transpiratória. Como estes estádios coincidiram com a segunda quinzena de agosto, período de maior demanda atmosférica durante o ciclo da cultura, teve como resultando elevados valores de evapotranspiração.

3.3.2 Evapotranspiração da cultura

A demanda evaporativa média observada em cada fase do ciclo fenológico durante o ensaio é apresentada na Tabela 3.11. A evapotranspiração média estimada pelos métodos do tanque Classe A e de Penman-Monteith foi de 4,43 mm d⁻¹ e 3,71 mm d⁻¹, respectivamente.

As maiores taxas médias de evapotranspiração ocorreram quando a cultura iniciou a fase reprodutiva, estágio R5, tendo atingido 6,04 mm d⁻¹ e 5,28 mm d⁻¹ com tanque Classe A e Penman-Monteith, respectivamente, no estágio R6, com a cultura em pleno florescimento. Estes resultados se assemelham muito aos obtidos por Matzenauer et al. (1991), que constataram que o maior consumo médio diário pelo feijoeiro foi de 5,90 mm, ocorrido durante o sub-período compreendido entre o início do florescimento ao início do enchimento de grãos. Segundo os autores, isto ocorre em função do maior índice de área foliar e da maior atividade fotossintética. Outros trabalhos demonstram que os maiores valores de evapotranspiração máxima para o feijoeiro ocorrem nos estádios de

florescimento e de enchimento de vagens (Bergamaschi et al., 1989; Calvache et al., 1997b).

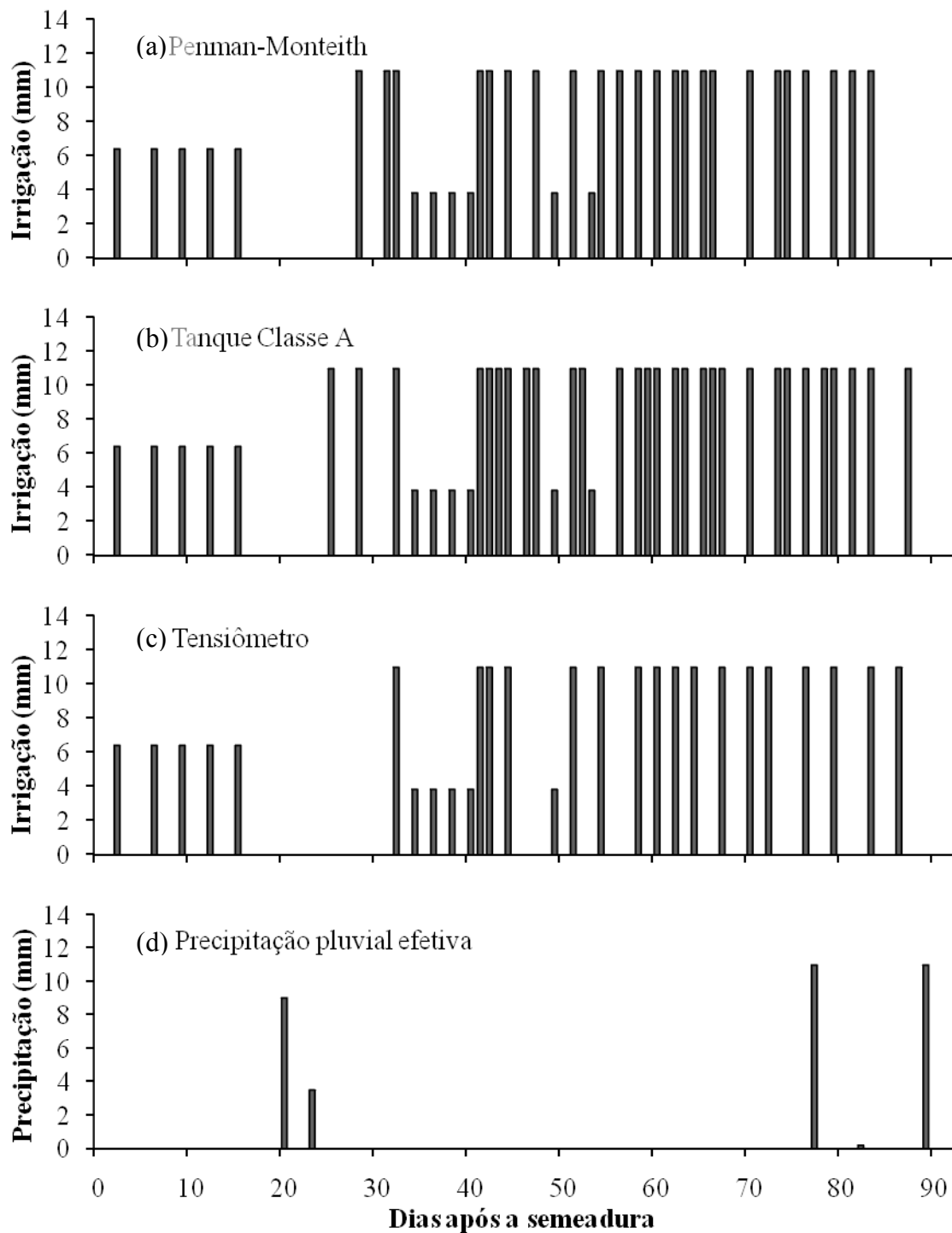
Tabela 3.11. Duração em dias dos estádios do ciclo fenológico do feijoeiro irrigado, cultivar BRS Supremo, semeado no início de julho e evapotranspiração média diária da cultura estimada pelos métodos do tanque Classe A e Penman-Monteith. Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.

Fases	Estádio da cultura	Duração (dias)	Evapotranspiração da cultura (mm d ⁻¹)	
			Tanque Classe A	Penman-Monteith
Vegetativa	V0	5	2,77	2,53
	V1	6	2,92	2,68
	V2	6	2,86	2,87
	V3	9	3,12	3,02
	V4	16	4,06	3,14
Reprodutiva	R5	6	5,12	4,32
	R6	7	6,04	5,28
	R7	11	5,64	4,36
	R8	20	5,10	4,18
	R9	6	4,79	3,93

3.3.3 Métodos de manejo e lâminas de irrigação

A representação gráfica da distribuição das irrigações e precipitações ao longo do ciclo da cultura é apresentada na Figura 3.4 e numericamente descrita na Tabela 3.12. Conforme pode ser observado, todos os tratamentos receberam lâminas líquidas médias de 6,39 mm aos 3, 7, 10, 13 e 16 dias após a semeadura (d.a.s); procedeu-se dessa forma a fim de se iniciar o experimento com todas as parcelas contendo o mesmo teor de água no solo.

Logo após iniciado o manejo com os métodos houve a ocorrência de precipitações pluviais, das quais resultaram lâminas efetivas de 9 mm e 3,50 mm respectivamente, aos três e seis dias após iniciada aplicação dos métodos de manejo da irrigação. No estágio V3 as parcelas dos tratamentos TE+CR e PM+Kc receberam apenas água da chuva, enquanto nas do tratamento TA+Kc foi efetuada uma irrigação com lâmina de 10,96 mm. No estágio V4 as parcelas que receberam as maiores lâminas de irrigação foram as manejadas por PM+Kc, com lâmina 10,96 mm superior às dos outros tratamentos. Durante toda fase vegetativa as parcelas dos tratamentos TE+CR, TA+Kc e PM+Kc receberam lâminas totais parciais de 81,69 mm, 103,61 mm e 103,61 mm, respectivamente.



Estádio	V0	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8	R9
Dias	5	6	6	9	16	6	7	11	20	6

Figura 3.4. Estádios do ciclo fenológico do feijoeiro semeado em 05/07/2007 em Santo Antônio de Goiás, Goiás, com duração em dias, lâminas de irrigação aplicadas com manejo pelos métodos de (a) Penman-Monteith, (b) tanque Classe A e (c) tensiômetro, e (d) precipitações pluviais efetivas ocorridas durante condução do experimento.

As duas primeiras lâminas de 3,83 mm registradas em todos os tratamentos no início do estágio V4 referem-se à aplicação da adubação nitrogenada. Pela lâmina aplicada aos 50 d.a.s fez-se aplicação de inseticida para controle de lagartas de solo.

Durante os seis dias em que a cultura permaneceu no estágio R5 as parcelas receberam lâminas apenas de irrigação, com lâminas diferenciadas. No manejo com TA+Kc foram efetuadas cinco irrigações tendo a cultura recebido 54,08 mm, enquanto o TE+CR promoveu apenas duas irrigações com fornecimento de água 59,47% menor que o das parcelas manejadas por tanque Classe A, ou seja, em R5 o manejo por tensiometria promoveu aplicação de apenas 21,92 mm de água às plantas. Com PM+Kc foram feitas três irrigações nas quais foram aplicados 32,88 mm, em comparação com o tratamento TA+Kc, houve um déficit de 39,20%.

Tabela 3.12. Número de irrigações e lâminas aplicadas com manejo pelos métodos de tensiometria, tanque Classe A e Penman-Monteith, e precipitações pluviárias efetivas recebidas pelo feijoeiro em cada estágio fenológico da cultura. Cultivar BRS Supremo semeado no início de julho. Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.

Estádios fenológicos	Tratamentos-Métodos de manejo			Precipitações/ pluviais ⁴ (mm)	Lâminas totais por ciclo		
	TE+CR ¹	TA+Kc ²	PM+Kc ³		TE+CR	TA+Kc	PM+Kc
	Irrigações/Lâminas acumuladas				(mm)		
V0	1/6,39	1/6,39	1/6,39	0,00	6,39	6,39	6,39
V1	2/12,78	2/12,78	2/12,78	0,00	12,78	12,78	12,78
V2	2/12,78	2/12,78	2/12,78	0,00	12,78	12,78	12,78
V3	0/0	1/10,96	0/0,00	2/12,50	12,50	23,46	12,50
V4	6/37,24	7/48,20	8/59,16	0,00	37,24	48,20	59,16
R5	2/21,92	5/54,80	3/32,88	0,00	21,92	54,80	32,88
R6	3/25,75	4/29,58	4/29,58	0,00	25,75	29,58	29,58
R7	4/43,84	7/76,72	6/65,76	0,00	43,84	76,72	65,76
R8	6/65,76	10/109,60	8/87,68	2/11,16	76,92	120,76	98,84
R9	1/10,96	1/10,96	0/0,00	1/10,96	21,92	21,92	10,96
Totais	27/237,42	40/372,77	34/307,01	5/34,62	272,04	407,39	341,63

¹Manejo da irrigação com tensiômetro e curva característica de retenção de água do solo; ²Tanque Classe A e coeficiente de cultura; ³Penman-Monteith e coeficiente de cultura; ⁴Considerou-se a precipitação pluvial efetiva no cálculo das lâminas.

Com a cultura em plena floração não houve diferenciação de irrigações e lâminas com os tratamentos TA+Kc e PM+Kc, no entanto, o tratamento TE+CR propiciou suprimento de água 12,95% inferior aos outros métodos. Como não houve ocorrência de precipitação neste estágio, as menores lâminas aplicadas com os tratamentos TE+CR e

PM+Kc em R5 e R6 provavelmente resultaram em déficit hídrico à cultura em período crítico, pois Massignam et al. (1998) verificaram que o período mais crítico à deficiência hídrica para o feijoeiro ocorre no período de seis dias antes da floração e aos seis dias após a floração, onde a falta de água irá resultar em queda na produtividade e em alguns dos seus componentes.

O tratamento TE+CR também propiciou menor número de irrigações e lâmina total parcial de irrigação 42,86% inferior a do TA+Kc de 76,72 mm no estágio R7, com duração de onze dias. Com lâmina 14,29% menor, as irrigações e o acumulado obtido com PM+Kc nesse período mantiveram-se próximos aos valores mais elevados obtidos com o TA+Kc.

As maiores diferenças no número de irrigações e nas lâminas foram observadas durante o estágio mais longo da cultura, R8, o qual apresentou duração de vinte dias. Neste estágio caracterizado pelo enchimento das vagens foram efetuadas com os tratamentos TE+CR, TA+Kc e PM+Kc, 6, 10 e 8 irrigações, com lâminas líquidas parciais acumuladas de 65,76 mm, 109,60 mm e 87,68 mm, respectivamente. Para este estágio, se estabelecida comparação com o método onde foi aplicada a maior lâmina parcial acumulada, as parcelas manejadas por TE+CR e PM+Kc foram submetidas a um déficit hídrico de 40% e 20%, respectivamente. Como o enchimento de grãos é caracterizado em vários trabalhos como um dos estádios em que o feijoeiro é mais sensível ao déficit hídrico (Doorenbos & Kassam, 1979; Garrido et al., 1979; Gallegos & Adams, 1991; Amorin Neto et al., 1995; Calvache & Reichardt, 1996; Massignam et al., 1998; Stone & Silveira, 2001), espera-se que sejam verificadas redução na produtividade da cultura. Houve ocorrência de duas precipitações, uma delas de 10,96 mm, capaz de elevar o solo à “capacidade de campo” e outra de apenas 0,20 mm, que pouco interferiu no manejo diferenciado pelos tratamentos.

No estágio final, caracterizado pela maturação, as parcelas do tratamento PM+Kc não receberam água de irrigação. Foi efetuada apenas uma irrigação nas parcelas manejadas por TE+CR e TA+Kc, com aplicação de 10,96 mm. Dois dias antes da colheita foi registrada precipitação de 10,96 mm, capaz de elevar o solo à “capacidade de campo”.

Ao analisar as lâminas totais recebidas durante a fase reprodutiva pelas parcelas manejadas pelos tratamentos TE+CR, TA+Kc e PM+Kc, observa-se que o tratamento TE+CR promoveu lâmina total 37% menor que a maior lâmina total aplicada com o tratamento TA+Kc, enquanto no PM+Kc a redução foi de 22% na fase reprodutiva.

Com relação às lâminas totais recebidas pela cultura, na Figura 3.5 é possível observar que o tratamento TE+CR recebeu durante todo o ciclo, 272,04 mm de água, sendo que 237,42 mm foram devidos às irrigações. As parcelas do tratamento TA+Kc receberam lâmina total 407,39 mm, sendo 372,77 mm advindos das irrigações. Parcelas manejadas por PM+Kc fecharam o ciclo com total acumulado de 341,63 mm de água, dos quais 307,01 mm foram por intermédio das irrigações.

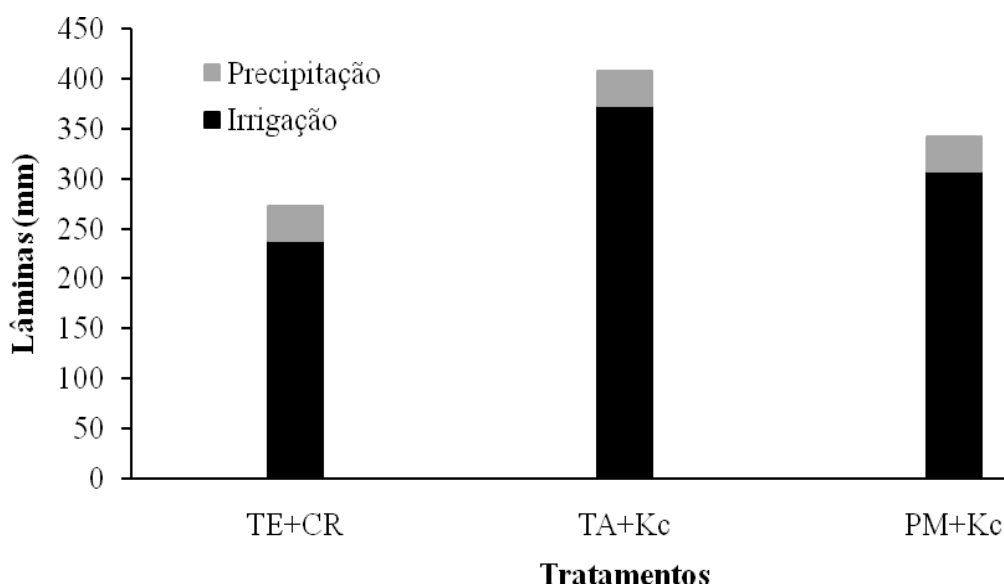


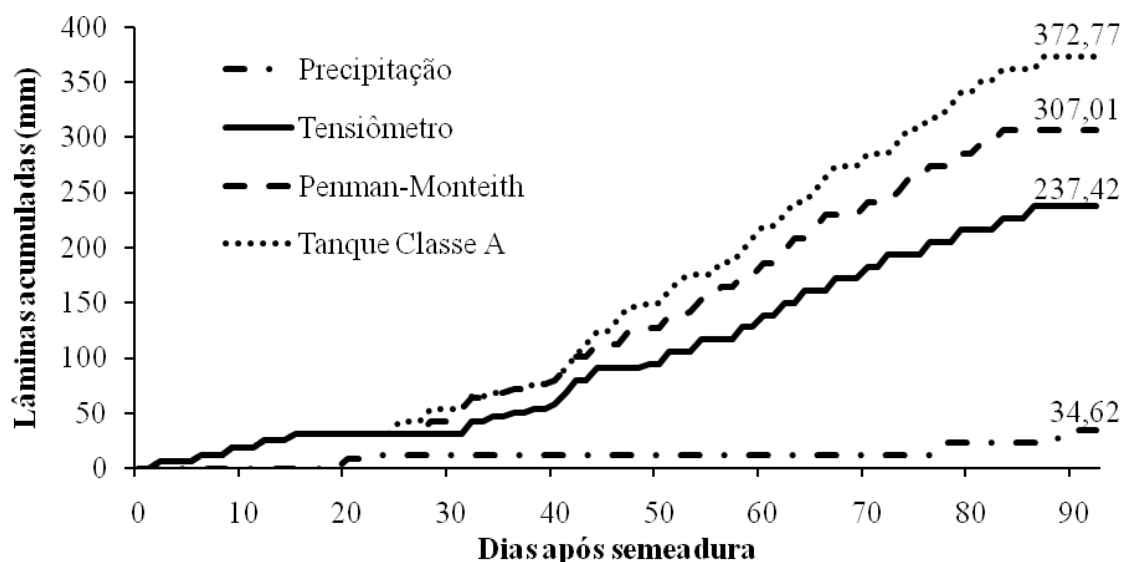
Figura 3.5. Lâminas de água (precipitação pluvial + irrigação) recebidas pelas parcelas dos tratamentos tensiômetro e curva de retenção TE+CR, tanque Classe A e coeficiente de cultura TA+Kc e Penman-Monteith e coeficiente de cultura PM+Kc. Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.

As lâminas provenientes de precipitações pluviais efetivas somaram 34,62 mm, representaram 12,66%, 8,45% e 10,08% das lâminas totais aplicadas com os tratamentos TE+CR, TA+Kc e PM+Kc, respectivamente.

Como apresentado na abordagem anterior, parcelas manejadas com o tratamento TE+CR receberam menor quantidade total de água por irrigação (237,42 mm), o que significou uma redução de 36% em relação à lâmina total média de irrigação aplicada no tratamento TA+Kc (372,77 mm). O manejo com PM+Kc propiciou lâminas 17,48% menores que as aplicadas pelo TA+Kc e 22,67% maiores que aquelas do tratamento TE+CR.

Na Figura 3.6 é possível observar o acumulado de precipitações e das lâminas de irrigação para cada tratamento, as lâminas começaram a se diferenciar no final do

estádio V3. No final da fase vegetativa, aos 42 d.a.s, as parcelas dos tratamentos TE+CR, TA+Kc e PM+Kc haviam recebido via irrigação 69,19 mm, 91,11 mm e 91,11 mm, respectivamente. Nesta fase a cultura recebeu 12,50 mm advindos de precipitações pluviais.



Estádio	V0	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8	R9
Dias	5	6	6	9	16	6	7	11	20	6

Figura 3.6. Lâminas de água acumuladas (irrigação + precipitação) recebidas pelas parcelas dos tratamentos tensiômetro e curva de retenção TE+CR, tanque Classe A e coeficiente de cultura TA+Kc e Penman-Monteith e coeficiente de cultura PM+Kc nos estádios fenológicos da cultura do feijoeiro. Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.

As diferenças nas lâminas se acentuaram durante a fase reprodutiva; as parcelas manejadas com o tratamento TA+Kc receberam mais água de irrigação e foram irrigadas com intervalo menor entre irrigações, principalmente a partir do início do estágio R7 até o final do R8. Na fase reprodutiva, se comparado aos outros tratamentos, o manejo com tensiômetro promoveu irrigações em intervalos maiores, aproximadamente a cada três dias, tempo necessário para o solo na “capacidade de campo” passar à tensão crítica de água no solo. Na fase reprodutiva houve ocorrência de três precipitações, duas em R8, de 0,20 mm e 10,96 mm de precipitação efetiva e outra no final do R9, de 10,96 mm.

Com relação ao número de irrigações após início do manejo pelos métodos, verificaram-se diferenças ao longo do ciclo em todos os estádios fenológicos, foram

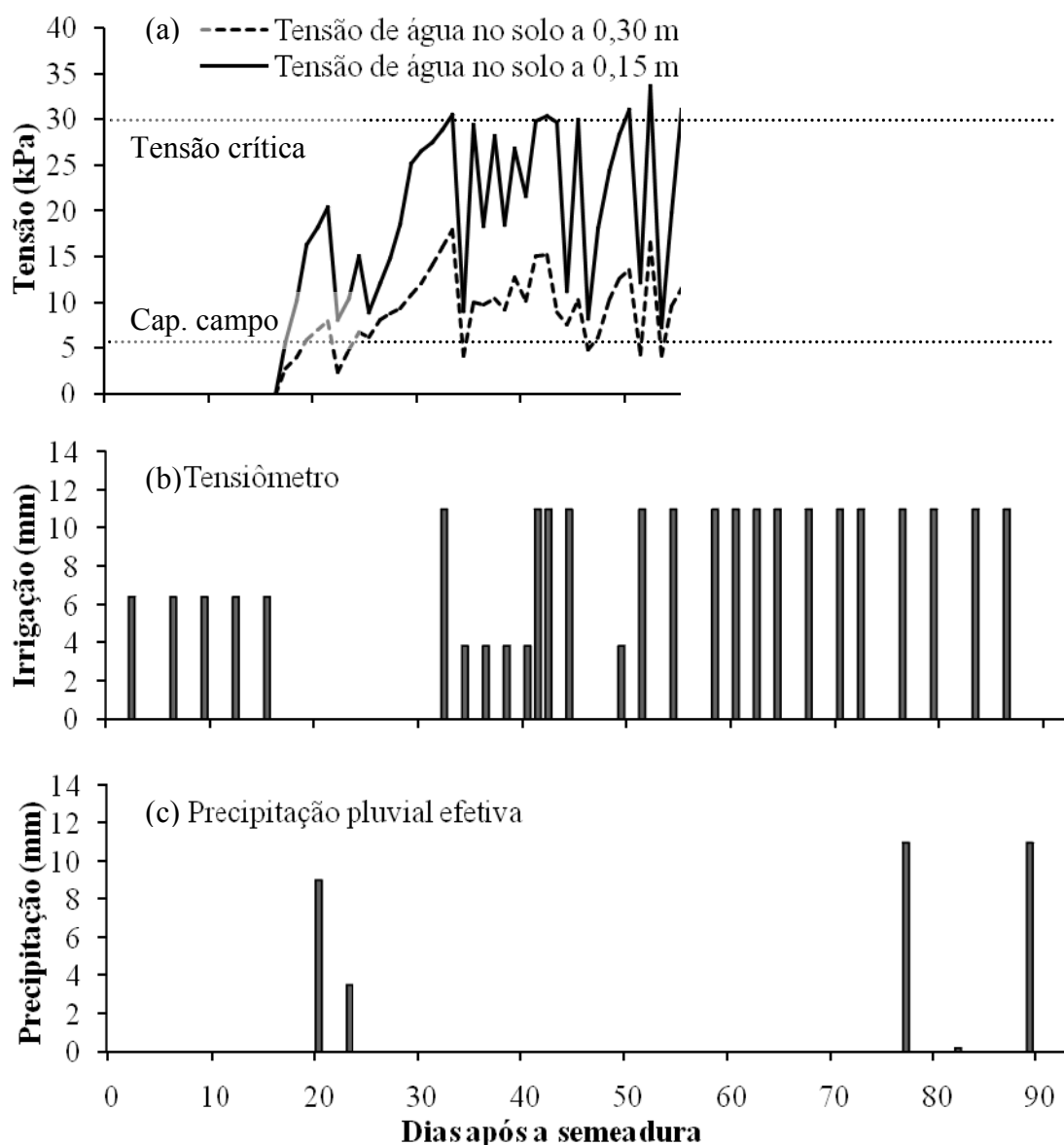
efetuadas 22, 35 e 29 irrigações com os tratamentos TE+CR, TA+Kc e PM+Kc, respectivamente.

3.3.3.1 Manejo com tensiômetro

Foram verificadas algumas dificuldades na fase inicial de condução do experimento. Mesmo tendo-se efetuado o teste dos tensiômetros antes de levá-los ao campo, dois dos aparelhos instalados a 0,15 m apresentaram leituras muito inferiores às observadas nos demais, provavelmente devido a algum problema de vazamento provocado por impactos no momento de instalá-los, não descartando a possibilidade de problemas de contato entre a cápsula porosa e o solo. Aos quatro e seis dias após iniciado o manejo, houve a ocorrência de precipitações que baixaram o valor da tensão de água no solo para próximo ao da “capacidade de campo”. Logo após a precipitação optou-se pela instalação de mais dois aparelhos em cada bateria, dez dias após iniciado o manejo os aparelhos comprometidos foram eliminados, com isso, não foram mais verificados problemas operacionais.

Conforme pode ser observado na Figura 3.7 onde estão representadas as variações na tensão de água no solo, precipitações efetivas e as lâminas de irrigação aplicadas com o tratamento TE+CR, as irrigações foram realizadas sempre que a média dos tensiômetros a 0,15 m de profundidade indicou tensões iguais ou pouco superiores a 30 kPa; foram aplicadas lâminas suficientes para repor a água disponível consumida até o momento da irrigação indicado pelo método. Como as condições acima descritas foram cuidadosamente observadas, sempre que se irrigaram as parcelas do tratamento TE+CR foram aplicadas lâminas líquidas de 10,96 mm, correspondente a lâminas brutas de 12,89 mm.

A tensão matricial de água no solo a 0,30 m de profundidade sempre se manteve mais baixa e com menor variação do que a tensão a 0,15 m. Isto é um indicativo de que as lâminas aplicadas foram adequadas à capacidade de armazenamento do solo, pois as irrigações mantiveram o solo das camadas mais profundas próximo a “capacidade de campo”.



Estádio	V0	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8	R9
Dias	5	6	6	9	16	6	7	11	19	7

Figura 3.7. Estádios do ciclo fenológico do feijoeiro irrigado cultivado no sistema integração lavoura-pecuária, em latossolo vermelho distroférico, com respectivas durações em dias, (c) precipitações pluviais efetivas ocorridas e (b) irrigações efetuadas com o tratamento tensiômetro e curva de retenção TE+CR em função de (a) variações na tensão de água no solo nas profundidades de 0,15 m e 0,30 m, média das três baterias de tensiômetros. Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.

Ao analisar as Figuras 3.7a e 3.7b pode-se observar que na maioria das irrigações o solo encontrava-se com tensão de água no solo de 30 kPa, não tendo, em nenhuma ocasião ultrapassado 35 kPa. Esse procedimento está totalmente de acordo com o

especificado por Moreira et al. (1998) para o feijoeiro em plantio direto e Guimarães et al. (1996a, 1996b), que observaram que a irrigação adequada ao feijoeiro deve ser realizada quando o solo encontra-se com tensão, medida a 0,15 m de profundidade, inferior a 35 kPa. Isso demonstra a sensibilidade do feijoeiro ao déficit hídrico, e permite afirmar que o feijoeiro, quando cultivado com um padrão de tecnologia para obtenção de altas produtividades, é uma planta exigente em água.

Como na maioria das irrigações aplicou-se lâmina de 10,96 mm foi possível observar certa regularidade nas leituras, sendo que, houve pouca dispersão nos valores das tensões em relação à média, não foram observadas tensões acima de 35 kPa. De fato, Stone & Silveira (1999) observaram que a tensão matricial da água no solo é menor e menos variável ao longo do ciclo do feijoeiro em plantio direto, em comparação aos demais sistemas de preparo do solo. Para Nascimento et al. (2001), o solo manejado em sistema plantio direto aumenta a sua capacidade de retenção de água devido à melhoria na estruturação das partículas.

Na Tabela 3.13 são apresentadas as taxas médias da variação da tensão de água no solo, obtida pela relação ($\Delta\psi_m/\Delta t$), em kPa d⁻¹. As maiores variações ocorreram nos estádios da fase reprodutiva, sendo mais acentuadas no estágio R7 entre 56 e 66 d.a.s (7,55 kPa d⁻¹). Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Chieppe Júnior (1998) em trabalho conduzido próximo ao local de realização deste experimento. O autor trabalhou com tensiômetros instalados nas mesmas profundidades (0,15 m e 0,30 m), sendo que, nas parcelas onde se avaliou a mesma tensão crítica (30 kPa) durante todo o ciclo obtiveram-se variações semelhantes às observadas neste trabalho. No intervalo de 65 a 67 d.a.e foram registradas variações de 6 kPa d⁻¹, com média final de 5,10 kPa d⁻¹, muito próxima à média 4,88 kPa d⁻¹ observada neste trabalho.

Quando comparadas às parcelas manejadas por tanque e Penman-Monteith, as parcelas manejadas por tensiometria receberam irrigações em intervalos maiores de tempo, vindo a resultar em menor lâmina acumulada na fase vegetativa e ao final do ciclo do feijoeiro. A demanda total de 272,04 mm pelas parcelas do tratamento TE+CR é muito semelhante à de 260,30 mm obtida por Nascimento et al. (2001) com feijoeiro manejado por tensiometria em condições de plantio direto em Goiânia, Goiás. No entanto, estas lâminas totais foram pouco superiores ao valor mínimo recomendado por Fancelli (1987), segundo o autor o feijoeiro exige no mínimo 250 mm, e alerta para a importância da

distribuição das lâminas, e chama atenção principalmente para o suprimento nos períodos críticos, início do florescimento e formação das vagens.

Tabela 3.13. Taxa média da variação na tensão de água no solo em valores absolutos (kPa d^{-1}) nas parcelas manejadas com o tratamento tensiômetro e curva de retenção TE+CR em cada estágio do ciclo fenológico do feijoeiro irrigado, cultivar BRS Supremo, semeado no início de julho em Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.

Fases	Estádio da cultura	Intervalo (d.a.s) ¹	$\Delta\psi_m/\Delta t$ (kPa d^{-1})
Vegetativa	V3	18-26	2,12
-	V4	27-42	3,26
Reprodutiva	R5	43-48	4,26
-	R6	49-55	5,60
-	R7	56-66	7,55
-	R8	67-85	5,89
-	R9	86-92	5,49
Média	-	-	4,88

¹d.a.s: dias após a semeadura.

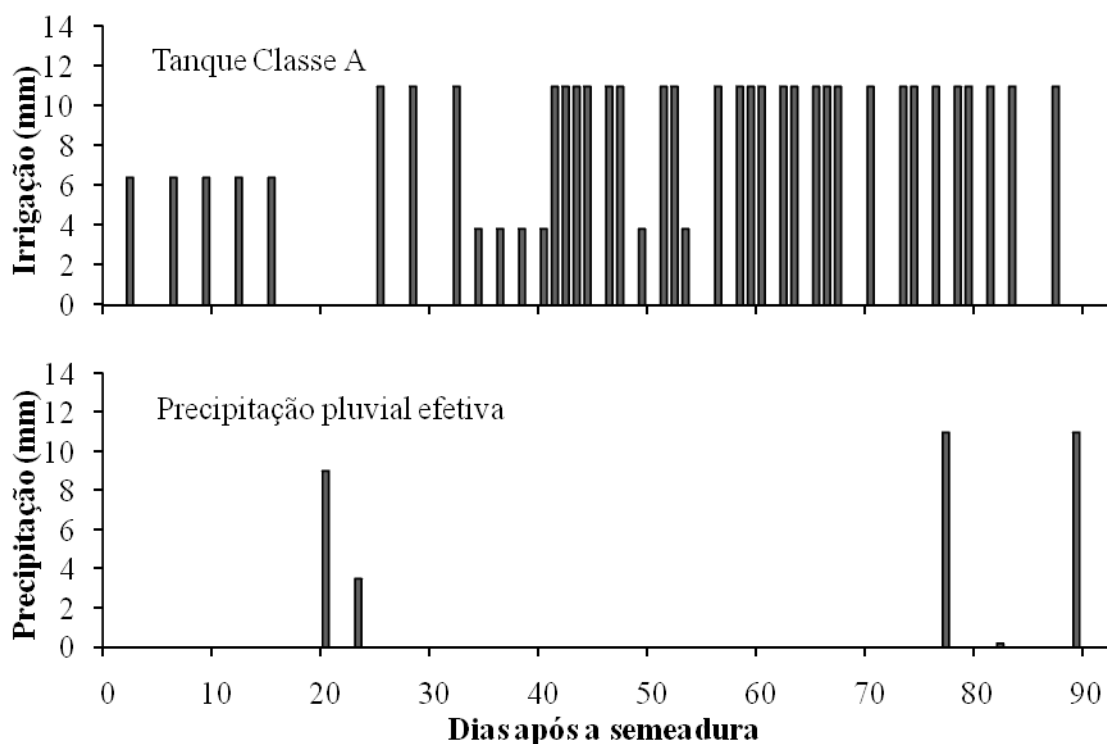
Conforme apresentado na Figura 3.7c ocorreram duas precipitações pluviais no início do experimento, sendo que, pela Figura 3.7a é possível observar que o solo encontrava-se com tensão inferior a 30 kPa. As precipitações foram capazes de baixar a tensão de água no solo para próximo à “capacidade de campo”.

Com base nos relatos e nas menores lâminas aplicadas com o tratamento TE+CR é de se esperar a ocorrência de reduções significativas nos componentes e na produtividade do feijoeiro. Conforme colocado por Doorenbos & Kassam (1979), Gallegos & Adams (1991) e Calvache & Reichardt (1996) devido ao curto período do ciclo do feijoeiro, pequenos períodos de seca podem afetá-lo severamente.

3.3.3.2 Manejo com tanque Classe A

Com o método do tanque Classe A as irrigações ocorreram em menor intervalo de tempo. Conforme apresentado na Figura 3.8, após iniciado o manejo, na fase vegetativa, as parcelas foram irrigadas aproximadamente a cada três dias. As irrigações foram mais próximas quando a cultura passou à fase reprodutiva, realizaram-se irrigações em intervalo

médio inferior a dois dias. É interessante destacar que Fernandes (2008), em trabalho com comparação de três métodos para estimar lâminas de irrigação em Jaboticabal, São Paulo, verificou que a frequência de irrigação foi mais importante para obtenção de maiores produtividades com a cultura da soja que a quantidade de água aplicada.



Estádio	V0	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8	R9
Dias	5	6	6	9	16	6	7	11	20	6

Figura 3.8. Estádios do ciclo fenológico do feijoeiro semeado em 05/07/2007 em Santo Antônio de Goiás, Goiás, com duração em dias, precipitação pluvial efetiva e lâminas de irrigação aplicadas com o método do tanque Classe A TA+Kc.

Verificou-se que o método do tanque Classe A superestimou em 36% a demanda total obtida por tensiometria. Este resultado se assemelha ao obtido por Nascimento et al. (2001), que verificaram que em plantio direto a demanda total de água pelo feijoeiro estimada com base na evaporação do tanque Classe A, de 365,6 mm, superestimou em 29% a demanda total determinada por tensiometria com tensão crítica entre 30 kPa e 40 kPa. No entanto, a superestimativa de 36% foi muito superior à relatada nos resultados obtidos no por Lopes et al. (2004), que avaliaram o desempenho dos métodos do tanque Classe A e tensiometria com adoção da tensão crítica de 40 kPa na

cultura do feijoeiro irrigado em Jaboticabal, São Paulo. Apresentaram como parte dos resultados uma lâmina total 15% superior nas parcelas irrigadas com o método do tanque Classe A.

Em trabalho com finalidade de avaliar o desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, entre eles o de Penman-Monteith, o tanque Classe A apresentou desempenho superior a todos os métodos avaliados, na maioria dos quesitos considerados, com valores médios diários de $5,84 \text{ mm d}^{-1}$, muito próximos dos $5,80 \text{ mm d}^{-1}$ do lisímetro (Santos et al., 2008).

Quanto ao coeficiente do tanque (K_p) foi observado que na fase vegetativa, quando a exigência hídrica da cultura é menor, o coeficiente apresentou valor médio de 0,70. No entanto na fase reprodutiva, de maior exigência hídrica, o valor médio do K_p foi 0,63. Tal fato é explicado com base nas variáveis meteorológicas que compõem o cálculo do coeficiente do tanque, velocidade do vento e umidade relativa, sendo que, principalmente esta última apresentou valores mais elevados na fase inicial do experimento. O K_p médio para todo o ciclo da cultura calculado com o método proposto por Snyder (1992) foi de 0,66. No entanto, Conceição (2002), Sentelhas & Folegatti (2003) e Mendonça et al. (2006) chamaram a atenção para a necessidade de trabalhos locais para avaliação do desempenho dos métodos de estimativa do K_p , de forma que seja possível a adoção do método que melhor se ajuste às condições climáticas locais.

A lâmina total de 407,39 mm recebida pelas parcelas manejadas com o tratamento TA+Kc, está dentro do intervalo de lâminas recomendado por Frizzone (1986); o autor verificou aumento de produtividade do feijoeiro com lâminas de 350 mm até 530 mm. Doorenbos & Kassam (1979) observaram que de acordo com o ciclo, que é de 60 a 120 dias, a cultura requer de 300 mm a 500 mm de água, dependendo do clima.

O tratamento TA+Kc apresentou os maiores valores de lâminas de água aplicadas em todos os estádios fenológicos do feijoeiro. Com base nos rendimentos relatados por Doorenbos & Kassam, (1979) após analisar vários trabalhos com feijoeiro irrigado submetido a vários níveis de deficiência hídrica, e tendo em vista a resposta da cultura a aplicação das lâminas de irrigação, o método do tanque Classe A aparentemente apresentou-se como promissor para o manejo da irrigação do feijoeiro nos cerrados.

3.3.3.3 Manejo com o modelo de Penman-Monteith

Como pode ser observado na Figura 3.9 as parcelas do tratamento PM+Kc na fase reprodutiva receberam água de irrigação em intervalos de aproximadamente dois dias e meio. Os valores de evapotranspiração estimados pelo método de Penman-Monteith foram menores que a evapotranspiração do tanque Classe A, o que resultaram menores lâminas com o tratamento PM+Kc. Este resultado condiz com os observados nos trabalhos de Conceição (2002) e Mendonça et al. (2006), em experimentos com objetivo de avaliar os métodos de cálculo do coeficiente do tanque Classe A; ambos concluíram que, independente do coeficiente utilizado, o método de Penman-Monteith subestima a evapotranspiração em relação à medida com o tanque Classe A. Tyagi et al. (2000) na Índia, também verificou subestimação da evapotranspiração de referência estimada por Penman-Monteith em relação à obtida com tanque Classe A.

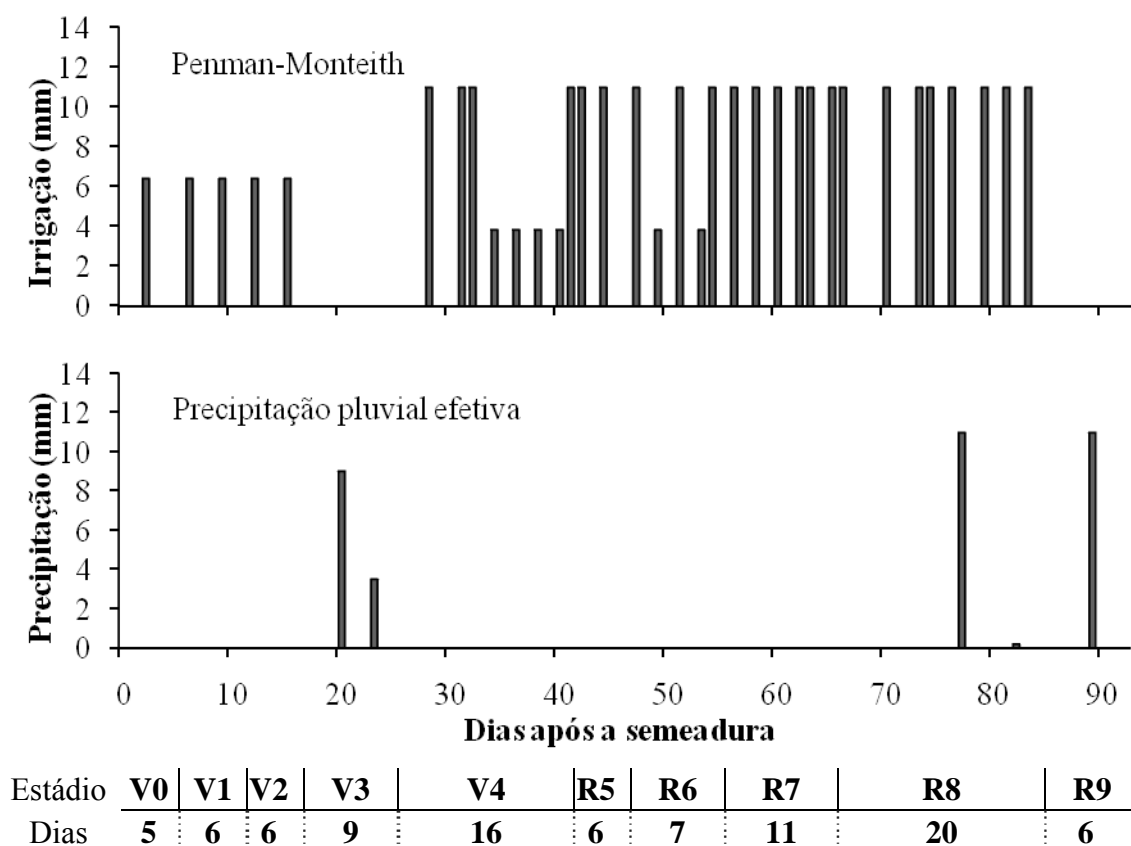


Figura 3.9. Estádios do ciclo fenológico do feijoeiro semeado em 05/07/2007 em Santo Antônio de Goiás, Goiás, com duração em dias, precipitação pluvial efetiva e lâminas de irrigação aplicadas com o tratamento Penman-Monteith e coeficiente de cultura PM+Kc.

O total de água recebido pelas parcelas do tratamento PM+Kc de 341,63 mm com média diária de 3,71 mm d⁻¹ durante todo o ciclo foi muito semelhante à demanda

obtida com medidas pelo método do lisímetro por Valadão & Klar (1996), que verificaram consumo total médio de 348 mm, com média diária de 3,75 mm d⁻¹ para o feijoeiro semeado em 22/08/94, em Botucatu, São Paulo.

Com o tratamento PM+Kc foram feitas irrigações mais próximas no momento que a cultura encontrava-se no estágio R7 e início de R8, períodos correspondentes ao final do mês de agosto e início de setembro. Estes períodos são caracterizados por Silva et al. (2007) como de ocorrência de condições meteorológicas extremas, alta radiação, baixa umidade relativa e ventos fortes. Tais condições propiciaram estimativas mais elevadas de evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith.

3.3.4 Produtividade do feijoeiro

A análise de variância revelou efeito significativo das lâminas aplicadas pelos métodos de manejo da irrigação, tensiometria TE+CR, tanque Classe A TA+Kc e Penman-Monteith PM+Kc, sobre a produtividade do feijoeiro, conforme mostrado na Tabela 3.14 e Anexo A. Com base nas afirmações de Abreu et al. (1994) e no valor do coeficiente de variação, 16,84%, pode-se afirmar que a precisão experimental foi acima da normalmente obtida com esta característica na cultura do feijoeiro.

Tabela 3.14. Resultado da análise de variância para as médias de produtividade de grãos do feijoeiro em kg ha⁻¹, percentagem em relação ao tratamento mais produtivo e lâminas totais de água recebidas pelas parcelas de cada tratamento por irrigação e precipitação pluvial em Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.

Tratamentos	Lâminas (mm)			Produtividade (kg ha ⁻¹) ⁴	Produtividade relativa (%)
	Irrigação	Precipitação	Total		
Métodos de manejo					
TE+CR ¹	237,42	34,62	272,04	2509,29 c	71,30
TA+Kc ²	372,77	34,62	407,39	3519,49 a	100,00
PM+Kc ³	307,01	34,62	341,63	2977,72 b	84,61
Média	305,73	34,62	340,35	3002,17	-
Teste F	-	-	-	18,46**	-
CV (%)	-	-	-	16,84	-
Dms (Tukey)	-	-	-	343,54	-

¹Manejo da irrigação com tensiômetro e curva característica de retenção de água do solo; ²Tanque Classe A e coeficiente de cultura; ³Penman-Monteith e coeficiente de cultura; ** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; ⁴Médias seguidas de letras distintas na vertical diferem entre si, a 5%

de probabilidade, pelo teste de Tukey; CV: coeficiente de variação; Dms: diferença mínima significativa.

Ao analisar o efeito das lâminas de água, observa-se que as menores lâminas de irrigação aplicadas com os tratamentos TE+CR e PM+Kc, 237,42 mm e 307,01 mm, respectivamente, proporcionaram reduções significativas no rendimento de grãos, o que indica que a quantidade de água recebida pelas parcelas de tais tratamentos não foi suficiente para suprir as necessidades hídricas da cultura. Portanto, pode-se afirmar que as plantas dos tratamentos TE+CR e PM+Kc sofreram estresse hídrico. De fato, as respectivas lâminas totais de 272,04 mm e 341,63 mm, recebidas pelas parcelas manejadas por tensiometria e pelo método de Penman-Monteith estão fora do intervalo especificado por Frizzone (1986), que verificou aumento na produtividade de grãos do feijoeiro com aplicação de lâminas de irrigação entre 350 mm e 530 mm. Esta faixa de consumo é muito próxima da recomendada por Doorenbos & Kassam (1979), que afirmaram que o consumo hídrico do feijoeiro situa-se entre 300 mm e 500 mm.

As diferenças de produtividade observadas neste trabalho provavelmente se devem ao fato dos métodos de manejo terem propiciado suprimento de água bastante diferenciado, com valores fora e dentro dos intervalos especificados por Frizzone (1986) e por Doorenbos & Kassam (1979). Isto explica os resultados controversos obtidos em trabalho conduzido por Arf et al. (2004). Onde observaram que, com todas as lâminas fora dos referidos intervalos, 215 mm a 287 mm no primeiro ano, e 150 mm a 254 mm no segundo, os tratamentos com as menores lâminas propiciaram produtividades de grãos semelhantes aos tratamentos com maiores lâminas de água, não tendo apresentado diferenças significativas. No entanto, com lâminas diferenciadas como às aplicadas neste trabalho, Silveira et al. (1984) obtiveram resultados semelhantes, com diferenças significativas na produtividade do feijoeiro. A maior e menor produtividade foi obtida com lâmina total de 411 mm e 173 mm por ciclo, respectivamente.

Em comparação ao manejo com tanque Classe A, a tensiometria promoveu lâminas de irrigação 24% e 40% menores, respectivamente, na fase vegetativa e reprodutiva, sendo que, durante todo o ciclo houve subestimativa de 36%. Quanto à redução da lâmina, estes resultados corroboram com os obtidos por Lopes et al. (2004), que obtiveram lâmina total de irrigação 15% menor com manejo por tensiometria em comparação com tanque Classe A. Resultados semelhantes também foram relatados por

Nascimento et al. (2001); no feijoeiro cultivado em plantio direto a tensiometria promoveu economia de água de irrigação de 29%.

No entanto, com manejo por tensiometria foi obtida a menor produtividade de grãos, as menores lâminas ocasionaram redução de 28,5% na produtividade do feijoeiro. A economia de água ocasionou redução no rendimento, tais reduções não foram observadas por Lopes et al. (2004) e por Nascimento et al. (2001); nestes trabalhos o manejo com tensiômetros proporcionou economia de água, visto que não relataram reduções significativas na produtividade da cultura. Provavelmente, os resultados diferenciados observados neste trabalho devem-se a redução mais acentuada das lâminas de irrigação.

Diante dos resultados de maior produtividade com o método do tanque Classe A, é possível afirmar que o manejo por tensiometria e Penman-Monteith ocasionaram déficit hídrico à cultura. Os tratamentos TE+CR e PM+Kc propiciaram déficit de 60% e 40%, 43% e 14%, 40% e 20%, respectivamente, nos estádios R5, R7 e R8. No estágio R6 parcelas do TE+CR sofreram déficit de 13% quando comparadas ao tratamento TA+Kc. Os resultados de reduções de produtividade de 29% e 15% nos tratamentos TE+CR e PM+Kc, respectivamente, foram semelhantes aos observados por Garrido et al. (1979), que verificaram que o déficit de umidade ocorrido no início (R5) e no final da floração (R6), ou no início de formação (R7) e no crescimento das vagens (R8) provocou, respectivamente, reduções de 16%, 42% e 58% na produção, em relação ao cultivo sem déficit hídrico. De fato, o trabalho de Norman et al., (1995) evidenciou que a produtividade é mais afetada quando o estresse hídrico ocorre de cinco a dez dias antes da antese, podendo haver uma diminuição superior a 50% no rendimento. Estes resultados evidenciam que água em deficiência reflete negativamente na produtividade. De fato, Macedo Júnior et al. (1994) verificaram que as maiores produtividades ocorreram quando a disponibilidade de água para as plantas era máxima.

Na Figura 3.10 é mostrado o comportamento da produtividade obtido em função das lâminas totais de 272,04 mm, 407,39 mm e 341,63 mm recebidas pelas parcelas dos tratamentos constituídos pelos métodos de manejo da irrigação, TE+CR, TA+Kc e PM+Kc, respectivamente.

Constatou-se aumento linear na produtividade de grãos da ordem de 7,46 kg de grãos para cada mm de água aplicado. Este comportamento difere do observado por Figuerêdo et al. (2008) e por Silveira & Stone (2004) que observaram que a relação entre o total de água aplicado e a produtividade do feijoeiro seguiu variação quadrática. Para

Figuerêdo et al. (2008) relações entre lâminas e produtividade tendem a apresentar comportamento quadrático, pois estarão inclusos nos valores das lâminas aplicadas alguns componentes de perda de água, como percolação e perdas por evaporação, que tendem a desviar a resposta da linearidade. Provavelmente, os dados deste trabalho apresentaram ajuste linear devido ao manejo condicionado à aplicação da lâmina correspondente a água facilmente disponível, não havendo ocorrência de percolação de água no solo, e com a semeadura no início de julho, a época de maior demanda de água pela cultura coincidiu com o mês de setembro, época de condições meteorológicas críticas em Goiás, de forma que, maiores lâminas de água supriram melhor as necessidades hídricas do feijoeiro e resultaram em aumento no rendimento da cultura.

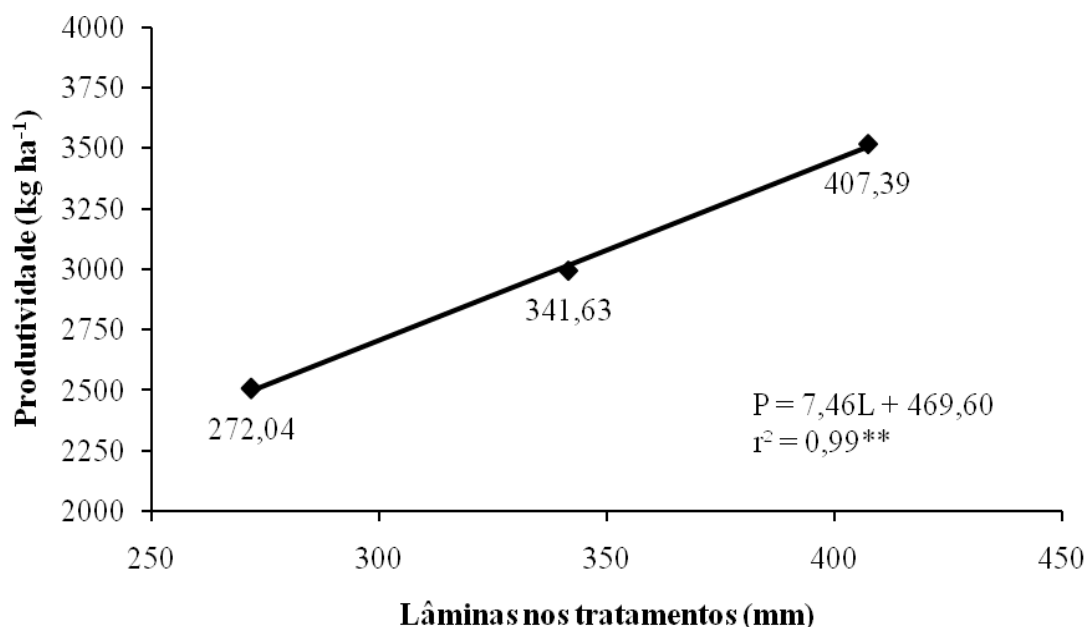


Figura 3.10. Produtividade média do feijoeiro (P) obtida com aplicação das lâminas de água estimadas pelos métodos de manejo da irrigação, tratamentos tensiômetro e curva de retenção TE+CR, tanque Classe A e coeficiente de cultura TA+Kc e Penman-Monteith e coeficiente de cultura PM+Kc. Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007. **significativo a 1%.

Verifica-se que há aumento na produtividade em função da aplicação de maiores lâminas de água. Os resultados da análise indicam que o rendimento de grãos foi afetado pela aplicação dos tratamentos constituídos pelos métodos de manejo da água de irrigação. O ajuste de um modelo de regressão linear mostra que mesmo a maior lâmina total, 407,39 mm, determinada com manejo pelo método do tanque Classe A, não foi capaz

de propiciar a obtenção da máxima produtividade do feijoeiro cultivado em plantio direto no sistema integração lavoura-pecuária. De fato, Figuerêdo et al. (2008) obtiveram sem nenhuma consideração de ordem econômica, o máximo rendimento de grãos, 3032 kg ha⁻¹, com lâmina total de irrigação de 573 mm, correspondente à tensão de água no solo de 37 kPa, medida a 0,10 m de profundidade. Calheiros et al. (1996) também relataram a necessidade de aplicação de 575 mm de água para obtenção do máximo rendimento de grãos.

O manejo da irrigação com o método do tanque Classe A proporcionou a maior eficiência técnica para o rendimento de grãos. Com aplicação da maior lâmina total e irrigações mais frequentes obteve-se produtividade média de 3519,49 kg ha⁻¹; este rendimento representa 58 sacas de 60 kg, valor superior ao da média nacional e do estado de Goiás de produtividade do feijoeiro irrigado, relatada por Soares et al., (1999), de 1662 kg ha⁻¹ e 2300 kg ha⁻¹, respectivamente.

Os dados de produtividade obtidos em função da aplicação de lâminas de água reforçam as colocações de Figuerêdo et al. (2008) que confirmaram a possibilidade de obtenção de altos rendimentos do feijoeiro irrigado nos cerrados desde que sejam levadas em conta a adoção e o correto manejo das tecnologias relacionadas aos fatores que mais influenciam no rendimento, sendo uma das mais importantes a disponibilidade hídrica do solo proporcionada pela irrigação.

3.3.5 Número de vagens por planta e de grãos por vagem

As médias do número de vagens por planta e de grãos por vagem obtidas com o manejo da irrigação pelos métodos da tensiometria, tanque Classe A e Penman-Monteith são apresentadas na Tabela 3.15 e Anexos B e C; nela também se encontram os resultados da análise de variância. Observa-se que a precisão experimental com estas características, CV de 7,02% e 10,07%, respectivamente, para vagens por planta e grãos por vagem foi melhor que a obtida com dados de produtividade, e estão dentro do intervalo normalmente obtido, o que evidencia que a amostragem de dez plantas por parcela foi capaz de representar bem as médias dos efeitos dos tratamentos.

Quanto ao número de vagens por planta, obteve-se média de 12,77 e a maior e menor quantidade foi observada com o manejo pelo método do tanque Classe A e tensiometria, respectivamente. No entanto, a análise revelou não haver efeito significativo

das lâminas de água aplicadas em função dos métodos de manejo sobre este componente. Resultado semelhante foi obtido por Jadoski et al. (2003), com manejo da irrigação pelo método do tanque Classe A condicionando a aplicação de lâminas acumuladas de 15 mm, 30 mm, 45 mm e 60 mm. Os autores observaram diferenças nos componentes do rendimento de grãos, com exceção no número de vagens por planta. Santana et al. (2008) também não observaram diferenças no número de vagens por planta, mesmo com níveis de reposição de água no solo variando de 40% a 160% da lâmina necessária para elevá-lo a “capacidade de campo”. Tais resultados diferem dos observados por Garrido (1998) e por Frizzone (1986).

Tabela 3.15. Resultado da análise de variância para as médias do número de vagens por planta e de grãos por vagem obtidos com aplicação das lâminas totais de água estimadas por três métodos de manejo da irrigação em Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.

Tratamentos	Lâminas (mm)			Vagens por planta	Grãos por vagem ⁴
	Irrigação	Precipitação	Total		
Métodos de manejo					
TE+CR ¹	237,42	34,62	272,04	11,89	5,17 b
TA+Kc ²	372,77	34,62	407,39	13,68	6,22 a
PM+Kc ³	307,01	34,62	341,63	12,75	6,14 a
Média	305,73	34,62	340,35	12,77	5,84
Teste F	-	-	-	1,43 ^{ns}	23,82**
CV (%)	-	-	-	7,02	10,07
Dms (Tukey)	-	-	-	-	0,35

¹Manejo da irrigação com tensiômetro e curva característica de retenção de água do solo; ²Tanque Classe A e coeficiente de cultura; ³Penman-Monteith e coeficiente de cultura; ^{ns, **} não significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; ⁴Médias seguidas de letras distintas na vertical diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey; CV: coeficiente de variação; Dms: diferença mínima significativa.

Com base nos resultados de Guimarães (1998), que afirmou haver redução no número de vagens por planta em consequência da abscisão de flores provocada pela deficiência hídrica durante a floração, é possível afirmar que as diferenças não significativas para o número de vagens por planta podem ser vistas como indicativo que não houve ocorrência de déficit hídrico na fase de floração, estágio R6, pois foram verificadas pequenas diferenças nas lâminas de água aplicadas às parcelas nesse período; TE+CR promoveu aplicação de lâmina 13% inferior aos demais tratamentos. Portanto, não

caracterizou ocorrência de déficit. Para Guimarães et al. (1996b), esse componente de produção é o mais afetado pelo estresse hídrico severo.

A análise de variância revelou haver efeito significativo das lâminas aplicadas com os métodos de manejo da irrigação sobre o número de grãos por vagem. Estes resultados corroboram com os obtidos por Santana et al. (2008), que constataram que tanto a falta quanto o excesso de água provocam má formação dos grãos. Isso indica que a disponibilidade hídrica adequada durante os estádios fenológicos do feijoeiro pode aumentar o número de óvulos fertilizados por vagem, o que propicia melhores rendimentos.

Os resultados mostraram haver aumento no número de grãos por vagem em função da maior disponibilidade hídrica; a média deste componente foi 5,84, sendo que, o manejo por tensiometria propiciou acentuada redução. Estes resultados se assemelham aos obtidos por Garrido (1998), que também obteve aumento no número de grãos por vagem em função de maiores lâminas, tendo observado valores médios de 4,6 grãos por vagem.

O efeito significativo do manejo diferenciado sobre o número de grãos por vagem pode ser explicado pela ocorrência de déficit hídrico na floração; no estágio R5 as parcelas dos tratamentos TE+CR e PM+Kc receberam, respectivamente, 60% e 40% menos água que o TA+Kc. Para Jadoski et al. (2003), a redução no rendimento de grãos do feijoeiro pela ocorrência de deficiência hídrica durante o período reprodutivo é ocasionada pela alta taxa de abortamento de óvulos, o que reduz o número de grãos por vagem.

Conforme mostra a Figura 3.11, as médias do número de grãos por vagem ajustaram-se a uma equação polinomial de segundo grau, estabelecida em função das variações dessas características em relação as lâminas aplicadas com os métodos de manejo. O ajuste a uma função quadrática também foi observado por Jadoski et al. (2003), segundo os autores a redução da disponibilidade de água no solo diminui a expansão do índice de área foliar com efeito direto sobre o crescimento dos grãos, e, de forma menos acentuada sobre o número de grãos formados.

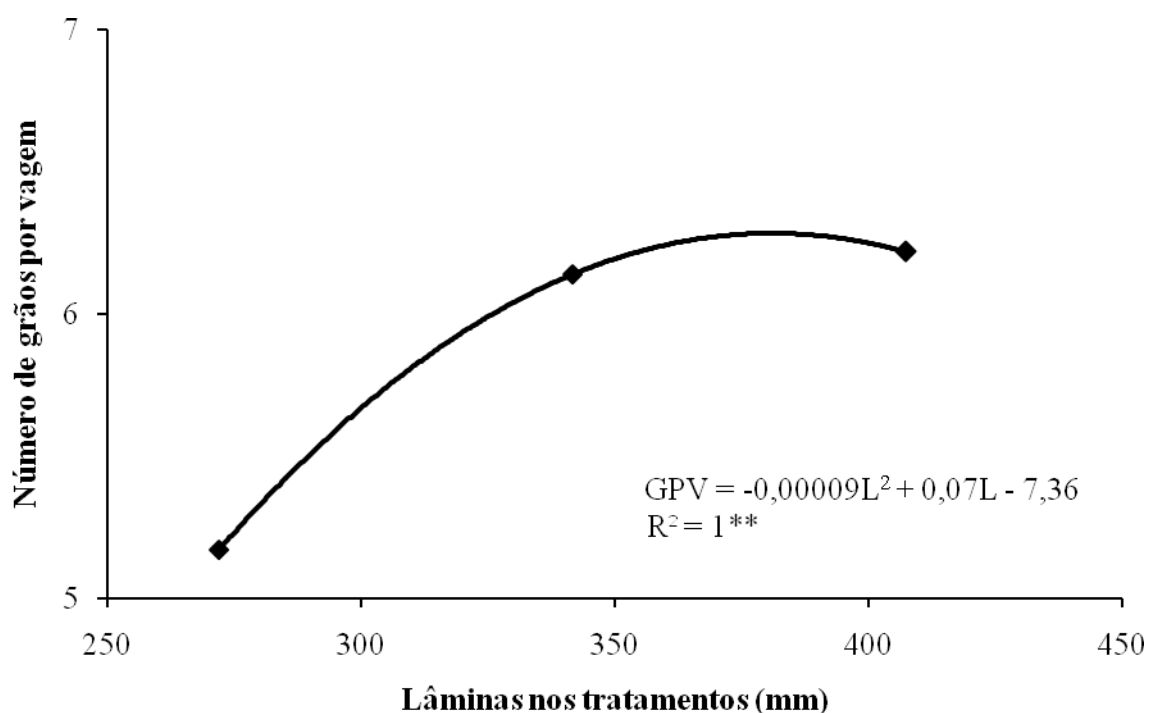


Figura 3.11. Número médio de grãos por vagem (GPV) obtido com aplicação das lâminas de água estimadas pelos métodos de manejo da irrigação, tratamentos tensiômetro e curva de retenção TE+CR, tanque Classe A e coeficiente de cultura TA+Kc e Penman-Monteith e coeficiente de cultura PM+Kc. Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007. ** significativo a 1%.

A máxima eficiência técnica para o número de grãos por vagem foi obtida com a lâmina total acumulada de 394 mm. Tal resultado permite concluir que o melhor método de manejo da irrigação para maximização do número de grãos por vagem é o método do tanque Classe A, visto que este foi o método que estimou a lâmina que mais se aproximou da lâmina ideal.

3.3.6 Massa de 100 grãos

A análise de variância mostrou não haver efeito significativo das lâminas de irrigação estimadas pelos métodos de manejo da água sobre a massa de 100 grãos, (Tabela 3.16 e Anexo D). Assim como para os outros componentes, o coeficiente de variação foi baixo, o que evidencia a precisão experimental. Obteve-se média de 30,15 g para 100 grãos. As médias obtidas foram superiores à média de 100 grãos da cultivar BRS Supremo, que, segundo Costa et al. (2004), apresenta média de massa de 100 grãos de 25 g. Os resultados observados neste trabalho se assemelham aos de Loureiro et al. (1990);

em trabalho com lâminas diferenciadas os autores verificaram que a massa de 100 grãos não foi modificada pelo regime de irrigação.

No entanto, como foi observado que no estádio R8, caracterizado pelo enchimento das vagens, houve subestimativa de 40% e 20%, respectivamente, pelos métodos da tensiometria e Penman-Monteith, esperava-se ocorrer diferenças significativas no componente massa de 100 grãos, visto que, Guimarães et al. (1996) observaram que a massa de grãos de feijão foi mais afetada quando a deficiência hídrica ocorreu durante a formação e enchimento das vagens da cultura, em comparação à ocorrência de deficiência hídrica nos estádios iniciais do período reprodutivo. De fato, Guimarães (1998) afirmou que a deficiência hídrica no enchimento de grãos, reduz a massa de vagens.

Tabela 3.16. Resultado da análise de variância para as médias de massa de 100 grãos obtidas em função das lâminas totais de água recebidas pelas parcelas de cada tratamento por irrigação e precipitação pluvial em Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.

Tratamentos	Lâminas (mm)			Massa de 100 grãos (g)
	Irrigação	Precipitação	Total	
Métodos de manejo				
TE+CR ¹	237,42	34,62	272,04	29,98
TA+Kc ²	372,77	34,62	407,39	31,13
PM+Kc ³	307,01	34,62	341,63	29,34
Média	305,73	34,62	340,35	30,15
Teste F	-	-	-	1,26 ^{ns}
CV (%)	-	-	-	3,86

¹Manejo da irrigação com tensiômetro e curva característica de retenção de água do solo; ²Tanque Classe A e coeficiente de cultura; ³Penman-Monteith e coeficiente de cultura; ^{ns}não significativo; CV: coeficiente de variação.

Para Jadoski et al. (2003), a redução da disponibilidade de água no solo diminui a expansão do índice de área foliar com efeito direto sobre o crescimento dos grãos. Ao contrário dos resultados obtidos neste trabalho, Guimarães et al. (1996b) verificaram uma redução da massa de 100 grãos de feijão em condição de estresse hídrico. Stone & Moreira (2000) realizaram experimento na mesma localidade, com diferentes lâminas de água, os resultados mostraram que a massa de 100 grãos foi afetada significativamente pelas lâminas de água, com ajuste quadrático da produtividade em função das lâminas de água.

3.3.7 Altura da planta

Conforme apresentado na Tabela 3.17 e no Anexo E, a análise de variância revelou efeito significativo das lâminas de irrigação estimadas pelos métodos de manejo, TE+CR, TA+Kc e PM+Kc sobre a altura da planta. Para esta variável também obteve-se um coeficiente de variação baixo, 13,26%, permitindo concluir que a amostragem de dez plantas por parcela é capaz de representar bem os efeitos dos tratamentos.

Observa-se que foi obtida altura média das plantas na colheita de 0,69 m, sendo que, o aumento nas lâminas de irrigação proporcionou incrementos no crescimento do feijoeiro. Com o manejo pelo método do tanque Classe A, com aplicação da maior lâmina total, 407,39 mm, foram obtidas as plantas mais altas. Com aplicação da menor lâmina, 272,04 mm, pelo método da tensiometria, foram obtidas plantas 0,18 m mais baixas.

Tabela 3.17. Resultado da análise de variância para as médias de altura da planta obtidas em função das lâminas totais de água recebidas pelas parcelas de cada tratamento por irrigação e precipitação pluvial em Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.

Tratamentos	Lâminas (mm)			Altura da planta ⁴ (m)
	Irrigação	Precipitação	Total	
Métodos de manejo				
TE+CR ¹	237,42	34,62	272,04	0,59 c
TA+Kc ²	372,77	34,62	407,39	0,77 a
PM+Kc ³	307,01	34,62	341,63	0,70 b
Média	305,73	34,62	340,35	0,69
Teste F	-	-	-	38,62**
CV (%)	-	-	-	13,26
Dms (Tukey)	-	-	-	0,03

¹Manejo da irrigação com tensiômetro e curva característica de retenção de água do solo; ²Tanque Classe A e coeficiente de cultura; ³Penman-Monteith e coeficiente de cultura; ** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; ⁴Médias seguidas de letras distintas na vertical diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. CV: coeficiente de variação; Dms: diferença mínima significativa.

De acordo com a análise, observa-se que os tratamentos exerceram efeito significativo sobre a altura da planta. Este resultado se assemelha ao obtido por Loureiro et al. (1990), que também encontraram diferenças significativas na altura da planta de feijão submetidas a diferentes lâminas de água.

Na Figura 3.12 observa-se que os dados de altura das plantas obtidas com cada método de manejo da irrigação ajustaram-se a uma equação linear estabelecida em função das variações dessa característica em relação às lâminas aplicadas.

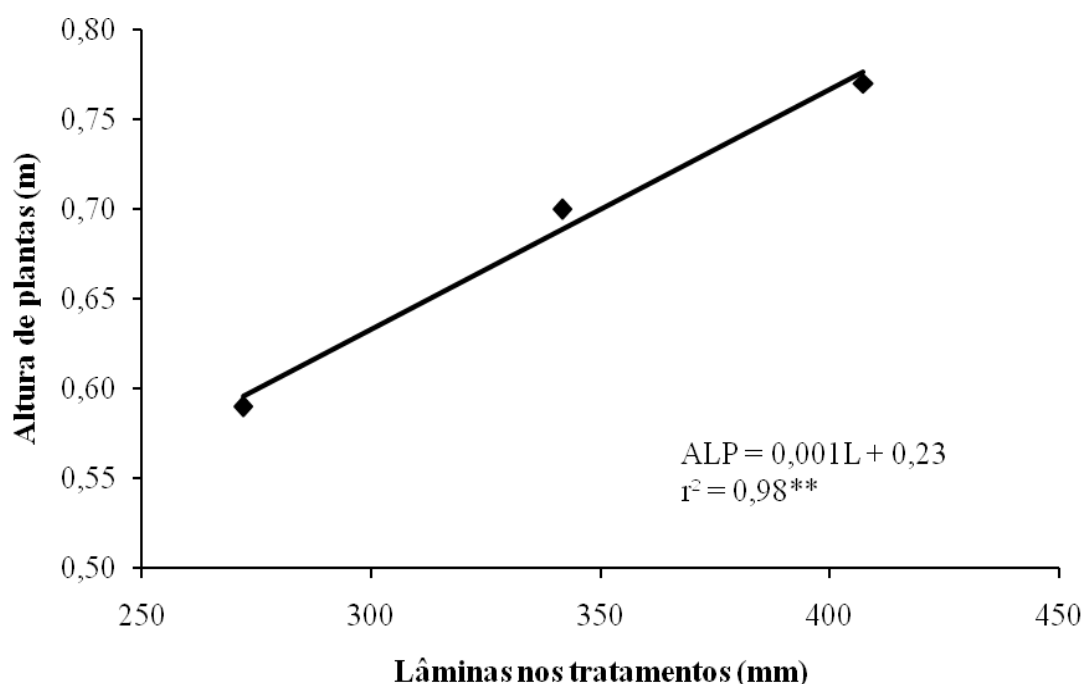


Figura 3.12. Altura média das plantas (ALP) obtidas com aplicação das lâminas de água estimadas pelos três métodos de manejo da irrigação, tensiometria, tanque Classe A e Penman-Monteith, tratamentos TE+CR, TA+Kc e PM+Kc, respectivamente. Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007. **significativo a 1%.

A redução na altura das plantas pode ser explicada pela ocorrência de déficit hídrico propiciado com manejo por tensiometria e Penman-Monteith. Resultados semelhantes também foram apresentados por Fiegenbaum et al. (1991), que observaram reduções significativas na altura das plantas quando submetidas a deficiência hídrica na floração. Segundo os autores a maneira como o déficit hídrico se desenvolve na planta é bastante complexo, pois afeta praticamente todos os aspectos do crescimento, incluindo modificações anatômicas e morfológicas.

3.3.8 Eficiência no uso da água (EUA)

A eficiência da utilização da água pela cultura do feijoeiro em relação ao rendimento obtido é um parâmetro de grande importância, sobretudo em locais onde a atividade de produção é diretamente determinada pela prática da irrigação, refletindo na rentabilidade e na eficiência da produção.

Foram calculadas as relações entre as produtividades obtidas e as lâminas totais aplicadas recebidas por cada tratamento. Conforme mostrado na Tabela 3.18 e no Anexo F,

a análise de variância revelou não haver diferenças significativas na eficiência do uso da água.

Tabela 3.18. Resultado da análise de variância para as médias de eficiência do uso da água obtidas com base nas produtividades alcançadas com as lâminas totais de água recebidas pelas parcelas de cada tratamento por irrigação e precipitação pluvial em Santo Antônio de Goiás, Goiás, 2007.

Tratamentos	Lâminas (mm)			Produtividade (kg ha ⁻¹)	Eficiência do uso da água (kg mm ⁻¹)
	Irrigação	Precipitação	Total		
Métodos de manejo					
TE+CR ¹	237,42	34,62	272,04	2509,29	9,22
TA+Kc ²	372,77	34,62	407,39	3519,49	8,64
PM+Kc ³	307,01	34,62	341,63	2977,72	8,72
Média	305,73	34,62	340,35	3002,17	8,86
Teste F	-	-	-	18,46**	0,75 ^{ns}
CV (%)	-	-	-	16,84	3,59

¹Manejo da irrigação com tensiômetro e curva característica de retenção de água do solo; ²Tanque Classe A e coeficiente de cultura; ³Penman-Monteith e coeficiente de cultura; **,ns significativo a 1% pelo teste F e não significativo, respectivamente; CV: coeficiente de variação; Dms: diferença mínima significativa.

Mesmo não havendo diferenças significativas, observou-se tendência a maior eficiência do uso da água nos tratamentos que receberam menor lâmina de irrigação. O manejo com tensiometria, tensão crítica de 30 kPa, promoveu reduções na quantidade de irrigações e na lâmina total aplicada, no entanto, resultou em reduções significativas na produtividade. Quando analisado em termos de eficiência do uso da água, apresentou o maior valor, porém não diferiu significativamente dos demais tratamentos, onde foram aplicadas maiores lâminas. Provavelmente não foram observadas diferenças significativas devido ao aumento linear de produtividade em função da aplicação de maiores lâminas. Observaram-se menores valores de eficiência do uso da água com aplicação de maiores lâminas. Resultados semelhantes foram observados por Fizzone (1986) e por Garrido (1998).

O valor médio de eficiência do uso da água observado neste trabalho, 8,86 kg mm⁻¹ de água aplicado foi superior ao intervalo especificado por Doorenbos & Kassam (1979), que obtiveram para a cultura do feijoeiro, o valor da eficiência de uso da água na produção de grãos com umidade de 10% é da ordem de 3 kg mm⁻¹ a 6 kg mm⁻¹.

Ao analisar os valores obtidos com o tratamento TE+CR, verifica-se que a massa de grãos por milímetro de água aplicado foi de aproximadamente $9,22 \text{ kg mm}^{-1}$. Estes resultados se assemelham às relações entre produtividade e lâminas de água aplicadas no trabalho desenvolvido por Chagas et al. (1994). Estes autores também verificaram maior eficiência do uso da água nos tratamentos que receberam menores lâminas totais de irrigação.

Embora a eficiência do uso da água seja um dos parâmetros utilizados para definir as estratégias de aplicação de água, deve-se considerar as condições limitantes da produtividade e o preço do produto para se estabelecer o regime hídrico a ser adotado na lavoura, pois obter a máxima relação entre produtividade e lâmina de água aplicada quase nunca é a melhor opção econômica.

3.4 CONCLUSÕES

Nas condições em que este experimento foi conduzido os resultados permitem concluir que:

1. A produtividade do feijoeiro é diferenciada com o manejo da irrigação pelos métodos da tensiometria, tanque Classe A e Penman-Monteith;
2. O feijoeiro irrigado cultivado em plantio direto no sistema integração lavoura-pecuária apresenta maior produtividade de grãos quando manejado pelo método do tanque Classe A;
3. O método do tanque Classe A proporciona os maiores valores de lâminas de água e promove maior frequência de irrigações em relação aos outros dois métodos;
4. Plantas de feijoeiro submetidas a déficit hídrico de 21% e 37%, nas fases vegetativa e reprodutiva, respectivamente, tem sua produtividade reduzida em 29%.
5. Déficit hídrico de 22% na fase reprodutiva é capaz de reduzir a produtividade do feijoeiro em 15%;
6. Dentro do intervalo de 272,04 mm a 407,39 mm de água a aplicação de maiores lâminas propicia aumento na produtividade de grãos do feijoeiro;
7. O manejo por tensiometria com tensão crítica de 30 kPa a 35 kPa propicia reduções de até 40% nas lâminas de água, porém, causa reduções na produtividade do feijoeiro;
8. O número de grãos por vagem e a altura das plantas variam em função do regime hídrico, com reduções significativas devido a irrigações com menores lâminas; e

9. Os métodos de manejo da irrigação não proporcionam diferenças significativas eficiência do uso da água.

4 COEFICIENTES DO TANQUE CLASSE A (K_p) PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_0) EM SANTO ANTÔNIO DE GOIÁS, GOIÁS

RESUMO

Os valores de K_p podem ser determinados por vários métodos, a maioria baseia-se em dados de velocidade do vento, umidade relativa do ar e nas condições e na extensão da área de bordadura que circunda o tanque. O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho de métodos de estimativa do coeficiente do tanque Classe A (K_p), e o uso de um K_p arbitrário e constante (0,70) na estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) a partir da evaporação do tanque Classe A (ECA). O trabalho foi realizado com base nos dados meteorológicos da estação climatológica automatizada da Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás, Goiás. Elaborou-se o estudo com base em dados meteorológicos diários do ano de 2007. Foram avaliados os métodos de estimativa do K_p propostos por Snyder (1992), Cuenca (1989), Pereira et al. (1995), FAO/56 (Allen et al. 1998), e os valores tabelados propostos por Doorenbos e Pruitt (1977). Os métodos foram avaliados nos períodos anual, seco e chuvoso, comparou-se por meio da análise de regressão, a ET_0 obtida com a evaporação do tanque Classe A e os valores de K_p estimados com a ET_0 estimada pelo modelo de Penman-Monteith. O mesmo procedimento foi adotado para avaliar o desempenho de um valor constante em 0,70. Os resultados mostraram que independente do K_p , o método do tanque Classe A apresentou evapotranspiração maior que a obtida com Penman-Monteith. Para as condições climáticas nas quais se realizou o trabalho, o melhor método de determinação do K_p , para a estimativa da ET_0 no período anual foi o de Pereira et al. (1995). Para o período seco foi o proposto por Cuenca (1989). No período chuvoso todos os métodos apresentaram baixos desempenhos, no entanto, o método de Pereira et al. (1995) mostrou-se mais eficiente. Observou-se que o método do tanque Classe A não é eficiente para estimar a ET_0 no período chuvoso. As análises mostraram que a adoção de um K_p fixo e constante em 0,70 resultou em elevado desempenho, principalmente nos períodos anual e seco, sendo uma opção bastante prática, porém, faz-se necessário sua determinação para o local onde será aplicado.

Palavras-chave: Penman-Monteith, evaporação, clima, manejo da irrigação.

ABSTRACT

CLASS A PAN COEFFICIENTS (K_p) TO ESTIMATE REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION (ET_0) IN SANTO ANTÔNIO DE GOIÁS, GOIÁS STATE, BRAZIL

The values of K_p can be determined for several methods, using wind speed, relative humidity and fetch length and conditions. The objective of this study was to evaluate the acting of methods of estimate of the coefficient of the class A pan (K_p), and the use of an arbitrary and constant K_p (0,70) in the estimate of the reference evapotranspiration (ET_0) starting from the evaporation of the class A pan (ECA). The work was accomplished with base in the climatic data of Rice and Bean Research Center (Embrapa Arroz e Feijão) automated climatological station, in Santo Antônio de Goiás, Goiás State, Brazil. The study was elaborated with base in data climatic diaries of the year of 2007. They were appraised the methods of estimate of K_p proposed by Snyder (1992), Cuenca (1989), Pereira et al. (1995), FAO/56 (Allen et al. 1998), and the fixed values proposed by Doorenbos & Pruitt (1977). The methods were appraised in the annual period, dry and rainy season, it was compared through the regression analysis, ET_0 obtained with the evaporation of the class A pan and the values of estimated K_p with estimated ET_0 for the model of Penman-Monteith. The same procedure was adopted to evaluate the acting of constant value in 0,70. The results showed that independent of K_p , the method of the class A pan presented larger evapotranspiration than obtained her with Penman-Monteith. For the climatic conditions in which he took place the work, the best method of determination of K_p , for the estimate of ET_0 in the annual period was it of Pereira et al. (1995). For the dry season it was it proposed by Cuenca (1989). In the rainy season all of the methods presented low actings, however, Pereira et al. (1995) it was shown more efficient. It was observed that the method of the class A pan is not efficient to esteem ET_0 in the rainy season. The analyses showed that the adoption of a fixed and constant K_p in 0,70 resulted in high acting, mainly in the annual period and dry season, being a practical plenty option, however, it is done necessary his determination for the place where will be applied.

Key words: Penman-Monteith, evaporation, climate, irrigation management.

4.1 INTRODUÇÃO

O processo de ocorrência simultânea da evaporação da água do solo e da transpiração da água pela planta é denominado evapotranspiração. É considerado o principal componente de saída do balanço hídrico sendo um processo de grande relevância para o manejo hídrico. Para Pereira et al. (1997), a evapotranspiração é controlada principalmente pela disponibilidade de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas.

Para determinar o quanto de água está sendo consumida nos processos de evaporação e transpiração, é necessária a utilização de métodos que permitam estimar com

precisão esses gastos que serão repostos via água de irrigação, caso as chuvas não sejam suficientes.

Na escolha de um método para a determinação da evapotranspiração, devem ser levados em consideração praticidade e precisão, pois, apesar desses métodos teóricos e micrometeorológicos serem baseados em princípios físicos, apresentam limitações, principalmente quanto à instrumentação, o que pode restringir a utilização.

Apesar de algumas desvantagens, como a superexposição às condições ambientais, a facilidade de acesso de animais, e ao fato da evaporação ocorrer também no período noturno (Sentelhas, 2001), o tanque Classe A é tido como um dos métodos indiretos passível de utilização no manejo de áreas irrigadas, em virtude do custo relativamente baixo e do fácil manejo. No entanto, sua adoção no manejo exige que sejam observados alguns aspectos, principalmente quanto à escolha do coeficiente do tanque Classe A (K_p) a ser utilizado. Sentelhas & Folegatti (2003) alertaram para a necessidade de ajuste do K_p para as condições locais de aplicação do método.

O método integra na medida da evaporação de uma superfície de água livre os efeitos da radiação solar, da velocidade do vento, da temperatura, umidade relativa do ar e do poder evaporante do ar do local em que o tanque está instalado (Klosowski & Galvani, 1997; Mendonça et al., 2006).

Para se estimar a evapotranspiração de referência (ET_0) com base na evaporação do tanque Classe A (ECA) multiplica-se o valor da ECA por um coeficiente do tanque (K_p) determinando-se, assim, a ET_0 . Existem vários métodos para se estimar o valor do K_p , praticamente todos eles são baseados em dados diários médios de velocidade de vento (u), umidade relativa (H) e no tipo e tamanho da bordadura que circunda o tanque Classe A (F) (Doorenbos & Pruitt, 1977). Contudo, é necessário que se estabeleça qual metodologia é capaz de propiciar a melhor estimativa da ET_0 com base na ECA, para a localidade desejada (Conceição, 2002).

Doorenbos & Pruitt (1977) apresentaram uma tabela com valores de K_p variando de 0,40 a 0,85, dependentes das variáveis meteorológicas e da bordadura que circunda o tanque. Cuenca (1989) modificou a equação proposta por Frevert et al. (1983) e sugeriu uma equação polinomial para estimar valores diários de K_p . Snyder (1992) considerou a equação proposta por Cuenca (1989) muito complexa e com resultados insatisfatórios para algumas condições meteorológicas quando comparada aos coeficientes

tabelados propostos por Doorenbos & Pruitt (1977), então propôs um método de regressão linear múltipla para estimar o coeficiente do tanque. O método proposto por Pereira et al. (1995) baseia-se na temperatura do ar e na constante psicrométrica. No boletim 56 da FAO, Allen et al. (1998) apresentaram uma equação de regressão derivada da tabela de Doorenbos & Pruitt para se estimar o K_p com base na velocidade do vento, umidade relativa e no tipo e extensão da bordadura em volta do tanque.

Allen et al. (1998) colocaram que a equação pode não ser capaz de englobar todas as variáveis meteorológicas que influenciam o K_p , fazendo-se necessário ajustes para condições locais. Os ajustes podem ser feitos com base em comparações entre a evaporação do tanque Classe A e a ET_0 estimada pelo modelo de Penman-Monteith, como apresentado por Conceição (2002) para as condições do noroeste do Estado de São Paulo, ou baseada na ECA e a ET_0 medida em lisímetro, conforme apresentado por Sentelhas & Folegatti (2003) para Piracicaba, São Paulo.

Mesmo com vários métodos para se calcular o K_p , Sentelhas & Folegatti (2003) afirmaram que são poucos os trabalhos que avaliaram a precisão e desempenho desses métodos nas condições climáticas brasileiras.

Conforme colocado por Smith et al. (1990), uma forma de verificar a eficiência de um método de estimativa da evapotranspiração de referência é a comparação com o método-padrão Penman-Monteith recomendado pela FAO.

Diante da importância de se estimar corretamente a ET_0 , o presente estudo teve por objetivo avaliar o desempenho de métodos de estimativa do K_p e o uso de um valor fixo e constante (0,70) na estimativa da ET_0 diária, a partir da evaporação do tanque Classe A sob as condições climáticas da sede da Embrapa Arroz e Feijão no município de Santo Antônio de Goiás, Goiás, Brasil.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido com informações meteorológicas obtidas da estação automatizada da Embrapa Arroz e Feijão instalada em Santo Antônio de Goiás, Goiás, Brasil, (16° 28' S e 49° 17' W; a 823 m de altitude). Para avaliar o desempenho e a precisão dos métodos de estimativa do coeficiente do tanque (K_p) foram obtidos dados diários de temperatura máxima ($T_{máx}$), mínima ($T_{mín}$) e média (T), umidade relativa máxima ($H_{máx}$), mínima ($H_{mín}$) e média (H) e velocidade do vento a 2 m do solo (u),

radiação (R_n) e evaporação do tanque Classe A, durante 145 dias do ano de 2007. Trabalhou-se, em média, com doze valores diários em cada mês. Assim como foi feito por Mendonça et al., (2006), foram excluídos os dados referentes aos dias em que houve ocorrência de altas precipitações, assim como o dia posterior, em que foram observados dados discrepantes, incompletos e até inconsistentes, visando obter agrupamentos de dados mais representativos.

4.2.1 Estimativa da evapotranspiração

A ET_0 diária considerada como padrão foi estimada usando o modelo de Penman-Monteith com parametrização proposta por Allen et al. (1998), com os dados meteorológicos obtidos da estação automatizada. Calculou-se a ET_0 pelo método do tanque Classe A usando os coeficientes do tanque obtidos pelos métodos avaliados neste trabalho, e os valores foram comparados com a ET_0 estimada pelo modelo de Penman-Monteith.

$$ET_0 = \frac{0,408s (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u (e_s - e_a)}{s + \gamma(1 + 0,34u)} \quad (4.1)$$

em que: ET_0 é a evapotranspiração de referência estimada pelo modelo de Penman-Monteith, mm d^{-1} ; R_n é o saldo de radiação, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$; G o fluxo de calor no solo, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$; s a tangente à curva de pressão de saturação na temperatura do ar, $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$; γ a constante psicrométrica, $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$; T a temperatura média do ar, $^\circ\text{C}$; u é a velocidade do vento a 2 m de altura, m s^{-1} ; e $(e_s - e_a)$ o déficit de pressão de vapor, kPa .

4.2.2 Coeficientes do tanque Classe A

Para estimativa da ET_0 pelo método do tanque Classe A, os valores dos coeficientes do tanque (K_p) diários foram estimados pelos métodos de Doorenbos & Pruitt (1977), Snyder (1992), Cuenca (1989), Pereira et al. (1995), Allen et al. (1998) e ainda avaliou-se a adoção de um valor fixo do K_p em 0,7.

4.2.2.1 Valores tabelados propostos por Doorenbos & Pruitt (1977)

O método baseado na tabela proposta por Doorenbos & Pruitt (1977) é o método mais comumente apresentado na literatura, o valor do K_p é dado em função da velocidade do vento, umidade relativa média e das condições e tamanho da bordadura que circunda o tanque (Tabela 4.1).

Tabela 4.1. Valores de coeficiente do tanque propostos por Doorenbos & Pruitt (1977), em função da velocidade do vento, umidade relativa média do ar e do meio circundante ao tanque.

Velocidade do vento (m s ⁻¹)	Posição do tanque R* (m)	Tanque circundado por grama			Tanque circundado por solo nu		
		Umidade relativa média			Umidade relativa média		
		Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta
		< 40%	40-70%	>70%	< 40%	40-70%	>70%
Fraco < 2	0	0,55	0,65	0,75	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	0,50	0,60	0,70
Moderado 2-5	0	0,50	0,60	0,65	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	0,45	0,55	0,60
Forte 5-8	0	0,45	0,50	0,60	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	0,50	0,55	0,65
	100	0,60	0,65	0,75	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	0,40	0,45	0,55
Muito forte >8	0	0,40	0,45	0,50	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	0,35	0,40	0,45

* Por R entende-se a menor distância do centro do tanque ao limite da bordadura.

Fonte: Doorenbos & Kassam (1994).

4.2.2.2 Modelo proposto por Snyder (1992)

O método de estimativa do K_p proposto por Snyder (1992) é baseado em uma equação de regressão linear múltipla:

$$K_p = 0,482 + 0,0241 \ln(V) - 0,000376m + 0,0045H \quad (4.2)$$

em que: $\ln(F)$ é logaritmo natural de F que é a bordadura da área que circunda o tanque, no caso grama, considerada, no presente trabalho, igual a 10 m; u : velocidade do vento em km d^{-1} medida a 2 m do solo; H é a umidade relativa média, em percentagem.

4.2.2.3 Método de Cuenca (1989)

Conforme mostrado na equação 4.3, o método baseia-se em uma equação polinomial para estimar valores diários de K_p com base na velocidade do vento, umidade relativa e no tipo e extensão da bordadura em volta do tanque:

$$K_p = 0,475 - 2,4 \times 10^{-4} u + 5,16 \times 10^{-3} H + 1,18 \times 10^{-3} F - 1,6 \times 10^{-5} H^2 - 1,01 \times 10^{-6} F^2 - 8,0 \times 10^{-9} H^2 u - 1,0 \times 10^{-8} H^2 F \quad (4.3)$$

em que: u : velocidade do vento medida a 2 m do solo, m s^{-1} ; F é dado pela distância da bordadura que circunda o tanque, 10 m de grama, no presente trabalho; H é a umidade relativa média.

4.2.2.4 Modelo de Pereira et al. (1995)

O método proposto por Pereira et al. (1995) baseia-se na temperatura do ar e na constante psicrométrica:

$$K_p = K_{p\text{máx}} \frac{(s + \gamma)}{\left[s + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a} \right) \right]} \quad (4.4)$$

em que: considera-se $K_{p\text{máx}}$ de 0,85, como observado por Pereira et al. (1997), sendo esse o maior valor encontrado na Tabela proposta por Doorenbos & Pruitt (1977); s é a tangente à curva de pressão de saturação na temperatura do ar, $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$; γ a constante psicrométrica, em $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$; $\frac{r_c}{r_a}$ a relação entre a resistência do dossel foliar da grama a difusão do vapor d'água (r_c) e a resistência aerodinâmica para a troca do vapor d'água de uma superfície evaporante (r_a). Para se obter tal relação procedeu-se conforme sugerido por Allen et al.

(1998), aplicou-se uma relação empírica com a velocidade do vento (u) em $m s^{-1}$ medida a 2 m do solo, conforme a equação 4.5.

$$\frac{r_c}{r_g} = 0,34u \quad (4.5)$$

4.2.2.5 Modelo recomendado pela FAO/56 (Allen et al., 1998)

No Boletim 56 da FAO, Allen et al. (1998) apresentaram uma equação de regressão derivada da tabela de Doorenbos & Pruitt (1977):

$$K_p = 0,108 - 0,0286u + 0,0422 \ln(F) + 0,1434 \ln(H) - 0,000631 [\ln(F)]^2 \ln(H) \quad (4.6)$$

em que: u é a velocidade do vento medida a 2 m do solo, $m s^{-1}$; F é dado pela distância da bordadura que circunda o tanque, 10 m de grama no presente trabalho; H é a umidade relativa média.

4.2.2.6 Valor constante do K_p em 0,7

A adoção do valor fixo em 0,7 baseia-se na determinação feita com base na relação entre a ECA e a ET_0 estimada pelo modelo de Penman-Monteith durante um ciclo da cultura do feijoeiro de inverno cultivado em área experimental da Embrapa Arroz e Feijão em Santo Antônio de Goiás, com dados referentes ao período das secas, de julho a outubro de 2007.

4.2.3 Avaliação dos métodos de determinação do K_p para a estimativa da ET_0

Os métodos de estimativa, assim como o uso de um valor fixo e constante do K_p foram avaliados quanto ao desempenho para estimativa da ET_0 a partir da ECA considerando o período anual, período chuvoso (outubro a março), e período das secas (abril a setembro), sendo esse último o período de maior interesse, pois nele se concentra a maior parte dos cultivos irrigados na região dos cerrados.

Como procedimento para avaliar o desempenho dos métodos de cálculo do K_p na estimativa da ET_0 diária a partir da evaporação do tanque Classe A, foram empregados os mesmos índices estatísticos empregados por Sentelhas & Folegatti (2003) e por Mendonça et al. (2006), que se baseiam em estudos de análise de regressão linear e no cálculo do coeficiente de exatidão de Willmott (d), do erro médio absoluto (EMA), erro máximo absoluto (EMAX) e da eficiência do método (EF), propostos por Willmott (1985) e por Zacharias et al. (1996), calculados conforme as equações 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (4.7)$$

$$EMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - E_i| \quad (4.8)$$

$$EMAX = \max(O_i - E_i)_{i=1}^n \quad (4.9)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (4.10)$$

em que: O_i é o valor observado obtido através da ECA; E_i o valor estimado pelo modelo padrão; e \bar{O} é a média dos valores observados.

Fez-se a comparação dos métodos e da adoção de K_p fixo por meio do estudo de análise de regressão linear entre a ET_0 estimada pelo método de Penman-Monteith e a ET_0 estimada através da ECA multiplicada pelo K_p fixo, e entre a ET_0 padrão com a obtida através da ECA e os valores de K_p estimados pelos métodos avaliados neste trabalho. Analisaram-se os coeficientes angular (b), de correlação (r) e de determinação (r^2) obtidos em cada caso. Os valores de coeficientes de correlação encontrados foram classificados seguindo a metodologia de Hopkins (2002), apresentada na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Classificação das correlações de acordo com o coeficiente de correlação (r).

Coeficiente de correlação (r)	Classificação
0,0 a 0,1	Muito baixa
0,1 a 0,3	Baixa

0,3 a 0,5	Moderada
0,5 a 0,7	Alta
0,7 a 0,9	Muito alta
0,9 a 1,0	Quase perfeita

Fonte: Hopkins (2002).

Com intuito de dar suporte à análise, determinou-se o coeficiente de confiança (c), conforme proposto por Camargo & Sentelhas (1997), que é o resultado do produto entre o coeficiente de correlação (r) e o coeficiente de exatidão de Willmott (d), conforme mostra a equação 4.11.

$$c = r \times d \quad (4.11)$$

Os valores de c obtidos em cada método foram avaliados conforme proposto por Camargo & Sentelhas (1997), cujos critérios para avaliação estão apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3. Critérios de interpretação do coeficiente de confiança “c” dos métodos de estimativa da ET₀.

Coeficiente de confiança “c”	Classificação
> 0,85	Ótimo
0,76 - 0,85	Muito bom
0,66 - 0,75	Bom
0,61 - 0,65	Mediano
0,51 - 0,60	Sofrível
0,41 - 0,50	Mal
≤ 0,40	Péssimo

Fonte: Camargo & Sentelhas (1997).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

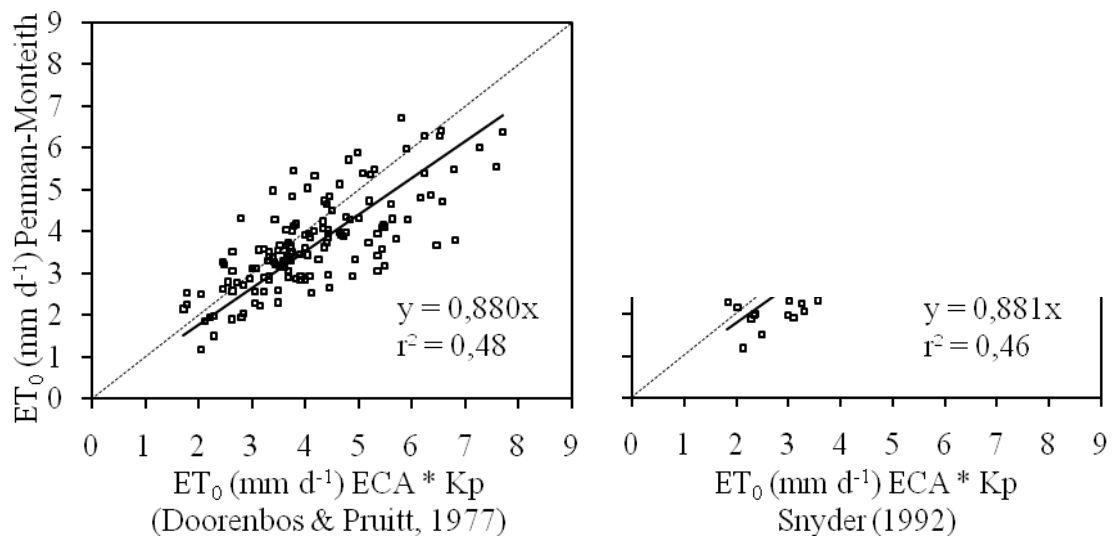
4.3.1 Período anual

Na Figura 4.1 são apresentadas as relações entre a ET₀ diária calculada durante o período anual pelo método padrão de Penman-Monteith, e a estimada com base na evaporação do tanque Classe A utilizando os coeficientes do tanque determinados pelos métodos avaliados. Ao analisar os valores dos coeficientes de determinação (r²), que

indicam as precisões das estimativas, observa-se que o K_p tabelado proposto por Doorenbos & Pruitt (1977) e Snyder (1992) apresentaram menores coeficientes em relação aos demais métodos. O mesmo foi observado por Sentelhas & Folegatti (2003) que avaliaram o desempenho de seis métodos de estimativa do K_p para o período anual, com base na ET_0 diária obtida pelo tanque Classe A e a medida em um lisímetro de pesagem, durante 112 dias, entre dezembro de 1995 e dezembro de 1996, em Piracicaba, São Paulo. No entanto, obtiveram valores de coeficientes de determinação superiores aos encontrados neste trabalho, o que, em parte pode-se atribuir ao fato de terem utilizado menor conjunto de dados, o que possibilita a eliminação de valores dispersivos.

Estes resultados diferem dos observados por Conceição (2002) que avaliou três dos métodos apresentados neste trabalho em escala mensal para as condições do noroeste do estado de São Paulo, sendo que o método proposto por Snyder (1992) apresentou melhor desempenho para estimativa da ET_0 a partir da ECA naquelas condições. Gundekar et al. (2008) em condições de clima semi árido na Índia obtiveram resultados totalmente diferentes dos observados neste trabalho, tendo verificado que o método de Snyder (1992) apresentou o melhor desempenho na estimativa do K_p . Tais resultados confirmam a importância deste trabalho, pois, demonstram a necessidade de avaliar os métodos disponíveis para cálculo do K_p para a localidade específica onde se pretende aplicá-los.

O valor médio anual de K_p , calculado para o período anual a partir da relação entre a ET_0 diária estimada pelo método padrão Penman-Monteith e a ECA foi 0,70. No período seco (abril a setembro) o K_p médio foi 0,68, o maior valor de K_p foi obtido durante o período chuvoso (outubro a março) de 0,72. Conceição (2002) também obteve coeficientes do tanque médios maiores para o período chuvoso (0,80) e menores no período seco (0,70), com o K_p médio anual de 0,74.



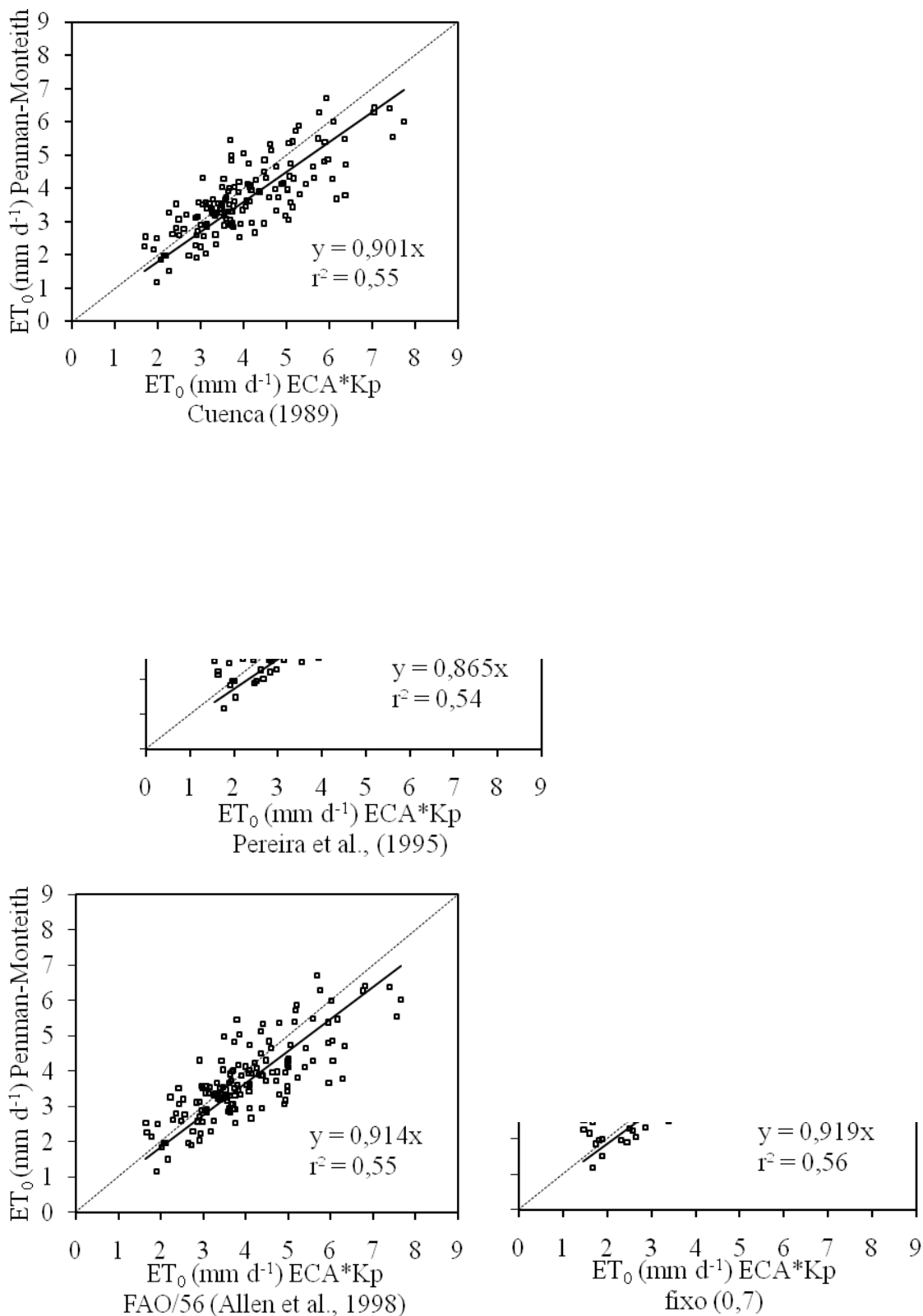


Figura 4.1. Relações entre a evapotranspiração de referência diária (ET₀) estimada pelos métodos de Penman-Monteith e do tanque Classe A, utilizando diferentes métodos de estimativa e cálculo do coeficiente do tanque (Kp), para período anual, em Santo Antônio de Goiás, Goiás.

Para a estimativa da ET_0 diária durante o período anual os métodos que apresentaram os maiores coeficientes de determinação foram os de Cuenca (1989), Allen et al. (1998) e Pereira et al. (1995). Mendonça et al. (2006) também observaram bom desempenho dos métodos de Cuenca (1989) e Allen et al. (1998) em trabalho semelhante realizado em condições de baixa altitude ($21^\circ 44' 47''$ S; $41^\circ 18' 24''$ W e 11 m de altitude) em Campos dos Goytacazes, RJ. O método de Cuenca (1989) também se destacou como mais eficiente no trabalho de Sentelhas & Folegatti (2003) em Piracicaba, São Paulo, tendo estes verificado alta eficiência do método proposto por Pereira et al. (1995).

Na Tabela 4.4 são apresentados os resultados das análises estatísticas obtidas da relação entre a ET_0 estimada pelo método de Penman-Monteith e a estimada com base na ECA usando os coeficientes do tanque obtidos com aplicação dos métodos avaliados. Observa-se que todos os métodos apresentaram coeficiente angular (b) menor que um, o que evidencia que o método do tanque Classe A, independente do K_p utilizado, superestimou os valores de ET_0 estimados pelo método padrão FAO - Penman-Monteith. O mesmo foi observado por Mendonça et al. (2006); Conceição (2002) e por Sentelhas & Folegatti (2003).

Tabela 4.4. Análise estatística para avaliação dos métodos de estimativa e cálculo do coeficiente do tanque (K_p) para determinação da evapotranspiração de referência diária (ET_0) pelo método do tanque Classe A, no período anual, em Santo Antônio de Goiás, Goiás.

Método	b	r^2	d	EMA	EMAX	EF
				(mm d ⁻¹)		
Doorenbos & Pruitt (1977)	0,88	0,48	0,83	0,70	3,01	0,43
Snyder (1992)	0,88	0,46	0,82	0,72	3,07	0,34
Cuenca (1989)	0,90	0,55	0,87	0,64	2,57	0,55
Pereira et al. (1995)	0,86	0,54	0,86	0,71	3,31	0,61
Allen et al. (1998)	0,91	0,55	0,88	0,63	2,48	0,57
K_p fixo (0,7)	0,92	0,56	0,90	0,60	2,61	0,71

b: coeficiente angular; r^2 : coeficiente de determinação; d: coeficiente de exatidão de Willmott; EMA: erro médio absoluto; EMAX: erro máximo absoluto; EF: eficiência do método.

O erro médio absoluto das estimativas de ET_0 obtidas pelo método do tanque Classe A com os K_p avaliados em relação às obtidas com o modelo padrão Penman-Monteith, variou de 0,63 mm d⁻¹ a 0,72 mm d⁻¹ nos métodos de Allen et al. (1998) e Snyder (1992), respectivamente. Esses resultados se assemelham aos obtidos por

Sentelhas & Folegatti (2003), que observaram maior erro médio absoluto (0,64) com o modelo de Snyder (1992), resultado semelhante foi obtido por Mendonça (2001).

Com base na análise dos dados, o método que apresentou melhor desempenho para determinação do K_p visando converter a ECA em ET_0 foi o proposto por Pereira et al. (1995), com valor de $d = 0,86$ e eficiência 0,61, seguido por Allen et al. (1998), com $d = 0,88$; $EF = 0,57$ e Cuenca (1989), $d = 0,87$; $EF = 0,55$. Esses resultados corroboram com os de Mendonça et al. (2006), que verificaram melhor desempenho dos métodos de Cuenca (1989) e Allen et al. (1998). O método de Cuenca (1989) também apresentou melhor desempenho no trabalho de Sentelhas & Folegatti (2003). Marcussi et al. (2006) encontrou coeficiente de determinação de 0,9928 entre dados de evapotranspiração calculada pela ECA usando K_p de Allen et al. (1998) e a evapotranspiração calculada com o modelo de Penman-Monteith em Quillota no Chile ($32^\circ 53' S$; $71^\circ 15' O$; a 350 m de altitude).

A análise revelou que a adoção de um K_p fixo em 0,70 para estimativa diária da ET_0 com base na ECA no período anual, apresentou o melhor desempenho. De fato, o K_p médio para o período anual, calculado pela relação entre a ET_0 estimada pelo modelo padrão e a obtida a partir da ECA foi 0,70. Tal resultado confirma que a utilização de um K_p fixo, determinado especificamente para a localidade onde será aplicado, é uma opção prática e eficiente, passível de adoção, especialmente por não haver necessidade de dados meteorológicos e eliminar esta etapa de aplicação do método. Sentelhas & Folegatti (2003) também obtiveram estimativas precisas para período anual com a utilização de um K_p fixo de 0,71 em Piracicaba.

Ao compararmos o desempenho dos métodos de estimativa do K_p com base nos valores do coeficiente de correlação (r) proposto por Hopkins (2002) e no índice de confiança (c) sugerido por Camargo & Sentelhas (1997), Tabela 4.5, verifica-se que a classificação proposta por Hopkins (2002) é menos distintiva em relação a proposta de Camargo & Sentelhas (1997). Com base na proposta de Hopkins todos os métodos foram classificados com desempenho muito alto para as correlações, com valores de r variando de 0,72 a 0,85. Quanto ao coeficiente de confiança proposto por Camargo & Sentelhas (1997), os valores de c variaram de 0,59 a 0,77, sendo que, houve diferenciação quanto ao desempenho dos métodos. Tais resultados mostram que a classificação com base no índice de confiança (c) classifica dentro de um intervalo de classes menor, sendo capaz de

classificar com maior distinção os métodos de estimativa do K_p . Cabe destacar que os valores de r e c foram equivalentes.

Com base nos coeficiente de correlação (r) e no índice de confiança (c), os métodos de Pereira et al. (1995), Allen et al. (1998) e Cuenca (1989), foram respectivamente, os melhores métodos de estimativa do K_p para converter ECA em ET_0 . A adoção de um valor fixo para o K_p apresentou resultados melhores que os obtidos com todos os métodos de estimativa avaliados. Os métodos que apresentaram o pior desempenho foram o de Snyder (1992) e Doorenbos & Pruitt (1977). Esses resultados diferem dos obtidos por Conceição (2002) que comparou a ET_0 mensal estimada com base na ECA com a de Penman-Monteith, média de dez anos, concluiu que o método de Snyder (1992) apresentou o melhor desempenho, com índice de confiança de 0,88.

Tabela 4.5. Coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), e classificação do desempenho dos métodos de determinação do K_p para estimativa diária da ET_0 pelo método do tanque Classe A, no período anual, em Santo Antônio de Goiás, Goiás, conforme proposto por Hopkins (2002) e por Camargo & Sentelhas (1997).

Método	r	Classificação*	c	Classificação**
Doorenbos & Pruitt (1977)	0,74	Muito alta	0,62	Mediano
Snyder (1992)	0,72	Muito alta	0,59	Sofrível
Cuenca (1989)	0,79	Muito alta	0,68	Bom
Pereira et al. (1995)	0,83	Muito alta	0,72	Bom
Allen et al. (1998)	0,79	Muito alta	0,69	Bom
K_p fixo (0,7)	0,85	Muito alta	0,77	Muito bom

*Hopkins (2002); **Camargo & Sentelhas (1997).

É interessante ressaltar que a maioria das publicações relacionadas ao manejo de culturas irrigadas com uso do tanque Classe A, recomendam ou trazem apresentado o método baseado na tabela proposta por Doorenbos & Pruitt (1977). No entanto, neste trabalho, o método apresentou um dos piores desempenhos quanto à precisão nas estimativas das ET_0 com base na ECA. Se analisarmos os valores apresentados na Tabela 4.1 proposta por Doorenbos & Pruitt (1977), será possível observar que os valores de K_p tabelados são mantidos inalterados dentro uma faixa relativamente ampla de valores de umidade relativa e velocidade do vento. A tabela ainda propicia alterações expressivas no valor do K_p dentro de pequenos intervalos de UR, como exemplo, tem-se nas mesmas condições de bordadura e velocidade do vento, com UR de 70% K_p 0,65, sendo que, com

UR de 71% o valor sobe para 0,75. Quando se utilizam métodos baseados em equações tais inconvenientes são eliminados.

4.3.2 Período seco

Na Figura 4.2 são apresentadas as relações entre a ET_0 diária calculada durante o período seco, início de abril ao final de setembro, pelo método padrão de Penman-Monteith, e a estimada com base na evaporação do tanque Classe A utilizando os K_p determinados pelos métodos e fixo em 0,70. Ao analisar apenas o período seco, independente do modelo empregado para obtenção do K_p , a ET_0 estimada com base na ECA fica mais próxima da estimada pelo modelo de Penman-Monteith, pois todos os coeficientes de determinação foram maiores nesse período. Ainda se compararmos o valor médio do K_p em cada período, veremos que o K_p calculado para o período seco 0,68 é menor que o estabelecido quando se considerou todo o ano 0,70, ou seja, no período seco a ECA aumenta devido a menor umidade relativa do ar e de ventos mais velozes, o que fez com que as relações entre as ET_0 estimadas pelos dois métodos apresentassem maiores coeficientes de determinação.

Assim como observado no período anual, no período seco a avaliação dos métodos com base nos valores de r^2 obtidos das relações, revelou o desempenho superior dos métodos de Cuenca (1989) e Allen et al. (1998), com valores de r^2 de 0,68 e 0,66, respectivamente. De fato, o modelo proposto por Cuenca (1989) tem-se apresentado como o melhor método para estimar o K_p , foi o que apresentou maior coeficiente de determinação no trabalho de Mendonça et al. (2006); os autores trabalharam com dados de três anos, tendo comparado a ET_0 diária estimada pela ECA com a do modelo de Penman-Monteith em baixa altitude no norte do Estado do Rio de Janeiro. Sentelhas & Folegatti (2003) também observaram um dos maiores coeficientes de determinação com o modelo de Cuenca (1989) nas condições já mencionadas neste trabalho.

Da mesma forma como observado no período anual, no período seco o menor valor de r^2 foi obtido com o modelo de Snyder (1992). Conforme já citado, resultados referentes ao desempenho deste modelo são bastante controversos.

Com base nas relações apresentadas para o período seco (Figura 4.2), é possível afirmar que a adoção do valor de K_p fixo em 0,70 mostrou ser uma boa alternativa para estimar a ET_0 a partir da ECA, visto que apresentou um dos maiores valores de r^2 .

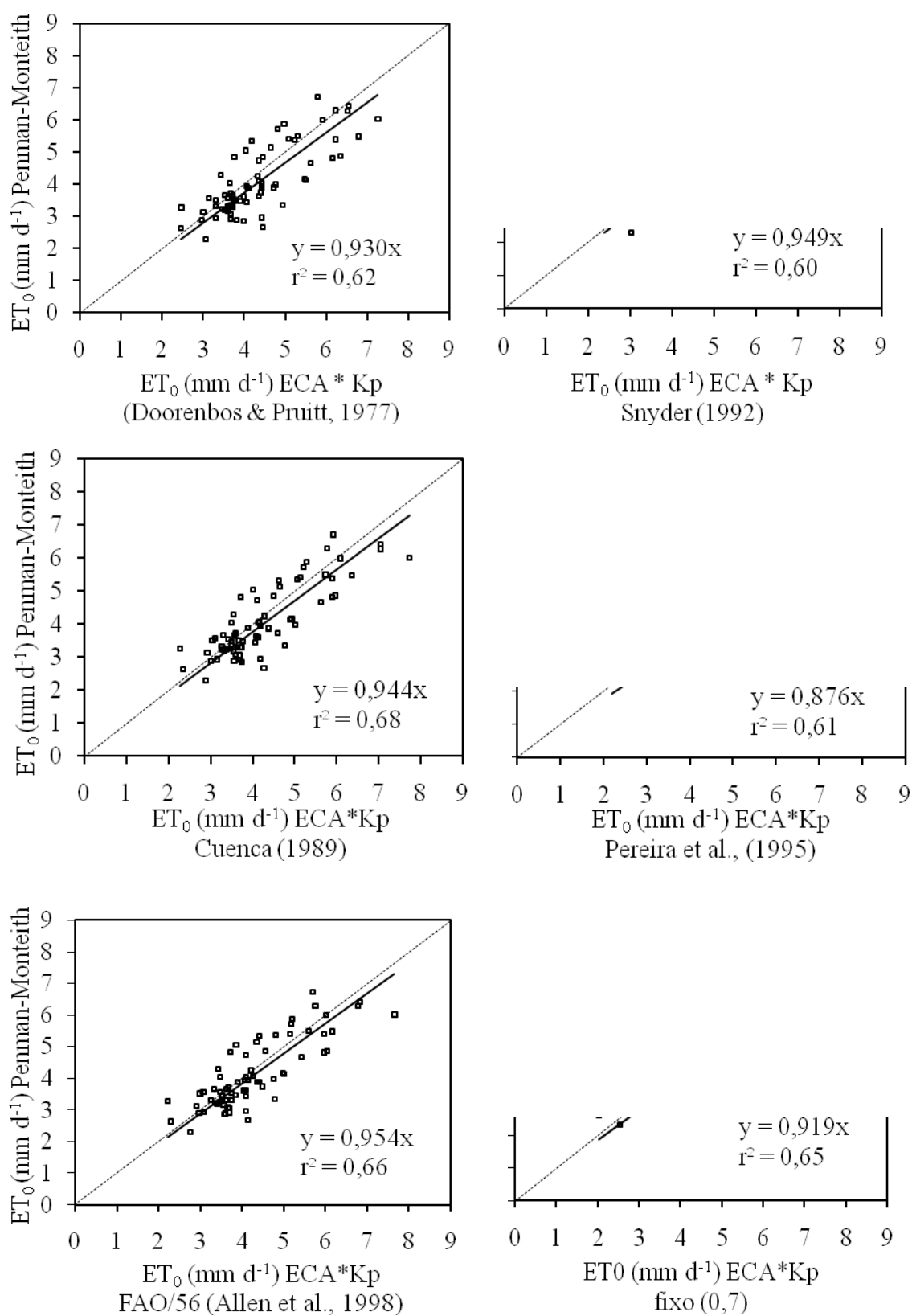


Figura 4.2. Relações entre a evapotranspiração de referência diária (ET_0) estimada pelos métodos de Penman-Monteith e do tanque Classe A, utilizando diferentes métodos de estimativa e cálculo do coeficiente do tanque (K_p), para período seco, em Santo Antônio de Goiás, Goiás.

Cabe destacar que o valor médio do K_p para o período seco foi 0,68. No entanto, adotar tal valor em substituição ao já fixado não proporciona aumento no coeficiente de determinação, pois durante o período de coleta de dados obtiveram-se valores de ECA inferiores e superiores a ET_0 obtida com o modelo padrão. Tal procedimento seria capaz de propiciar apenas aumento no coeficiente angular, que passaria de 0,92 (Tabela 4.6) para 0,99.

Tabela 4.6. Análise estatística para avaliação dos métodos de estimativa e cálculo do coeficiente do tanque (K_p) para determinação da evapotranspiração de referência diária (ET_0) pelo método do tanque Classe A, no período seco, em Santo Antônio de Goiás, Goiás.

Método	b	r^2	d	EMA		EF
				(mm d ⁻¹)		
Doorenbos & Pruitt (1977)	0,93	0,62	0,87	0,58	1,78	0,52
Snyder (1992)	0,95	0,60	0,87	0,57	1,96	0,48
Cuenca (1989)	0,94	0,68	0,91	0,52	1,71	0,66
Pereira et al. (1995)	0,88	0,61	0,86	0,68	2,80	0,61
Allen et al. (1998)	0,95	0,66	0,90	0,53	1,63	0,64
K_p fixo (0,7)	0,92	0,65	0,91	0,53	2,45	0,73

b: coeficiente angular; r^2 : coeficiente de determinação; d: coeficiente de exatidão de Willmott; EMA: erro médio absoluto; EMAX: erro máximo absoluto; EF: eficiência do método.

Conforme pode ser observado na Tabela 4.6, com todos os métodos foram obtidos coeficiente angulares menores que um. Portanto, no período seco o método do tanque Classe A superou a ET_0 do modelo padrão FAO/56.

A análise estatística (Tabela 4.6) possibilitou confirmar o melhor desempenho no período seco do método de Cuenca (1989), que apresentou o maior coeficiente de exatidão de Willmott, 0,91; este índice está relacionado ao afastamento dos valores observados em relação aos estimados pelo modelo padrão, seus valores variam de zero para nenhuma concordância a um para concordância perfeita. Com o método de Cuenca (1989) também foi obtido o menor erro médio absoluto 0,52 mm d⁻¹, o segundo menor erro máximo absoluto (1,71 mm d⁻¹), e destacou-se como o método mais eficiente de cálculo do K_p . O menor EMAX foi 1,63 mm d⁻¹, obtido com o modelo de Allen et al. (1998).

O K_p fixo apresentou a maior eficiência (0,73) superior ao valor obtido com todos os métodos, o coeficiente de exatidão foi o mesmo do modelo de Cuenca (1989). No entanto, apresentou elevado erro máximo absoluto (2,45), provavelmente pelo fato da

fixação não permitir variações no K_p em função das variáveis meteorológicas vigentes na situação em que se fez a leitura da ECA, o que aumenta a amplitude entre valores extremos de ET_0 . Adotar um K_p fixo em 0,70 para estimar a ET_0 usando tanque Classe A no período seco nas condições climáticas de Santo Antônio de Goiás, Goiás, apresentou-se como uma alternativa prática e recomendável para fins de manejo de irrigação.

Diferente do observado no período anual, no período seco o método proposto por Pereira et al. (1995) apresentou o menor coeficiente de exatidão, além de redução na eficiência. Nos dois períodos em questão o método apresentou o maior erro máximo absoluto, tal comportamento era esperado, visto que o método traz inserido na base de cálculos a utilização de um valor máximo de K_p já pré-fixado em 0,85, o que propicia obtenção de coeficientes elevados.

Conforme apresentado na Tabela 4.7, os coeficientes de correlação variaram entre 0,78 e 0,85, obtidos respectivamente com os modelos de Snyder (1992) e Pereira et al. (1995). No entanto, de acordo com a classificação proposta por Hopkins (2002) todos os métodos foram classificados com desempenho muito alto.

Tabela 4.7. Coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), e classificação do desempenho dos métodos de determinação do K_p para estimativa diária da ET_0 pelo método do tanque Classe A, no período seco, em Santo Antônio de Goiás, Goiás, conforme proposto por Hopkins (2002) e Camargo & Sentelhas (1997).

Método	r	Classificação*	c	Classificação**
Doorenbos & Pruitt (1977)	0,80	Muito alta	0,69	Bom
Snyder (1992)	0,78	Muito alta	0,68	Bom
Cuenca (1989)	0,84	Muito alta	0,76	Muito bom
Pereira et al. (1995)	0,85	Muito alta	0,73	Bom
Allen et al. (1998)	0,83	Muito alta	0,74	Bom
K_p fixo (0,7)	0,88	Muito alta	0,80	Muito bom

*Hopkins (2002); **Camargo & Sentelhas (1997).

Na classificação com base no coeficiente de confiança proposto por Camargo & Sentelhas (1997), o modelo de Cuenca (1989) apresentou maior valor do coeficiente c (0,76), vindo a ser o único método classificado com desempenho muito bom.

Com o K_p fixado em 0,70 foi obtido o maior coeficiente de correlação (0,88), e o maior índice de confiança (0,80), conforme classificação de Camargo & Sentelhas (1997) apresentou desempenho muito bom, o que confirma a possibilidade de adoção do K_p fixo.

4.3.3 Período chuvoso

As relações para o período chuvoso são apresentadas na Figura 4.3, onde observa-se que independente do método utilizado no cálculo do K_p , as relações apresentaram baixos valores de coeficientes de determinação. Com base no observado, é possível afirmar que o método do tanque Classe A não é eficiente para estimar a ET_0 no período chuvoso. O mau desempenho provavelmente se deve ao fato do tanque ter sua superfície evaporante exposta às precipitações. Santos et al. (2008) ressaltaram que uma das limitações do uso dos tanques evaporimétricos é a ocorrência de precipitações. De fato, Jensen et al. (1990) observaram que durante períodos chuvosos, esse método apresenta inconsistência na escala diária, principalmente pela dificuldade de separar eventos pluviais da evaporação.

Mesmo todos os métodos tendo apresentado baixos coeficientes de determinação, o modelo de Allen et al. (1998) e Cuenca (1989) foram os que propiciaram a obtenção dos maiores coeficientes de determinação no período chuvoso. O valor fixo em 0,70 apresentou baixo desempenho, com r^2 igual a 0,34. Cabe salientar que o K_p médio calculado para no período chuvoso foi 0,72. Assim como observado no período anual e seco, o método de Snyder (1992) apresentou o menor valor de r^2 .

É interessante destacar que o mau desempenho do modelo de Snyder (1992) nas condições em que este trabalho foi desenvolvido diferem completamente dos resultados obtidos por Gundekar et al. (2008) em condições de clima semiárido na Índia. Os autores trabalharam com dados de 32 anos, em escala diária, mensal e anual, a ET_0 estimada pelo tanque Classe A com os coeficientes calculados pelos métodos de Cuenca (1989), Snyder (1992), Orang (1998), Raghuwanshi & Wallender (1998) e Pereira et al. (1995) foi comparada com a estimada pelo modelo padrão Penman-Monteith. Observaram que, (1989) em condições semiáridas o modelo de Snyder (1992) apresentou o melhor desempenho nas escalas diárias, mensais e anuais. Os métodos de Pereira et al. (1995) e Cuenca apresentaram os piores desempenhos, o que contradiz totalmente os resultados observados neste trabalho, provavelmente devido às condições climáticas diferenciadas onde os dois trabalhos foram conduzidos.

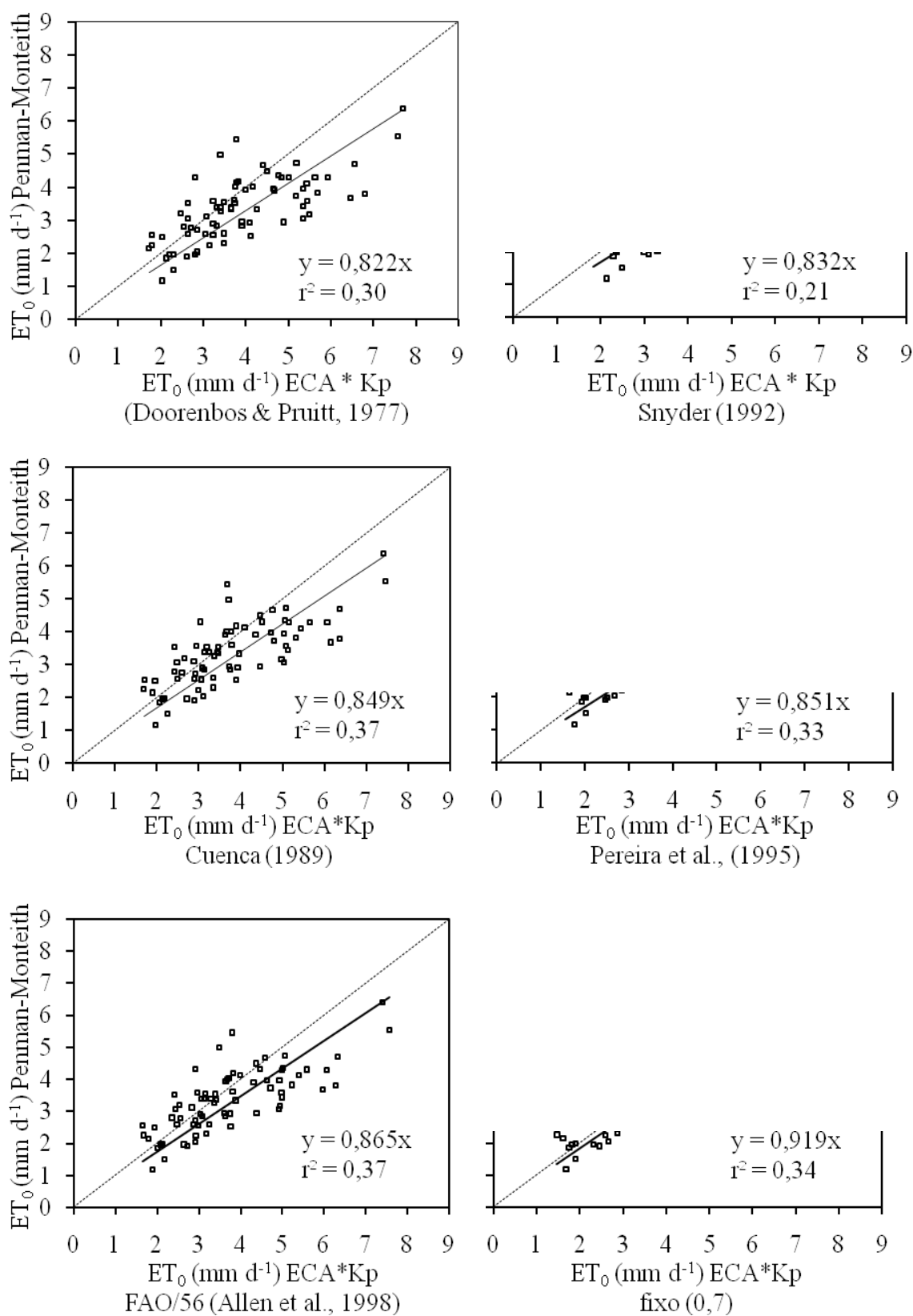


Figura 4.3. Relações entre a evapotranspiração de referência diária (ET_0) estimada pelos métodos de Penman-Monteith e do tanque Classe A, utilizando diferentes métodos de estimativa e cálculo do coeficiente do tanque (K_p), para período chuvoso, em Santo Antônio de Goiás, Goiás.

Pela análise do desempenho dos métodos no período chuvoso (Tabela 4.8) pode-se observar que os coeficientes angulares obtidos das relações entre ET_0 do tanque usando os K_p calculados pelos métodos avaliados com a do modelo padrão foram menores que aquelas observadas nos períodos anual e seco.

Tais valores indicam que no período chuvoso o tanque Classe A superou de forma mais acentuada a ET_0 estimada com modelo de Penman-Monteith. O resultado confirma a dificuldade de obtenção de leituras precisas no tanque Classe A em períodos chuvosos, os valores mais elevados provavelmente são devidos a erros provocados pela ocorrência de precipitações, as quais contribuem para leituras com valores elevados de evaporação.

Tabela 4.8. Análise estatística para avaliação dos métodos de estimativa e cálculo do coeficiente do tanque (K_p) para determinação da evapotranspiração de referência diária (ET_0) pelo método do tanque Classe A, no período chuvoso, em Santo Antônio de Goiás, Goiás.

Método	b	r^2	d	EMA		EF
				(mm d ⁻¹)		
Doorenbos & Pruitt (1977)	0,82	0,30	0,78	0,85	3,01	0,35
Snyder (1992)	0,83	0,21	0,75	0,88	3,07	0,26
Cuenca (1989)	0,85	0,37	0,82	0,77	2,57	0,45
Pereira et al. (1995)	0,85	0,33	0,84	0,75	3,31	0,56
Allen et al. (1998)	0,87	0,37	0,84	0,74	2,48	0,50
K_p fixo (0,7)	0,92	0,34	0,88	0,67	2,61	0,66

b: coeficiente angular; r^2 : coeficiente de determinação; d: coeficiente de exatidão de Willmott; EMA: erro médio absoluto; EMAX: erro máximo absoluto; EF: eficiência do método.

Quanto aos métodos, os valores de K_p tabelados propostos por Doorenbos & Pruitt (1977) propiciaram a obtenção do menor coeficiente angular, sendo possível inferir que com o método foram obtidos valores muito elevados de K_p . O modelo de Snyder (1992) também proveu K_p elevado; tal resultado explica o fato desse modelo ter apresentado desempenho elevado em condições de clima semiárido (Gundekar et al., 2008).

Os valores dos coeficientes de exatidão de Willmott (d) foram inferiores aos observados nos períodos anual e seco. Tal resultado evidencia que no período chuvoso foram observados valores mais diferenciados de evapotranspiração do tanque em relação ao modelo padrão, pois este índice está relacionado ao afastamento dos valores observados em relação aos estimados.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 4.9, observa-se que, mesmo com valores dentro de um intervalo amplo, 0,53 a 0,70, a classificação quanto ao coeficiente de correlação não evidenciou diferenças no desempenho dos métodos. Com base nos valores dos índices de confiança verificou-se que o método de Pereira et al. (1995) apresentou desempenho superior aos demais métodos, classificado como bom. Os métodos de Cuenca (1989) e Allen et al. (1998) apresentaram desempenho mediano.

Tabela 4.9. Coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), e classificação do desempenho dos métodos de determinação do K_p para estimativa diária da ET_0 pelo método do tanque Classe A, no período chuvoso, conforme proposto por Hopkins (2002) e Camargo & Sentelhas (1997).

Método	r	Classificação*	c	Classificação**
Doorenbos & Pruitt (1977)	0,71	Muito alta	0,56	Sofrível
Snyder (1992)	0,70	Muito alta	0,53	Sofrível
Cuenca (1989)	0,74	Muito alta	0,61	Mediano
Pereira et al. (1995)	0,79	Muito alta	0,66	Bom
Allen et al. (1998)	0,75	Muito alta	0,63	Mediano
K_p fixo (0,7)	0,79	Muito alta	0,70	Bom

*Hopkins (2002); **Camargo & Sentelhas (1997).

O K_p fixo apresentou desempenho superior a todos os métodos, com valor do índice de confiança 0,70, sendo classificado com bom desempenho. No entanto, apresentou índice de confiança menor que os observados nos períodos anual e seco, 0,77 e 0,80, respectivamente. Mesmo assim, pode ser visto como uma alternativa simples e prática para se estimar a ET_0 no período chuvoso com base na ECA, porém, necessita de trabalhos locais para que o valor fixo seja determinado para as condições climáticas específicas da localidade de adoção.

4.4 CONCLUSÕES

Para as condições em que este trabalho foi desenvolvido os resultados permitem concluir que:

1. Independente do método de estimativa do K_p adotado, o tanque Classe A superou os valores de evapotranspiração estimados pelo método de Penman-Monteith;

2. Para o período anual, o melhor método de estimativa do K_p é o proposto por Pereira et al. (1995).
3. Durante o período seco, a melhor estimativa de ET_0 com base na ECA é obtida quando são usados valores de K_p obtidos com o método de Cuenca (1989);
4. No período chuvoso o método de cálculo do K_p que apresenta o melhor desempenho para estimativa da ET_0 é o de Pereira et al. (1995);
5. Os métodos de determinação do K_p de Doorenbos & Pruitt (1977) e de Snyder (1992) são os piores métodos para converter ECA em ET_0 ;
6. O método do tanque Classe A não é eficiente para estimar a ET_0 no período chuvoso; e
7. Adotar um valor fixo e constante para o K_p é uma alternativa prática capaz de propiciar melhores estimativas da ET_0 pelo tanque Classe A, porém, o valor fixado necessita ser calibrado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das práticas mais importantes para obtenção de rendimentos consideráveis na agricultura irrigada é o manejo da irrigação. Os métodos de manejo avaliados apresentaram desempenho diferenciado devido à aplicação de lâminas distintas nos estádios fenológicos da cultura, com incrementos na produtividade do feijoeiro e seus componentes, verificaram-se diferenças significativas no rendimento de grãos, número de grãos por vagem e na altura da planta.

O manejo com tensiometria mostrou-se capaz de propiciar redução na demanda por água de irrigação, no entanto, o método ocasionou déficit hídrico às plantas, visto que, foram verificadas menores produtividades. O método de Penman-Monteith ocasionou a irrigação deficitária em parte dos estádios fenológicos do feijoeiro, tendo o déficit ocasionado reduções significativas no rendimento de grãos.

O desempenho do tanque Classe A aliado a sua fácil operação permite afirmar que dentre os métodos avaliados o tanque é o melhor método para se manejar a irrigação da cultura do feijoeiro cultivado em plantio direto no sistema integração lavoura-pecuária. O tanque Classe A apresentou desempenho promissor, visto que foi o método que mais se adequou às necessidades hídricas do feijoeiro. No entanto, estudos devem ser realizados com intuito de ajustes em algumas variáveis incluídas neste método de manejo, como coeficientes de cultura próprios para as cultivares, sistemas de cultivo e coeficientes do tanque Classe A calibrados para a localidade.

Em razão das características da cultura, o feijoeiro apresentou respostas diferenciadas à ocorrência de déficits hídricos nos estádios de desenvolvimento. Sugere-se que para melhor entendimento dos efeitos do manejo diferenciado, estudos com avaliação de métodos de manejo com comparações relacionadas a medidas da evapotranspiração obtida com lisímetros, e associadas a estudos de análise de crescimento.

O método do tanque Classe A é passível de adoção por produtores e técnicos com nível básico de conhecimento, informações relacionadas às práticas de manejo devem ser difundidas na cadeia produtiva do feijão irrigado.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; MARTINS, L. A. Progresso do melhoramento genético do feijoeiro nas décadas de setenta e oitenta nas regiões sul e alto paraíba em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 105-112, 1994.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: Food Agriculture Organization of the United Nations, 1998. 301 p.

ALVES JÚNIOR, J. **Necessidade hídrica e resposta da cultura de lima ácida Tahiti a diferentes níveis de irrigação**. 2006. 101 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Irrigação e Drenagem)—Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

AMORIM NETO, M. S.; MAGALHÃES, P. C.; GOMIDE, R. L. Aspectos fenológicos da cultura do feijoeiro submetidos a diferentes tensões de umidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., 1995, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1995. p. 134-136.

ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. 786 p.

ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S.; NASCIMENTO, V. Manejo do solo, água e nitrogênio no cultivo de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n. 2, p. 131-138, 2004.

ARRUDA, F. B.; TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. Efeito da temperatura média diária do ar na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 15, n. 4, p. 413-417, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de norma 12:02.08.005: sistema de irrigação por aspersão pivô central: caracterização e desempenho, método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1985. 22 p.

AZOOZ, R. H.; ARSHAD, M. A. Effect of tillage and residue management on barley and canola growth and water use efficiency. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 78, n. 4, p. 649-56, 1998.

BALBINO, L. C.; MOREIRA, J. A. A.; SILVA, J. G.; OLIVEIRA, E. F.; OLIVEIRA, I. P. Plantio direto. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 301-352.

BARBOSA FILHO, M. P.; SILVA, O. F. Adubação e calagem para o feijoeiro irrigado em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1317-1324, 2000.

BARROS, L. C. G.; HANKS, R. J. Evapotranspiration and yield of beans as affected by mulch and irrigation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, n. 3, p. 692-697, 1993.

BERGAMASHI, H.; VIEIRA, H. J.; OMETTO, J. C.; ANGELOCCI, L. R.; LIBARDI, P. L. Deficiência hídrica em feijoeiro. I. Análise de crescimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 7, p. 733-743, 1988.

BERGAMASCHI, H.; VIEIRA, H. J.; LIBARDI, P. L. Deficiência hídrica em feijoeiro. III. Evapotranspiração máxima e relação com a evapotranspiração calculada pelo método de Penman e com a evaporação do tanque Classe A. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 4, p. 387-392, 1989.

BERNARDO, S.; SOARES, A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 611 p.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade de milho, espaçamento e modalidade de consorciação com *Brachiaria brizantha* em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 163-171, 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Equipe técnica de sementes e mudas, 1967. 120 p.

CALHEIROS, C. M. B.; QUEIROZ, J. E.; FRIZZONE, J. A.; PESSOA, P. C. S. Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro: água como fator limitante de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n.7, p. 509-515, 1996.

CALVACHE, M.; REICHARDT, K. Water deficit imposed by partial irrigation at different growth stages for common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In: NUCLEAR TECHNIQUES TO ASSESS IRRIGATION SCHEDULES FOR FIELD CROP. **IAEA TECDOC 888**... Vienna: International Atomic Energy Agency, 1996, p. 63-72.

CALVACHE, M.; REICHARDT, K.; BACHI, O. O. S. Deficit irrigation at different growth stages of the common bean. (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Imbabello). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 54, n. 1, p. 1-16, 1997a.

CALVACHE, M.; REICHARDT, K.; BACHI, O. O. S. Efeito de épocas de deficiência hídrica na evapotranspiração atual da cultura do feijão cv. Imbabello. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba. **Anais**... Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997b. p. 668-670.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

- CASTRO, O. M.; VIEIRA, S. R.; MARIA, I. C. Sistema de preparo do solo e disponibilidade de água. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 1., 1987, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargil, 1987. p. 27-51.
- CASTRO, O. M. **Comportamento físico e químico de um Latossolo Roxo em função do seu preparo na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 1995. 174 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas)—Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- CHACÍN LUGO, F. B. **Cursos de avances recientes en el diseño y análisis de experimentos**. Caracas: Universidad Central da Venezuela, 1997. 145p.
- CHAGAS, J. M.; GOMES, J. M.; VIEIRA, C.; ARAÚJO, G. A. A. Efeitos de quantidades de água sobre a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), em quatro sistemas de manejo de solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 41, n. 238, p. 641-650, 1994.
- CHIEPPE JÚNIOR, J. B. **Métodos de controle da irrigação na cultura de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob três tensões de água no solo**. 1998. 112 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Irrigação e Drenagem)—Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1998.
- CHIEPPE JÚNIOR, J. B.; KLAR, A. E.; STONE, L. F. Efeito de métodos de controle da irrigação no desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), sob diferentes tensões de água do solo. **Irriga**, Botucatu, v. 5, n. 1, p. 9-20, 2000.
- CHRISTIANSEN, E. J. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of California, 1942. 142 p.
- COBUCCI, T. Manejo integrado de plantas daninhas em sistema de plantio direto. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Manejo integrado fitossanidade: cultivo protegido, pivô central e plantio direto**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. p. 583-624.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Sétimo levantamento de avaliação da safra 2006/2007**. Brasília, 2007, 20 p.
- CONCEIÇÃO, M. A. F. Reference evapotranspiration based on class a pan evaporation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 417-420, 2002.
- COSTA, J. G. C.; FARIA, L. C.; RAVA, C. A.; DEL PELOSO, M. J.; MELO, L. C.; CABRERA DIAZ, J. L.; FARIA, J. C.; SILVA, H. T.; SARTORATO, A.; BASSINELO, P. Z.; ZIMMERMANN, F. J. P. **BRS Supremo: cultivar de grão preto de feijoeiro-comum, de porte ereto, indicada para as regiões Sul e Centro-Oeste**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. 2 p.
- COSTA, J. L. S.; SILVEIRA, P. M. Influência dos métodos de preparo de solo e rotação de culturas na ocorrência de podridões radiculares de feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 258-259, 1997.

CUENCA, R. H. **Irrigation system design**: an engineering approach. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1989. 133 p.

CUNHA, P. C. R.; ALVES JÚNIOR, J.; SILVEIRA, P. M.; NASCIMENTO, J. L. Efeito do mês de semeadura na necessidade hídrica do feijoeiro de inverno. III Jornada Científica da Pós-Graduação. In: CONGRESSO DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO, 4., 2007, Goiânia: **Anais...** Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2007. p. 4571-4576.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, M.; ROTH, C. H. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 8, n. 2, p. 253-263, 1986.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. 2. ed. Rome: Food Agriculture Organization of the United Nations, 1977. 179 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H.; BENTVELSEN, C. L. M.; BRANSCHIED, V.; PLUSJE, J. M. G. A. **Yield response to water**. Rome: Food Agriculture Organization of the United Nations, 1979. 200 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1994. 360 p.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; LOPES, P. P. **Soil Water Retention Curve SWRC**: programa para confecção da curva de retenção de água no solo. Version 3.00 beta. Universidade de São Paulo, 2001. 1 CD-ROM.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

ENGLISH, M.; RAJA, S. N. Perspectives on deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 32, n. 1, p. 1-14, 1996.

FAGERIA, N. K. ; BALIGAR, V. C ; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 1997. 624 p.

FANCELLI, A. L. **Cultura do feijão**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1987. 138 p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e fenologia do feijoeiro. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. (Coord.). **Tecnologia da produção do feijão irrigado**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. p. 100-120.

FERNANDES, E. J.; TURCO, J. E. P. Evapotranspiração de referência para o manejo da irrigação em cultura de soja. **Irriga**, Botucatu, v. 8, n. 2, p. 132-141, 2003.

FERNANDES, E. J. Comparação entre três métodos para estimar lâminas de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 36-46, 2008.

- FERNANDEZ, F.; GEPTS, P.; LÓPEZ, M. Etapas de desarrollo en la planta de fríjol. In: LÓPEZ, M.; FERNANDEZ, F.; SCHOONHOVEN, A. (Ed.). **Frijol: investigación y producción**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1985. p. 61-78.
- FIGENBAUM, V.; SANTOS, D. S. B.; MELLO, V. D. C.; SANTOS FILHO, B. G.; TILLMANN, M. A. A; SILVA, J. B. Influência do déficit hídrico sobre componentes de rendimento de três cultivares de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 2, p. 275-280, 1991.
- FIGUERÊDO, S. F.; POZZEBON, E. J.; FRIZZONE, J. A.; AZEVEDO, J. A.; GUERRA, A. F.; SILVA, E. M. Gerenciamento da irrigação do feijoeiro baseado em critérios técnicos e econômicos no cerrado. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 3, p. 378-391, 2008.
- FOLEGATTI, M. V.; PAZ, V. P. S.; OLIVEIRA, A. S. O. Rendimento do feijoeiro irrigado submetido a diferentes lâminas de água com irrigação por sulcos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 281-285, 1999.
- FREITAS JÚNIOR, E.; SILVA, E. M. Uso da centrífuga para determinação da curva de retenção de água no solo em uma única operação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 11, p. 1423-1428, 1984.
- FREVERT, D. R.; HILL, R. W.; BRAATEN, B. C. Estimation of FAO evapotranspiration coefficients. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. New York, v. 109, n. 2, p. 265-270, 1983.
- FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação**. 1986. 133 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas)—Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.
- FRIZZONE, J. A.; DOURADO NETO, D. Avaliação de sistemas de irrigação. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. (Ed.). **Irrigação**. Piracicaba: Fundação de Apoio a Pesquisa, Ensino e Extensão, 2003. p. 573-651.
- GALLEGOS, J. A. A.; ADAMS, M. W. Plant traits and yield stability of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar under drought stress. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 117, n. 2, p. 213-219, 1991.
- GALVÃO, J. D.; RODRIGUES, J. J. V.; PURÍSSIMO, C. Sistemas de plantio direto e convencional, na cultura do feijão da seca, em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 28, n. 158, p. 412-416, 1981.
- GARRIDO, M. A. T.; PURCINO, J. R. C.; LIMA, C. A. S. Efeito do déficit de água em alguns períodos do ciclo de crescimento sobre o rendimento do feijoeiro. In: EMPRESA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. **Projeto Feijão: relatório 77/78**. Belo Horizonte: Empresa Agropecuária de Minas Gerais, 1979. p. 25-27.

- GARRIDO, M. A. T. **Respostas do feijoeiro às lâminas de água e adubação nitrogenada**. 1998. 205 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Fitotecnia)–Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.
- GARRIDO, M. A. T.; DEL PINO, M. A. I. T.; SILVA, A. M.; ANDRADE, M. J. B. Crescimento, absorção iônica e produção do feijoeiro sob dois níveis de nitrogênio e três lâminas de Irrigação. **Ciências e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 1, p. 187-194, 2000.
- GUIMARÃES, C. M. Efeitos fisiológicos do estresse hídrico. In: ZIMMERMANN, M. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do feijoeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1988. p. 157-174.
- GUIMARÃES, C. M.; BRUNINI, O.; STONE, L. F. Adaptação do feijoeiro à seca. I. Densidade e eficiência radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 393-399, 1996a.
- GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. II. Produtividade e componentes agrônômicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 7, p. 481-488, 1996b.
- GUIMARÃES, C. M. **Efeitos fisiológicos do estresse hídrico**. 1998. 205 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Fitotecnia)–Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.
- GUNDEKAR, H. G.; KHODKE, U. M.; SARKAR, S.; RAI, R. K. Evaluation of pan coefficient for reference crop evapotranspiration for semi-arid region. **Irrigation Science**, New York, v. 26, n. 2, p. 169-175, 2008.
- HEERMANN, D. F.; MARTIN, D. L.; JACKSON, R. D.; STEGMAN, E. C. Irrigation scheduling controls and techniques. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: American Society of Agricultural Engineers, 1990. p. 509-535.
- HOPKINS, W. G. Correlation Coefficient: a scale of magnitudes for effect statistics. **A new view of statistics**. New Zealand: Society for Sport Science, 2002. Disponível em: <<http://www.sportsci.org/resource/stats/effectmag.html>>. Acesso em: 12 jul. 2007.
- JADOSKI, S. O.; CARLESSO, R.; MELO, G. L.; RODRIGUES, M.; FRIZZO, Z. Manejo da irrigação para maximização do rendimento de grãos do feijoeiro. **Irriga**, Botucatu, v. 8, n. 1, p. 1-9, 2003.
- JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R.; SILVA, A. F.; FREITAS, F. C. L. Manejo de plantas daninhas no consórcio de milho com capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 553-560, 2004.
- JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1990. 332 p.
- KELLER, J. Sprinkler irrigation. In: SOIL CONSERVATION SOCIETY. **National engineering handbook**. 2. ed. Washington: Soil Conservation Society, 1979. p. 273-329.

KLOSOWSKI, E. S.; GALVANI, E. Estimativas de evapotranspiração potencial para a região de Maringá: estudo comparativo entre os métodos do tanque Classe A, Thornthwaite, Camargo e Penman simplificado. **Revista Unimar**, Maringá, v. 19, n. 4, p. 1113-1124, 1997.

KLUTHCOUSKI, J. **Efeito de manejo em alguns atributos de um latossolo roxo sob cerrado e nas características produtivas de milho, soja, arroz e feijão, após oito anos de plantio direto**. 1998. 179 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Fitotecnia)—Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T.; AIDAR, H.; YOKOYAMA, L. P.; OLIVEIRA, I. P.; COSTA, J. L. S.; SILVA, J. G.; VILELA, L.; BACELLOS, A. O.; MAGNABOSCO, C. U. **Sistema Santa Fé**: tecnologia Embrapa, integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 28 p.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 495 p.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 83 p.

LIBARDI, V. C. M. **Efeitos de diferentes níveis de irrigação e do déficit hídrico na produção do feijoeiro**. 1998. 49 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Irrigação e Drenagem)—Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

LOLLATO, M. A.; PARRA, M. S.; SHIOGA, P. S. Efeitos de coberturas do solo com capins marmelada e braquiária sobre o desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 7., 2002, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. p. 610-611.

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. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 89-100, 2004.

LOPES, N. F.; OLIVA, M. A.; GOMES, M. M. S.; SOUZA, V. F.; CARDOSO, M. J. Crescimento, morfologia, partição de assimilados e produção de matéria seca do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) submetido a três densidades do fluxo radiante e dois regimes hídricos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 34, n. 192, p. 110-124, 1987.

LOUREIRO, B. T.; MACHADO, P. B.; DENÍCULI, W.; FERREIRA, P. A. Efeito de diferentes lâminas de água sobre a produtividade do feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 37, n. 211, p. 215-226, 1990.

LUCARELLI, J. R. F.; ESPÍNDOLA, C. R.; DANIEL, L. A. Estabilidade e distribuição dos agregados em oito diferentes sistemas de preparo e manejo do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E ÁGUA, 7., 1998, Fortaleza. **Resumos...** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 1998. p. 207-208.

- MACEDO JÚNIOR, E. K.; FARIA, M. A.; SOARES, A. M. Produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) submetido a cinco níveis de tensão de água no solo. **Ciência e Prática**, Lavras, v.18, n.4, p. 438-444, 1994.
- MAGALHÃES, A. A.; MILLAR, A. A. Efeito do déficit de água no período reprodutivo sobre a produção do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 13, n. 2, p. 55-60, 1978.
- MAGALHÃES, A. A.; MILLAR, A. A.; CHOUDHURY, E. N. Efeito do déficit fenológico de água sobre a produção de feijão. **Turrialba**, San José, v. 29, n. 4, p. 269-373, 1979.
- MARCUSSI, F. F. N.; SALGADO, E.; WENDLAND, E. Balanço hídrico climatológico comparativo para a cidade de Quillota (Chile) com estimativas de evapotranspiração obtidas pelos métodos de Penman-Monteith e pelo tanque Classe A. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 43, p. 469-476, 2006.
- MASSIGNAM, A. M.; VIEIRA, H. J.; HEMP, S.; DITTRICH, R. C.; FLESCHE, R. D.; VICTORIA, F. B. Ecofisiologia do feijoeiro. I. Determinação do período mais crítico à deficiência hídrica do solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 35-39, 1998.
- MATZENAUER, R.; BUENO, A. C.; MALUF, J. R. T. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura para o feijão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7., 1991, Viçosa. **Resumos...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/Universidade Federal de Viçosa, 1991. p. 235-236.
- MAURER, A. P.; ORMROD, D. P.; SCOTT, N. J. Effect of five soil water regimes on growth and composition of snap beans. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 49, n. 3, p. 271-278, 1969.
- MELO, L. C.; FARIA, L. C.; DEL PELOSO, M. J.; COSTA, J. G. C.; RAVA, C. A.; LEMES, G. C.; DIAZ, J. L. C.; ABREU, A. F.; ZIMMERMANN, F. J. P. **Adaptabilidade e estabilidade de produção da cultivar BRS Supremo em diferentes regiões brasileiras**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 4 p.
- MENDONÇA, J. C. **Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração potencial de referência (ET₀), na região Norte Fluminense**. 2001. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal)—Faculdade de Agronomia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2001.
- MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F.; ANDRE, R. G. B.; BERNARDO, S. Coeficientes do tanque Classe A para a estimativa da evapotranspiração de referência em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 123-128, 2006.
- MILLAR, A. A.; CHOUDHURY, E. N. A model to define operation irrigation frequency for maximum yield of crop. **Turrialba**. San José, v. 30, n. 4, p. 391-398, 1980.

MIRANDA, N. O.; BELMAR, N. C. Déficit hídrico y frecuencia de riego en fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agricultura Técnica**, Santiago, v. 37, n. 3, p. 111-117, 1977.

MOREIRA, J. A. A.; SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Irrigação. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. (Ed.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 465-522.

MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. **Manejo da irrigação do feijoeiro em plantio direto**: tensão da água do solo. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1998. 2 p.

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**, Goiania, v. 31, n. 2, p. 159-161, 2001.

NORMAN, M. J. T.; PEARSON, C. J.; SEARLE, P. G. E. **The ecology of tropical food crops**. 2.ed. Cambridge: University Press, 1995. 430 p.

OLIVEIRA, M. S. **Efeito do déficit hídrico aplicado em diferentes fases do ciclo fenológico do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Eriparza**. 1987. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola: Engenharia de Água e Solo)—Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1987.

OLIVEIRA, D. Evapotranspiração máxima e necessidade de água para irrigação de feijão em seis locais do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7., 1991, Viçosa. **Resumos...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/Universidade Federal de Viçosa, 1991. p. 236-237.

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.

ORANG, M. **Potential Accuracy of the popular non-Linear regression equations for estimating pan coefficient values in the original and FAO-24 tables**. Sacramento: Unpublished California Department of Water Resources Report, 1998. 12 p.

PEREIRA, A. L.; MOREIRA, J. A. A.; KLAR, A. E. Efeito de níveis de cobertura do solo sobre o manejo da irrigação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Irriga**, Botucatu, v. 7, n. 1, p. 42-52, 2002.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; PEREIRA, A. S.; BARBIERI, V. A model for the class A pan coefficient. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 75-82, 1995.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1997, 183 p.

PIRES, R. C. M.; SAKAI, E.; ARRUDA, F. B.; FOLEGATTI, M. V. Necessidades hídricas das culturas e manejo de irrigação In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. (Ed.). **Irrigação**. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. p. 121-204.

- PORTES, T. A. Ecofisiologia. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 101-137.
- POWER, J. F. Role of moisture stress in plant nutritional functions. In: BALIGAR, V. C.; DUNCAN, R. R. (Ed.). **Crops as enhancers of nutrient use**. San Diego: Academic Press, 1990. p. 453-474.
- RAGHUWANSHI, N. S.; WALLENDER, W. W. Converting from pan evaporation to evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 124, n. 5, p. 275-277, 1998.
- REIS, E. F.; BRAGANÇA, R.; GARCIA, G. O.; PEZZOPANE, J. E. M.; TAGLIAFERRE, C. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do estado do Espírito Santo no período seco. **Idesia**, Arica, v. 25, n. 3, p. 75-84, 2007.
- REZENDE, R. **Efeito da qualidade da irrigação em variáveis de produção e de crescimento da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2000. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Irrigação e Drenagem)—Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- REZENDE, R.; FREITAS, P. S. L.; MANTOVANI, E. C.; FRIZZONE, J. A. Função de produção da cultura do milho e do feijão para diferentes lâminas e uniformidade de aplicação de água. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 4, p. 503-511, 2004.
- ROBINS, J.; DOMINGO, C. E. Moisture deficits in relation to the growth and development of dry beans. **Agronomy Journal**, Madison, v. 48, n. 1, p. 67-70, 1956.
- SAKAI, E.; BULIZANI, E.; BRUNINI, O.; MURAMOTO, C. A. Efeito do déficit hídrico sobre o comportamento estomático e a temperatura das folhas em feijoeiro (cv. IAC carioca 80). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5., 1987, Brasília. **Anais...** Brasília: Programa Nacional de Irrigação, 1987. p. 370-376.
- SAAD, A. M.; LIBARDI, P. L. **Uso prático do tensiômetro pelo agricultor irrigante**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1992. 27 p.
- SAAD, A. M.; LIBARDI, P. L. Qualidade da irrigação controlada por tensiômetros em pivô central. **Scientia agrícola**, Piracicaba, v. 51, n. 3, p. 549-555, 1994.
- SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; ANDRADE, M. J. B.; BRAGA, J. C.; GERVÁSIO, G. G. Coeficiente de cultura e análise do rendimento do feijoeiro sob regime de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 92-112, 2008.
- SANTOS, F. X.; RODRIGUES, J. J. V.; MONTENEGRO, A. A. A.; MOURA, R. F. Desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no semi-árido nordestino. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 115-124, 2008.

SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia aplicada à irrigação. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. (Ed.). **Irrigação**: Série Engenharia Agrícola. Piracicaba: Fundação de Apoio a Pesquisa, Ensino e Extensão, 2001. p. 121-194.

SENTELHAS, P. C.; FOLEGATTI, M. V. Class A pan coefficients (K_p) to estimate daily reference evapotranspiration (E_{To}). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 111-115, 2003.

SILVA, E. L. **Suscetibilidade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) Cv. Goiano precoce a inundações temporárias do sistema radicular em diferentes fases do seu ciclo vegetativo**. 1982. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Irrigação e Drenagem)– Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982.

SILVA, S. C.; SOARES, E. G. S.; RIBEIRO, J. R. **Informações meteorológicas para pesquisa e planejamento agrícola, referentes ao município de Santo Antonio de Goiás, GO, 2006**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2007. 31 p.

SILVA, V. A.; ANDRADE, M. J. B.; RAMALHO, M. A. P. Efeitos de métodos de preparo do solo e doses de adubação NPK sobre o feijão da "seca" em seqüência à cultura do milho. **Ciências Agrotécnicas**, Lavras, v. 25, n. 2, p. 454-461, 2001.

SILVEIRA, P. M.; STEINMETZ, S.; GUIMARAES, H. A.; AIDAR, C. L.; CARVALHO, J. R. P. Lâminas de água e turnos de rega na cultura do feijoeiro de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 2, p. 219-223, 1984.

SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A. A. Resposta do feijoeiro a doses de fósforo e lâminas de água de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 63-67, 1990.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Irrigação do feijoeiro por aspersão. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 17, n. 178, p. 28-34, 1994a.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Manejo da irrigação do feijoeiro**: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central. Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 1994b. 46 p.

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 Gerais. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1998. p. 181-220.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F.; SILVA, J. G. Manejo da água de irrigação. In: SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. (Ed.). **Irrigação do feijoeiro**. Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. p. 139-169.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 223, p. 74-82, 2004.

SINGH, S. P. Selection for water-stress tolerance in interracial populations of common bean. **Crop Science**, Madison, v. 35, n. 1, p. 118-124, 1995.

SMITH, M.; ALLEN, R.; MONTEITH, J. L.; PERRIER, A.; PEREIRA, L. S.; SEGEREN, A. **Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements**. Rome: Food Agriculture Organization of the United Nations, 1990. 59 p.

SNYDER, R. L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversion. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 118, n. 6, p. 977-980, 1992.

SOARES, D. M.; DEL PELOSO, M. J.; CARNEIRO, J. E. S.; BARRIGOSI, J. A. F. Cenário do feijão em Goiás e sazonalidade de preços no período de 1996 a 1998. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6., 1999, Salvador. **Resumos...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p. 713-716.

STANSELL, J. R.; SMITTLE, D. A. Effects of irrigation regimes on yield and water use of Snap Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Stanford, v. 105, n. 6, p. 869-873, 1980.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. **Determinação da evapotranspiração para fins de irrigação**. Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 1995. 49 p.

STONE, L. F.; SILVA, S. C. **Uso do tanque Classe A no controle da irrigação do feijoeiro no sistema plantio direto**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 2 p.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. S. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 83-91, 1999.

STONE, L. F., MOREIRA, J. A. A. Efeitos de 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.; SILVEIRA, P. M. Requerimento de água. In: SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. (Ed.). **Irrigação do feijoeiro**. Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. 230 p.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. M. **Gestão de água no Brasil**. Brasília: Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura, 2001. 156 p.

TYAGI, N. K.; SHARMA, D. K.; LUTHRA, S. K. Determination of evapotranspiration and crop coefficients of rice and sunflower with lysimeter. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, v. 45, n. 1, p. 41-54, 2000.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. **Water for people, water for life: un world water development report**. Paris, 2003. 34 p.

URCHEI, M. A.; RODRIGUES, J. D.; STONE, L. F. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 3, p. 497-506, 2000.

VALADÃO, L. T.; KLAR, A. E. Evapotranspiração do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em dois níveis do lençol freático. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., 1996, Campinas. **Anais...** Campinas: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 1996. p. 163-176.

VAN GENUCHTEN, M. T. Van a closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

VEEN, B. W. Relation between root respiration and root activity. **Plant and Soil**, Hague, v. 63, n.1, p. 73-76, 1981.

VIEIRA, E. H. N. **Sementes de feijão: produção e tecnologia**. Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 270 p.

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.

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 sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, n. 3, p. 621-633, 2000a.

WUTKE, E. B.; BRUNINI, O.; BARBANO, M. T.; CASTRO, P. B.; GALLO, P. B.; KANTHACK, R. A. D.; MARTINS, A. L. M.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; BORTOLETTO, N.; PAULO, E. M.; SAKAI, M.; SAES, L. A.; AMBROSANO, E. J.; CARBONELL, S. A. M.; SILVEIRA, L. C. P. Estimativa de temperatura base e graus-dia para feijoeiro nas diferentes fases fenológicas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 55-61, 2000b.

YOKOYAMA, L. P. Aspectos conjunturais da cultura do feijão no período de 1988/1989 a 1997/1998. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6., 1999, Salvador. **Resumos...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999, p. 709-712.

ZACHARIAS, S.; HEATWOLE, C. D.; COAKLEY, C. W. Robust quantitative techniques for validating pesticide transport models. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v. 39, n. 1, p. 47-54, 1996.

ANEXOS

Anexo A. Tabela da análise de variância da produtividade de grãos do feijoeiro, cultivar BRS Supremo, obtida com o manejo da irrigação pelos métodos da tensiometria, tanque Classe A e Penman-Monteith.

Fontes de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	F (1%)	
F. V	G. L	S. Q	Q. M	calculado	tabelado	
Tratamentos	2	4600335,94	2300167,97	18,46	5,61	**
Erro	24	2989699,35	124570,81	-	-	-
Total	26	7590035,29	-	-	-	-
Média	-	-	3002,17	-	-	-
CV(%)	-	-	16,84	-	-	-

** significativo a 1% pelo teste F.

Anexo B. Tabela da análise de variância do número de vagens por planta, obtido com o manejo da irrigação pelos métodos da tensiometria, tanque Classe A e Penman-Monteith.

Fontes de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	F (5%)	
F. V	G. L	S. Q	Q. M	calculado	tabelado	
Tratamentos	2	14,48	7,24	1,43	3,40	ns
Erro	24	121,40	5,06	-	-	-
Total	26	135,88	-	-	-	-
Média	-	-	12,77	-	-	-
CV(%)	-	-	7,02	-	-	-

^{ns} não significativo pelo teste F.

Anexo C. Tabela da análise de variância do número de grãos por vagem do feijoeiro, cultivar BRS Supremo, obtidos com o manejo da irrigação pelos métodos da tensiometria, tanque Classe A e Penman-Monteith.

Fontes de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	F (1%)	
F. V	G. L	S. Q	Q. M	calculado	tabelado	
Tratamentos	2	6,23	3,11	23,82	5,61	**
Erro	24	3,14	0,13	-	-	-
Total	26	9,37	-	-	-	-
Média	-	-	5,84	-	-	-
CV(%)	-	-	10,07	-	-	-

** significativo a 1% pelo teste F.

Anexo D. Tabela da análise de variância da massa de 100 grãos, obtidas com o manejo da irrigação pelos métodos da tensiometria, tanque Classe A e Penman-Monteith.

Fontes de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	F (5%)	
F. V	G. L	S. Q	Q. M	calculado	tabelado	
Tratamentos	2	23,79	11,90	1,26	3,40	ns
Erro	24	226,11	9,42	-	-	-
Total	26	249,91	-	-	-	-
Média	-	-	30,15	-	-	-
CV(%)	-	-	3,86	-	-	-

^{ns} não significativo pelo teste F.

Anexo E. Tabela da análise de variância da altura da planta do feijoeiro, cultivar BRS Supremo, obtida com o manejo da irrigação pelos métodos da tensiometria, tanque Classe A e Penman-Monteith.

Fontes de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	F (1%)	
F. V	G. L	S. Q	Q. M	calculado	tabelado	
Tratamentos	2	1461,90	730,95	39,01	5,61	**
Erro	24	449,73	18,74	-	-	-
Total	26	1911,63	-	-	-	-
Média	-	-	0,69	-	-	-
CV(%)	-	-	13,26	-	-	-

** significativo a 1% pelo teste F.

Anexo F. Tabela da análise de variância da eficiência do uso da água, obtidas com manejo da irrigação pelos métodos da tensiometria, tanque Classe A e Penman-Monteith.

Fontes de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	F (5%)	
F. V	G. L	S. Q	Q. M	calculado	tabelado	
Tratamentos	2	1,82	0,91	0,75	3,40	ns
Erro	24	29,22	1,22	-	-	-
Total	26	31,04	-	-	-	-
Média	-	-	8,86	-	-	-
CV(%)	-	-	3,59	-	-	-

^{ns} não significativo pelo teste F.