

FABRÍCIO SERRÃO CONTIN

TECNOLOGIA DO IRRIGÂMETRO APLICADA NO MANEJO DA IRRIGAÇÃO  
DO FEIJOEIRO

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa, como  
parte das exigências do Programa de  
Pós Graduação em Engenharia  
Agrícola, para obtenção do título de  
*Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2008

FABRÍCIO SERRÃO CONTIN

TECNOLOGIA DO IRRIGÂMETRO APLICADA NO MANEJO DA IRRIGAÇÃO  
DO FEIJOEIRO

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa, como  
parte das exigências do Programa de  
Pós Graduação em Engenharia  
Agrícola, para obtenção do título de  
*Magister Scientiae*.

APROVADA: 30 de julho de 2008.

---

Prof. José Eustáquio de Souza Carneiro  
(Co-Orientador)

---

Prof. Márcio Mota Ramos

---

Prof. Fernando Alves Pinto

---

Dr. Antônio de Pádua Alvarenga

---

Prof. Rubens Alves de Oliveira  
(Orientador)

Ao meu pai Luis da Silveira Contin (*in memoriam*) e a minha mãe Arlete dos Santos Serrão Contin e ao meu irmão Luis Antônio Serrão Contin.

## **OFEREÇO**

À minha mãe Arlete, pelo apoio nos momentos difíceis, incentivo nos momentos de desânimo e pelo incondicional e eterno amor materno que ela sempre me ofereceu durante toda minha vida.

Ao meu pai Luis, meu amigo Luisão, que sempre lutou e sempre sonhou com meu sucesso, minha felicidade, mas que nesse momento tão ilustre e importante da minha vida não pôde estar comigo, porque foi-se embora morar com Deus.

## **DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela maravilha da vida e pelas oportunidades a mim oferecidas.

À meus pais e meu irmão, pelo amor, apoio, estímulo, confiança e orações durante meu percurso.

À Universidade Federal de Viçosa, por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola, pela grande oportunidade da realização desse curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Rubens Alves de Oliveira, pela amizade, ensinamentos transmitidos, orientação, profissionalismo, preocupação, confiança, pelos nossos bons e longos papos em nossas viagens e, principalmente, pelos puxões de orelha.

Aos professores conselheiros José Eustáquio de Souza Carneiro, Paulo Roberto Cecon e Everardo Chartuni Mantovani, pela valiosa colaboração, aconselhamentos e esclarecimentos no desenvolvimento da pesquisa.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola Edna, Chicão e Eduardo, pela amizade, carinho e dedicação.

Ao funcionário da Área Experimental de Irrigação e Drenagem, “Seu Taíde”, pela ajuda na condução dos experimentos em campo.

Aos amigos e companheiros de labuta Júlio Cezar, Ednaldo, Enoque, Samuel, Ericson, Tamara e Roberto Milagres, pela amizade, pelos bons momentos e pelo grande auxílio na condução dos experimentos em campo.

À grande oportunidade cedida pelo professor Everardo Chartuni Mantovani de estagiar no GESAI (Grupo de Estudos e Soluções para a Agricultura Irrigada) como bolsista de desenvolvimento da EMBRAPA CAFÉ, trabalho esse que serviu de ponte para meu ingresso no curso de mestrado dessa instituição.

À minha prima e amiga Lorena, “Big Lôra”, pela amizade, companheirismo e pelos momentos de descontração.

Às minhas grandes amigas Ana Raquel e Ângela, pelos inúmeros momentos de descontração e de muita alegria, momentos esses sempre acompanhados de muitas “brejas”.

Aos grandes amigos e companheiros da seção 12 (Alojamento Velho), que posso dizer, com total certeza, que foram uns dos melhores anos da minha vida a convivência na seção 12.

Ao Zeca, do “Bar do Zeca”, pela cerveja gelada sempre disponível nos momentos de stress.

Ao meu golzinho vermelho 1996, que mesmo já meio velhinho, me ajudou muito no vai e vem da correria dos trabalhos e também no transporte aos locais reservados ao divertimento.

A todos os colegas do Curso de Pós-Graduação, pelo convívio, amizade e companheirismo.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desse trabalho.

## **BIOGRAFIA**

FABRÍCIO SERRÃO CONTIN, filho de Luis da Silveira Contin e Arlete dos Santos Serrão Contin, nasceu em Governador Valadares, MG, em 09 de março de 1978.

Em março de 1999, ingressou no curso de agronomia na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, concluindo-o em dezembro de 2003.

Em maio de 2004, ingressou no GESAI (Grupo de Estudos e Soluções para a Agricultura Irrigada), como bolsista do PNP/CAFÉ, da EMBRAPA Café, sob orientação do Prof. Everardo Chartuni Mantovani.

Em junho de 2006, ingressou no Programa de Pós Graduação, em nível de Mestrado, no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, na área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais, submetendo-se à defesa de tese em julho de 2008.

## ÍNDICE

RESUMO .....	ix
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 A cultura do feijão irrigado.....	4
2.2 Manejo da irrigação.....	7
2.2.1 Método Padrão de Estufa (MPE) .....	8
2.2.2 Tensiometria .....	10
2.2.3 Tanque Classe A .....	11
2.2.4 Irrigâmetro .....	13
2.2.5 Programa computacional Irriplus .....	14
2.2.6 Estimativa da evapotranspiração com uso do programa computacional REF-ET.....	15
2.3. Evapotranspiração .....	16
2.4 Coeficiente de cultura.....	18
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	21
3.1 Local de condução dos experimentos .....	21
3.2 Experimento 1: Determinação dos coeficientes de cultura da grama batatais e do feijoeiro em lisímetros operando com irrigâmetro modificado ..	21
3.3 Experimento 2: Estudo comparativo do irrigâmetro com outras metodologias de manejo da irrigação.....	26
3.3.1 Tensiometria .....	27
3.3.2 Método Padrão de Estufa .....	28
3.3.3 Tanque Classe A .....	28
3.3.4 Irrigâmetro .....	29
3.3.5 Programa Computacional Irriplus .....	31
3.3.6 Estimativa da evapotranspiração com uso do programa computacional REF-ET.....	32
3.4 Análise estatística .....	32
3.5 Produtividade do Feijoeiro.....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
4.1 Experimento 1 .....	34

4.1.1 Evapotranspiração da grama batatais e evapotranspiração de referência.....	34
4.1.2 Evapotranspiração do feijoeiro .....	36
4.1.3 Coeficiente de cultura (kc) .....	37
4.1.4 Produtividade de grãos de feijão .....	40
4.2 Experimento 2 .....	41
4.2.1 Umidade do solo .....	42
4.2.2 Lâminas recomendadas pelas diferentes metodologias de manejo de irrigação.....	42
4.2.3 Produtividade de grãos de feijão .....	45
5. CONCLUSÕES .....	47
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

## RESUMO

CONTIN, Fabrício Serrão, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2008. **Tecnologia do irrigâmetro aplicada no manejo da irrigação do feijoeiro**. Orientador: Rubens Alves de Oliveira. Co-Orientadores: José Eustáquio de Souza Carneiro, Paulo Roberto Cecon e Everardo Chartuni Mantovani.

Este trabalho foi desenvolvido na Área Experimental de Irrigação e Drenagem pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, localizada a 20° 45` S e 42° 45` O, no Estado de Minas Gerais, no período de março a outubro de 2007. Os objetivos dos trabalhos foram: a) determinar a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) do feijão e da grama batatais; b) determinar os coeficientes de cultura (K<sub>c</sub>) da grama e do feijoeiro nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura; c) avaliar o desempenho do Irrigâmetro em relação a outros métodos de determinação da evapotranspiração da cultura do feijoeiro para fins de manejo da irrigação. Dois experimentos foram conduzidos, sendo que o primeiro constou da utilização de lisímetros de lençol freático constante operando com Irrigâmetro modificado, num total de doze, sendo seis lisímetros para medição da evapotranspiração da grama batatais (*Paspalum notatum* L.) e os outros para determinação da evapotranspiração da cultura com feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Os tratamentos foram casualizados nos lisímetros. As leituras nos lisímetros plantados com grama e feijão foram realizadas diariamente às 09:00 horas da manhã. Os valores diários de evapotranspiração da grama batatais e do feijoeiro foram determinados visando-se obter os

coeficientes de cultura da grama e do feijoeiro em condições de lisímetro de lençol freático constante operando com irrigâmetro modificado, com base na evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) obtida com uso do programa computacional REF-ET, baseada na equação de Penman-Monteith FAO 56. O segundo experimento foi um estudo comparativo do irrigâmetro com outras metodologias de manejo da irrigação, conduzido com a cultura do feijão, plantado numa área de 0,18 ha e irrigada por um sistema de aspersão convencional. Os métodos de manejo utilizados foram o Irrigâmetro, método padrão de estufa, tanque classe A, estimativa da evapotranspiração através dos programas computacionais REF-ET e Irriplus. Foi utilizada uma estação meteorológica automática que forneceu os dados meteorológicos para uso nos programas computacionais REF-ET e Irriplus. O método tensiométrico foi utilizado como indicador do momento de irrigar, onde foi estabelecido um valor de potencial mátrico crítico de - 40 kPa. O cálculo das lâminas de irrigação determinadas com os diferentes métodos de manejo da irrigação utilizados foi realizado diariamente. Os resultados obtidos permitiram concluir que: a) o valor médio de  $K_c$  da grama batatais cultivada em lisímetro de lençol freático constante foi 1,11. b) os valores de  $K_c$  obtidos para a cultura do feijão foram 1,18, 1,41 e 1,58, para os estádios de desenvolvimento I, II e III, respectivamente. c) o Irrigâmetro apresentou uma recomendação de irrigação 10,1% superior ao método padrão de estufa (MPE), o balanço hídrico com uso do programa computacional REF-ET apresentou uma recomendação de irrigação 20% inferior ao MPE, o balanço hídrico com uso do programa computacional Irriplus apresentou uma recomendação de irrigação 17,9% inferior ao MPE e o método do tanque Classe A apresentou uma recomendação de irrigação 12% inferior ao MPE. Contudo, a aplicação do Teste de Dunnett a 5% de probabilidade mostrou que não houve diferença significativa entre os resultados dos métodos de manejo da irrigação em relação método padrão de estufa. Sendo assim, o desempenho do irrigâmetro no manejo da irrigação do feijoeiro foi semelhante aos demais métodos utilizados neste experimento.

## ABSTRACT

CONTIN, Fabrício Serrão, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July 2008.  
**Irrigâmetro of technology applied in the irrigation management of the bean.** Adviser: Rubens Alves de Oliveira. Co- Advisers: José Eustáquio de Souza Carneiro, Paulo Roberto Cecon and Everardo Chartuni Mantovani.

This work was performed at the Irrigation and Drainage Experimental Area of the Agricultural Engineering Department at the Universidade Federal de Viçosa (UFV), in Viçosa, located at 20° 45` S and 42° 45` W, in the state of Minas Gerais, Brazil, during the period of March to October of 2007. The objectives of this study were: a) determine the crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>) of beans and grass-batatais; b) determine the crop coefficients (K<sub>c</sub>) of the grass-batatais and bean plant during different stages of development; c) evaluate the Irrigâmetro performance in relation to other methods for the determination of bean crop evapotranspiration with the goal of irrigation management. Two experiments were conducted. The first included the use of twelve ground water lysimeters operating with the modified Irrigâmetro, where six lysimeters were used for measuring evapotranspiration of grass-batatais (*Paspalum notatum* L.) and the other for determination of evapotranspiration in beans (*Phaseolus vulgaris* L.). The treatments were randomized in lysimeters. Readings from the lysimeters planted with grass and beans were performed daily at 9:00 am. The daily evapotranspiration values for the grass-batatais and bean plants were determined in accordance with the crop coefficients for both the grass and bean crop under conditions of the lysimeters of constant water level operation with the modified Irrigâmetro. The reference evapotranspiration (ET<sub>0</sub>) obtained using

the REF-ET computer program which was based on the Penman-Monteith FAO 56 equation was used as the basis for the modified Irrigâmetro. The second experiment was a comparative study of other methodologies of irrigation management, conducted with beans crop in an area of 0.18 ha and irrigated with a conventional sprinkling system. The management methods used were the Irrigâmetro, greenhouse standard method, class A tank, evapotranspiration estimate using the computer programs REF-ET and Irriplus. An automatic meteorology station was used which provided meteorological data to be used in the REF-ET and Irriplus computer programs. The tensiometric method was used as an indicator for irrigation, where the critical value of - 40 kPa was established. Calculation of irrigation levels was determined daily using the different irrigation management methods. The obtained results permitted the conclusion that: a) the average Kc values of grass-batatais grown in the ground water lysimeters was 1.11. b) the Kc values obtained for beans were 1.18, 1.41, and 1.58 for stages I, II and III of development, respectively. c) The greenhouse standard method presented an irrigation recommendation 10.1% lower to that of the Irrigâmetro, 20% greater to the hydraulic balance using the REF-ET computer program, 17.9% greater than the Irriplus computer program and 12% greater the class A tank method. Application of the Dunnett test with statistical significance of 5% showed that there was no significant difference between the irrigation management methods and the greenhouse standard method. Therefore, the Irrigâmetro performance in irrigation management for the bean crop was similar to the other methods utilized in this experiment.

## 1. INTRODUÇÃO

Água de boa qualidade é um recurso finito na natureza e a sua disponibilidade vem diminuindo gradativamente devido à expansão de fronteiras agrícolas, crescimento populacional e degradação do meio ambiente. Assim sendo, torna-se importante a criação pelo homem de uma visão mais conservadora da água, como parte de um processo de garantia da sobrevivência das gerações futuras.

A sustentabilidade da produção alimentar dependerá da utilização adequada dos recursos hídricos. Para atender as futuras demandas alimentares e o aumento da concorrência pelo uso da água, é essencial se ter uma agricultura irrigada mais eficiente, incluindo a conservação da água da chuva, a redução nas perdas de água na irrigação e a adoção de práticas culturais que visem o aumento da produção agrícola por unidade de água. (SMITH, 2000).

Ainda segundo Smith (2000), mais de 30 países, localizados em regiões áridas e semi-áridas, terão sérios problemas com escassez de água até o ano de 2025, com uma disponibilidade anual de água inferior a 1.000 m<sup>3</sup> *per capita*. Esse fato se traduzirá diretamente em redução do desenvolvimento, ameaça ao suprimento de alimentos e agravamento do empobrecimento no meio rural.

A agricultura irrigada é uma alternativa para incrementar a produção de alimentos, com maior número de safras por ano. Contudo, na expansão da agricultura irrigada, deve-se levar em consideração o elevado consumo e as restrições de disponibilidade de água. Nesse sentido, o aumento e a sustentabilidade da produção agrícola devem estar associados a uma redução

do consumo de água e à adoção de um conjunto de técnicas, incluindo-se sistema de plantio, rotação de culturas, fertilidade do solo, manejo integrado de pragas e doenças, mecanização agrícola, etc.

No setor agrícola, a água utilizada na irrigação tem recebido um tratamento especial, haja visto que é responsável por uma grande parcela do consumo total, pois, somente no Brasil, cerca de 61% da água captada é usada na agricultura para a produção de alimentos (ANA, 2007).

Frizzone e Botrel (1996), citados por Lima et al (2003), afirmam que a eficácia da irrigação se identifica pela relação custo-benefício e cuja maximização é função de uma série de fatores que vão desde as condições de mercado para os produtos agrícolas até as características de desempenho dos emissores de água. Dentre esses fatores está o uso quantitativo da água de forma racional. Nesse contexto, o conhecimento da quantidade de água disponível no solo às culturas mostra-se essencial, vindo a exigir métodos e instrumentos de determinação de umidade cada vez mais eficientes (GARZELLA, 2004).

O manejo da irrigação está inserido no contexto de maximização da produção agrícola como agente regulador no momento de se realizar uma irrigação, sendo um processo utilizado para decidir quando irrigar as culturas e quanto aplicar de água. Várias metodologias podem ser utilizadas no manejo da irrigação, sendo que o poder aquisitivo e o nível tecnológico dos produtores determinarão as estratégias a ser utilizadas.

Na adoção de um programa de manejo da irrigação em uma propriedade agrícola, é importante determinar o consumo de água da cultura. Existem vários métodos que consideram medidas efetuadas no solo, na planta e na atmosfera. Contudo, a determinação da evapotranspiração da cultura tem sido mais usada para quantificar a lâmina de água a ser aplicada na irrigação.

A evapotranspiração da cultura pode ser determinada por diversos métodos, incluindo-se o lisímetro e o Irrigâmetro. Materán (2006), trabalhando com lisímetros de lençol freático constante cultivados com grama batatais operando com irrigâmetro modificado, obteve bons resultados na determinação da evapotranspiração de referência. O Irrigâmetro, desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa (UFV), pode ser ajustado para estimar diretamente a evapotranspiração da cultura, em qualquer estágio de desenvolvimento, sendo usado no manejo da irrigação. Ele combina o método

de estimativa da evapotranspiração com a disponibilidade de água no solo para a cultura, sendo um aparelho que fornece diretamente o momento adequado de irrigar e o tempo de funcionamento ou a velocidade de deslocamento do sistema de irrigação, sendo de fácil manuseio.

Por se tratar de uma nova tecnologia para manejo da irrigação, há a necessidade de desenvolvimento de pesquisas regionais com uso do Irrigâmetro com culturas exploradas em condições edafoclimáticas diferentes. Nesse contexto, objetivou-se neste trabalho:

- Determinar a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e da grama batatais (*Paspalum notatum* L.), com uso de lisímetro de lençol freático constante conectado ao irrigâmetro modificado;
- Determinar os coeficientes de cultura (K<sub>c</sub>) da grama batatais e do feijoeiro;
- Comparar diferentes métodos de manejo da irrigação para a cultura do feijão, utilizando-se o Irrigâmetro, o método padrão de estufa, o tanque classe A e estimativa da evapotranspiração através dos programas computacionais REF-ET e Irriplus.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A cultura do feijão irrigado

O feijão representa uma importante fonte protéica na dieta humana dos países em desenvolvimento das regiões tropicais e subtropicais. No Brasil, é um dos componentes básicos da dieta alimentar da população e importante fonte de proteína para as classes economicamente menos favorecidas. As Américas respondem por 43,2% do consumo mundial, seguidas da Ásia (34,5%), África (18,5%), Europa (3,7%) e Oceania (0,1%). Os países em desenvolvimento são responsáveis por 86,7% do consumo mundial. No Brasil, o consumo per capita de feijão, na década de 70, era de 18,5 kg hab<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>; já em 2002, baixou para 16,3 kg hab<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (FAOSTAT, 2005).

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é a espécie mais cultivada entre as demais do gênero *Phaseolus*. Considerando todos os gêneros e espécies de feijão englobados nas estatísticas da FAO, publicadas em 2005, a produção mundial de feijão situou-se em torno de 18,7 milhões de toneladas, ocupando uma área de 26,9 milhões de hectares. Os países em desenvolvimento respondem por 89,2% da produção mundial e, entre os continentes, a Ásia é o maior produtor mundial, com 45,7%, seguida das Américas (36,7%), África (13,9%), Europa (3,4%) e Oceania (0,2%). Cerca de 66% da produção mundial foi oriunda de apenas sete países, sendo o Brasil o maior produtor, respondendo por 16,3% da produção mundial (Tabela 1).

Tabela 1: Produção de feijão no mundo em 2004

País	Produção (t)	Participação na produção mundial (%)	Participação acumulada (%)
Brasil	3.054.049	16,3	16,3
Índia	3.000.000	16,1	32,4
China	2.009.000	10,7	43,1
Myanmar	1.650.000	8,8	51,9
México	1.400.160	7,5	59,4
Estados Unidos	847.900	4,5	63,9
Uganda	535.000	2,9	66,8
Outros 110 países	6.203.157	33,2	100,0
Total mundial	18.699.266	100,0	-

Fonte: Base de dados FAOSTAT (2005).

No Brasil, o cultivo dessa leguminosa é difundido em todo o território nacional, no sistema solteiro ou consorciado com outras culturas. Essa grande dispersão da produção tem dificultado a organização da cadeia produtiva, especialmente nas regiões onde há o predomínio de pequenas propriedades, quando estas não estão devidamente organizadas entre si.

No período de 1984 a 2004, a área de plantio de feijão no Brasil sofreu uma redução de cerca de 25%; a produção, contudo, aumentou em 16%, graças ao incremento de 54% na produtividade média (COBUCCI e WRUCK, 2005).

O rendimento do feijoeiro é bastante afetado pela condição hídrica do solo. Deficiência ou excesso de água, nos diferentes estádios da cultura, causam redução na produtividade em proporções variadas. 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 as partes aéreas da planta. O déficit hídrico está associado, portanto, à redução progressiva da água no solo, acompanhando a profundidade radicular. Quanto maior a redução, mais severo será o déficit.

Segundo Moreira et al (1988), o excesso de água provoca deficiência de oxigênio, levando a uma concentração inadequada desse elemento na planta,

redução da atividade microbiana do solo e aumento na incidência de mofo branco, importante doença fúngica do feijoeiro. Segundo esses autores, o consumo de água pelo feijoeiro depende do estágio de desenvolvimento da cultura, das características do solo e do clima. De acordo com Doorenbos e Kassam (1979), a necessidade de água do feijoeiro com ciclo de 60 a 120 dias varia entre 300 a 500 mm para obtenção de alta produtividade.

No contexto da agricultura irrigada, a cultura do feijão é considerada sensível ao déficit hídrico, portanto, dependente da irrigação, principalmente nos períodos de estiagem.

Até alguns anos atrás, a cultura do feijão era explorada quase exclusivamente por pequenos produtores. Diversos fatores podem ser enumerados como desestimuladores da exploração do feijão por grandes produtores. O risco parece ser um dos principais fatores desse desinteresse. Aproximadamente 90% da produção brasileira de feijão é proveniente do cultivo das “águas” e da “seca”, ambos de elevado risco. No primeiro caso, por coincidir a colheita com o período chuvoso, e no segundo, por ser uma época em que as chuvas são bastante escassas, podendo ocorrer deficiência hídrica durante o ciclo da cultura.

Mediante esse cenário, a irrigação nas épocas de baixa pluviosidade se torna obrigatória, principalmente nas regiões onde a deficiência hídrica é evidente. Atualmente, estima-se que, do total da área cultivada em Minas Gerais com feijoeiro irrigado, 85% seja pelo sistema de pivô-central e os 15% restantes, por aspersão convencional, autopropelido e por superfície (CARNEIRO et al., 2005).

Outro aspecto importante inerente à irrigação do feijoeiro é o manejo da irrigação adotado. A eficiência do manejo de irrigação é avaliada pela capacidade do método de manejo adotado em detectar quando e quanto irrigar e promover aplicação de água na quantidade requerida pela cultura. Ao mesmo tempo, é importante que o sistema de irrigação utilizado apresente elevada eficiência de aplicação, evitando perdas excessivas de água, elevação do custo de energia (elétrica ou diesel) e degradação dos recursos naturais.

A questão do manejo da água de irrigação abrange o termo qualidade da irrigação, que pode ser avaliada pelo conhecimento da sua efetividade e da eficiência do uso da água pelas plantas. O termo efetividade da irrigação, segundo Frizzone (1992), descreve qualitativamente a eficiência de aplicação,

a uniformidade de distribuição e a eficiência de armazenagem da água no solo. A eficiência de aplicação representa, basicamente, a fração do volume total de água aplicada que é armazenada na profundidade do sistema radicular enquanto que a eficiência de armazenagem indica a fração do volume de água requerida armazenada na profundidade do sistema radicular.

## **2.2 Manejo da irrigação**

O manejo da irrigação é o processo utilizado para decidir quando irrigar as culturas e quanto aplicar de água. Esse se mostra um dos principais meios para otimização da produção agrícola e conservação da água, além de ser essencial para melhorar o desempenho e a sustentabilidade de sistemas de irrigação. De acordo com estudo realizado pela Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG (2007), se a irrigação fosse utilizada de forma racional, aproximadamente 20% da água e 30% da energia consumida seriam economizadas.

Atualmente os agricultores irrigantes dispõem de uma série de metodologias no que diz respeito ao manejo da irrigação. O nível de tecnologia do produtor determinará a escolha da estratégia de manejo de irrigação. Grandes produtores e os que exploram culturas de alto valor econômico podem adotar e investir em técnicas mais sofisticadas. Por outro lado, mesmo agricultores que usam níveis mais baixos de tecnologia, como a agricultura familiar, que representa cerca de 85,2% (IBGE, Censo Agropecuário 1995/96) dos estabelecimentos agropecuários do país, podem usufruir de técnicas de manejo de irrigação, como a adoção de um calendário de irrigação baseado em condições médias de solo/clima/cultura, controle operacional simplificado, que pode se basear em intervalos fixos e aplicação constante de água, ou a utilização de equipamentos próprios para o manejo da irrigação, desde que de mais fácil acesso e utilização.

O manejo da irrigação pode ser adotado com o uso de turno de rega fixo ou turno de rega variável. O turno de rega fixo é normalmente adotado em áreas que apresentam baixa precipitação pluvial, onde a maior parte da água é suprida por meio de irrigação. Nesse sistema, fixam-se os dias que a área será irrigada, variando-se a lâmina de irrigação a ser aplicada mediante o

acompanhamento do manejo da irrigação. No turno de rega variável a irrigação é realizada sempre que a  $ET_c$  acumulada ( $ET_{ca}$ ) atingir um valor pré-estabelecido, que vai depender, principalmente, do tipo de solo. Quanto maior a capacidade de retenção de água apresentada pelo solo, maior será o valor de  $ET_{ca}$ . Quanto maior o valor de  $ET_{ca}$  adotado, maior será o intervalo de irrigação.

Apesar da disponibilidade de várias metodologias utilizáveis no manejo da irrigação, a grande maioria dos produtores irrigantes não tem adotado qualquer método no manejo da irrigação em suas propriedades (ESPÍNDULA NETO, 2002). Os baixos custos da água de irrigação comparativamente ao custo de implantação de um programa de manejo e gerenciamento da irrigação, bem como a dificuldade na quantificação da redução na produtividade e rentabilidade devido ao atraso na irrigação, à fertilização imprópria e irrigação excessiva têm contribuído para tal fato.

O principal objetivo da irrigação é promover aumento de produtividade e conseqüente aumento de rentabilidade na propriedade agrícola, isto é, garantir que o incremento nos rendimentos sejam maiores que a adição de custos. Porém, os riscos do uso dessa tecnologia devem ser criteriosamente analisados, visto que a irrigação vai muito além da aplicação de água ao sistema produtivo agrícola, pois a agricultura irrigada se torna um novo sistema de produção que deve ser tratado de maneira diferenciada, onde o aumento da produtividade e rentabilidade da propriedade agrícola só ocorrerá se houver uma interação entre os diferentes componentes do sistema produtivo. (SANTOS, 2004).

A seguir, são descritas algumas metodologias utilizadas no manejo da irrigação na agricultura irrigada.

### **2.2.1 Método Padrão de Estufa (MPE)**

O método padrão de estufa (MPE), que é um método direto de determinação da umidade do solo, se baseia na retirada de amostras representativas da camada de solo a ser irrigada e na determinação da umidade, em base seca, desse solo.

Para a obtenção de resultados confiáveis pelo MPE, alguns passos devem ser seguidos: retirada de amostras de solo representativas na profundidade do sistema radicular da cultura em questão; colocação das amostras de solo em recipientes apropriados; pesagem do recipiente com solo úmido; colocação do recipiente com solo em estufa a 105<sup>0</sup>C durante 24 horas; pesagem do recipiente com solo seco e pesagem do recipiente, obtendo-se, pela equação abaixo, o valor de umidade em base seca.

$$U_a = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} * 100 \quad (1)$$

em que

- U<sub>a</sub> = umidade atual do solo, %;
- M<sub>1</sub> = massa do recipiente com solo úmido, g;
- M<sub>2</sub> = massa do recipiente com solo seco, g, e;
- M<sub>3</sub> = massa do recipiente, g.

De posse do teor de água do solo, em porcentagem, a lâmina real de água a ser aplicada é calculada por:

$$L_i = \frac{(C_c - U_a)}{10} D_s Z \quad (2)$$

em que

- L<sub>i</sub> = lâmina real de irrigação, mm;
- C<sub>c</sub> = umidade do solo à capacidade de campo, % em

peso;

- U<sub>a</sub> = umidade atual do solo, % em peso;
- D<sub>s</sub> = densidade do solo, g cm<sup>-3</sup>;
- Z = profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, cm.

A lâmina total de água a ser aplicada pelo sistema de irrigação é calculada por:

$$L_t = \frac{L_i}{E_a} \quad (3)$$

em que

$L_t$  = lâmina total de irrigação, mm;

$E_a$  = eficiência de aplicação do sistema de irrigação, em %.

O tempo de irrigação por posição é calculado com o uso da seguinte expressão:

$$T_i = \frac{L_t}{I_a} \quad (4)$$

em que

$T_i$  = tempo de irrigação, h; e

$I_a$  = intensidade de aplicação de água,  $\text{mm h}^{-1}$ .

Apesar de ser um método muito preciso para a determinação da umidade do solo, é pouco utilizado no manejo da irrigação por ser trabalhoso e apresentar o inconveniente de fornecer resultados somente 24 horas após a coleta da amostra de solo, além de necessitar de balança de precisão e estufa, sendo mais utilizado na calibração de outros métodos de manejo.

### 2.2.2 Tensiometria

O tensiômetro mede a tensão com que a água é retida pelo solo, a qual afeta diretamente a absorção de água pelas plantas. Ele é constituído de uma cápsula porosa de cerâmica que é ligada a um vacuômetro por um tubo, que pode ser de acrílico ou PVC. O tensiômetro propicia, diretamente, a leitura da tensão de água no solo e, indiretamente a determinação da percentagem de água no solo. O manejo da irrigação com a utilização da tensiometria é função das características do solo (DOORENBOS e PRUITT, 1977; BERNARDO et al., 2006; PEREIRA e ALLEN, 1997). Entretanto, este equipamento só tem capacidade para leituras de tensão até 75 kPa. Se usado para tensões superiores a esta, o ar entra nos poros da cápsula de cerâmica e o tensiômetro

pára de funcionar. Assim, ele estima somente uma parte da “água útil” do solo. Em solos arenosos, o tensiômetro estima cerca de 70 % da ”água útil”, e em solos argilosos, cerca de 40 %, podendo, conseqüentemente, gerar grandes erros, ocasionando um manejo incorreto da irrigação (BERNARDO et al., 2006). Lopes et al (2004), trabalhando com tensiometria e tanque classe A no manejo da irrigação da cultura do feijoeiro, em sistema de plantio direto e convencional, verificou que a recomendação de lâmina de irrigação pelo tensiômetro foi 15% menor que a lâmina recomendada pelo Tanque Classe A, gerando economia de água. Esses resultados são mais relevantes quando confrontados com os de produtividade, uma vez que esses não diferiram significativamente entre os tratamentos de sistemas de cultivo nem entre os de manejo de irrigação, indicando melhor eficiência no uso da água no tratamento tensiômetro e conseqüente aumento de rentabilidade.

### **2.2.3 Tanque Classe A**

O tanque classe A (TCA) foi um dos métodos mais utilizados para estimativa da evapotranspiração de referência no manejo da água de irrigação. Segundo Sedyama (1996), o maior uso desse equipamento é devido à sua praticidade e aos baixos custos de instalação e manutenção. De acordo com Smith (1991), quando bem conduzido, esse método oferece resultados confiáveis na determinação da evapotranspiração de referência. Esse método mede o efeito integrado da radiação, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa sobre a evaporação de uma superfície de água-livre.

O TCA é um evaporímetro (tanque) de dimensão circular, com 1,21 m de diâmetro por 0,254 m de altura e construído em chapa galvanizada número 22. É assentado no solo sobre um estrado de madeira de 0,10 x 0,05 x 1,24 m, nivelado sobre o terreno. O Tanque Classe A é cheio com água limpa até 5 cm da borda superior e se permite um nível mínimo de água de 7,5 cm, a partir da borda, ou seja, a cada 25 mm (2,5 cm) de evaporação deve-se restaurar o volume do tanque. Sua operação é bastante simples e a variação do nível da água é medida com uma ponta em forma de gancho, assentada num poço tranquilizador, sendo a precisão da medida de cerca de 0,02 mm.

A leitura do nível de água é realizada diariamente e a diferença entre leituras caracteriza a evaporação no período. Porém, os processos de evaporação da água livre no tanque (EV) e a evapotranspiração potencial da cultura ( $ET_p$ ) são semelhantes apenas nos seus aspectos físicos. Para a conversão da evaporação em evapotranspiração potencial, coeficientes específicos dependentes do clima e da bordadura circundante são utilizados (DOORENBOS e PRUITT, 1977), de acordo com a expressão:

$$ET_p = K_t E_v \quad (5)$$

em que

$ET_p$  = evapotranspiração potencial,  $mm\ d^{-1}$ ;

$K_t$  = coeficiente do tanque, adimensional;

$E_v$  = evaporação medida no evaporímetro,  $mm\ d^{-1}$ .

O valor de  $K_t$  varia com as condições da área circundante do tanque, ou seja, tamanho e natureza da área de bordadura, condições de umidade relativa do ar e velocidade do vento. O coeficiente do tanque Classe A em superfície coberta com grama foi ajustado por Allen e Pruitt (1991), expresso pelo modelo:

$$K_t = 0,108 - 0,00031U_2 + 0,0422 \ln(\text{bordadura}) + 0,1434 \ln(\text{URmed}) - 0,000631 [\ln(\text{bordadura})]^2 \ln(\text{URmed}) \quad (6)$$

Deve-se levar em consideração que a evapotranspiração potencial determinada com o uso do tanque Classe A apresenta uma adequada precisão no manejo da irrigação por períodos de no mínimo cinco dias. Outro ponto importante é seguir corretamente as recomendações de construção do tanque, principalmente no que se refere ao tipo de metal utilizado. A utilização de metal não recomendado pode proporcionar um erro de até 30% na estimativa da evapotranspiração potencial (BERNARDO et al., 2006).

## 2.2.4 Irrigâmetro

Em razão do grande número de métodos existentes para estimativa da evapotranspiração potencial das culturas, a escolha do método mais adequado depende da disponibilidade de dados meteorológicos, do nível de precisão exigido, da finalidade (se manejo da irrigação ou pesquisa) e do custo de aquisição de equipamentos. Esses fatores têm levado pesquisadores a desenvolver métodos alternativos para determinação da evapotranspiração para fins práticos de manejo da água de irrigação, objetivando baixo custo, fácil manuseio e boa precisão (OLIVEIRA et al., 2008).

O Irrigâmetro foi desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa (UFV), objetivando ser uma ferramenta prática no manejo da água de irrigação. A UFV é a depositária da patente do aparelho. O Irrigâmetro combina o método de estimativa da evapotranspiração com a disponibilidade de água no solo para a cultura, sendo um aparelho evapopluiométrico que fornece diretamente o momento de irrigar e o tempo de funcionamento ou a velocidade de deslocamento do sistema de irrigação, de maneira simplificada, precisa e com custo reduzido, permitindo efetuar o cômputo da efetividade da chuva no manejo da irrigação. Estando o Irrigâmetro ajustado para as condições de solo, cultura e equipamento de irrigação, o manejo da água é conduzido sem a necessidade de cálculos, sendo utilizado um equipamento para cada cultura em exploração (OLIVEIRA e RAMOS, 2008).

O Irrigâmetro possui três escalas: (a) escala laminar - graduada no próprio tubo de alimentação do aparelho, que possui a função de medir a lâmina de água evaporada ou evapotranspirada; (b) escala da régua de manejo - sem graduação, possui quatro faces e em cada uma delas, quatro faixas verticais de cores: azul, verde, amarela e vermelha. A sua função é indicar a necessidade de irrigação; e (c) escala da régua temporal ou percentual – graduada em horas e minutos ou em porcentagem, esta régua indica o tempo de funcionamento, no caso de aspersão convencional ou localizada, ou a velocidade de deslocamento do sistema de irrigação, no caso de pivô central ou sistema linear.

Na régua de manejo, as quatro faixas coloridas são indicadoras do momento de irrigar a cultura. Quando o nível da água no interior do tubo de alimentação se encontra na direção da faixa azul ou da faixa verde, é indicativo

de alta e boa disponibilidade de água no solo, respectivamente, não havendo necessidade de irrigar a cultura; na direção da faixa amarela, é recomendável irrigar e caso o nível de água abaixe a ponto de atingir a faixa vermelha, o irrigâmetro estará indicando ao produtor que o momento da irrigação já passou, podendo ocorrer redução na produtividade da cultura que está sendo irrigada.

A determinação do consumo de água das culturas pelo irrigâmetro em seus diferentes estádios de desenvolvimento se baseia na variação do nível da água no evaporatório do equipamento. Na fase inicial de desenvolvimento (fase I), o nível da água no evaporatório é o mais baixo, em razão do menor consumo de água da cultura nesse período. A fase de florescimento e enchimento de grãos (fase III) se caracteriza pelo maior consumo de água pela cultura durante o ciclo, sendo o nível de água no evaporatório o mais alto. Experimentos anteriores (TAGLIAFERRE et al., 2006) pré-determinaram os níveis de água mais adequados aos diferentes estádios de desenvolvimento das culturas, calibrando o equipamento para seu uso para as condições de Viçosa, MG.

### **2.2.5 Programa computacional Irriplus**

O Irriplus foi desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa, sendo um programa que realiza o cômputo do balanço hídrico do solo, considerando as entradas de água por irrigação e precipitação e as saídas por evapotranspiração e percolação profunda abaixo da camada de solo utilizada pelas raízes. Utiliza em seu banco de dados para o cálculo da evapotranspiração da cultura o método padrão Penman-Monteith FAO 56. O programa é alimentado diariamente com dados climáticos provenientes de uma estação meteorológica automática, que fornece dados de temperatura máxima, mínima e média, umidade relativa média, precipitação, velocidade do vento média e radiação solar média, onde o manejo e o gerenciamento da irrigação são realizados diariamente.

Para o cálculo da lâmina bruta, o programa considera, além do balanço hídrico diário do solo, a eficiência da aplicação da água de irrigação para área adequadamente irrigada do sistema, conforme descrito por Keller e Bliesner (1990), citado por Vicente et al (2007).

Uma vez implantada, é uma ferramenta de fácil utilização e controle do momento adequado de irrigar e da lâmina ou tempo de irrigação necessário e também relacionado à avaliação e definição das condições de distribuição de água e perdas do sistema de irrigação (MANTOVANI et al., 2006).

O programa tem grande potencialidade, pois é uma ferramenta de suporte à decisão composta de vários softwares voltados para o manejo de irrigação, com várias possibilidades de uso e os seguintes módulos:

- Manejo: saída mais completa, e indica o déficit, momento, lâmina de irrigação e cerca de outras 50 variáveis, de forma gráfica ou relatório. Permite a análise de cada parcela de forma detalhada, análise de safra, etc.
- Simula: simulação de cenários para fins de planejamento (lâmina de projeto, necessidades de irrigação, déficit hídrico, veranico, horas de irrigação, consumo de energia e cerca de outras 50 variáveis na forma de gráfico e relatórios). Dispõe de dados climáticos de mais de 700 estações meteorológicas de todo o Brasil, permitindo utilização de critérios de probabilidade de forma muito simples.
- Avalia: sistema que orienta e permite os cálculos de eficiência de irrigação (uniformidade e outras perdas).
- Experimento: para o gerenciamento de áreas experimentais.
- NPK: para o gerenciamento da fertirrigação.

## **2.2.6 Estimativa da evapotranspiração com uso do programa computacional REF-ET**

Os valores de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) estimados pelo método de Penman-Monteith FAO 56 foram obtidos com o uso do aplicativo computacional REF-ET (ALLEN 2000).

O balanço hídrico se caracteriza pela contabilização da entrada e saída de água de um sistema. No caso de uma cultura, o balanço hídrico permite estabelecer a variação do armazenamento da água no solo e sua disponibilidade para as plantas. Conhecendo-se a capacidade que o solo possui de armazenar água, é possível estabelecer um controle da umidade do solo, determinando-se, dessa forma, o momento adequado de se proceder a irrigação e a lâmina de água a ser aplicada.

No caso de uso de estação meteorológica automática que possui sensores que fornecem os valores de radiação solar, velocidade do vento, umidade relativa e temperatura do ar, a evapotranspiração é calculada com base nesses elementos climáticos através de equações apropriadas. Por estarem associados elevados custos para o produtor, envolvendo a aquisição da estação, de computador e de programa computacional, manutenção periódica, assistência técnica especializada, além de certo conhecimento técnico do irrigante, o uso da estação meteorológica automática para a realização do balanço hídrico diário se torna bastante limitado para a grande maioria dos produtores que trabalham no âmbito da agricultura irrigada no Brasil, principalmente a agricultura familiar.

### **2.3. Evapotranspiração**

A evapotranspiração e a precipitação efetiva são os parâmetros mais importantes para o cálculo da necessidade de irrigação. A evapotranspiração inclui a evaporação da água do solo, a evaporação da água depositada nas folhas, que pode ter origem no orvalho ou irrigação, e a transpiração vegetal.

O consumo de água envolvido no processo de evapotranspiração é influenciado por diversos fatores, entre eles, a ação combinada dos elementos meteorológicos como a radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, o grau de sombreamento do dossel vegetal e a quantidade de água prontamente disponível no solo. (DOORENBOS E PRUITT, 1977; MEDEIROS, 2002). De maneira geral, as taxas de evaporação e transpiração aumentam com a maior disponibilidade de energia solar, maior temperatura do ar, maior velocidade do vento e menor umidade relativa.

A determinação do consumo de água de uma cultura é de fundamental importância no contexto agrícola e ambiental, podendo ser obtida a partir de medidas efetuadas no solo, na planta e na atmosfera. Os métodos baseados em medidas no solo se fundamentam na determinação do seu teor de água; os que utilizam medidas na planta consideram o monitoramento do seu potencial hídrico e avaliações da resistência estomática, da temperatura da folha, dentre outros; já os métodos baseados no clima consideram desde simples medições da evaporação da água num tanque, como o Classe A, até complexas

equações para estimativa da evapotranspiração (ROCHA et al., 2003). A determinação da evapotranspiração tem sido mais usada por causa da sua maior praticidade e da menor exigência de mão-de-obra no manejo da irrigação.

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) é a evapotranspiração de uma cultura hipotética com dossel de cobertura total do solo, sem restrições hídricas ou nutricionais, com altura média de 12 cm, albedo de 0,23 e resistência da superfície de  $70 \text{ s m}^{-1}$ . A equação de Penman-Monteith foi adotada como método padrão para a estimativa da  $ET_0$ .

A equação de Penman-Monteith, proposta por Allen et al. (1998), é baseada numa formulação teórica de conceitos físicos que governam a troca de energia e o seu fluxo de calor latente. Apresenta estimativas confiáveis e consistentes, sendo considerada de melhor desempenho entre os métodos combinados.

Métodos diretos e indiretos também são utilizados na determinação da evapotranspiração (BERNARDO et al., 2006). Como métodos diretos, os autores citam o método dos lisímetros, das parcelas experimentais e o de controle da umidade do solo; como métodos indiretos, descrevem os evaporímetros e as equações baseadas em dados experimentais.

Segundo Tagliaferre et al (2006), o uso de minievaporímetro apresentou excelente desempenho para estimativa da  $ET_0$  em escala diária, quinidial e decendial, para diferentes profundidades de nível de água, sendo seu uso recomendado para fins de manejo da irrigação.

Lisímetros de pesagem medem diretamente a evapotranspiração pela variação de massa de um grande volume de solo vegetado, sendo o método mais preciso na determinação da evapotranspiração, apresentando elevado custo por requerer sensores de muita sensibilidade (PEREIRA et al., 2002). Porém, o autor também menciona problemas operacionais na utilização do lisímetro de pesagem, embora sendo considerado o sistema padrão na mensuração detalhada da variação da massa, questionando seu desempenho, ressaltando também a pouca praticidade deste no campo. Segundo Materán (2006), por serem volumosos e pesados, o uso desses lisímetros limita-se a um só local, inviabilizando seu uso pela maioria dos produtores. Mendonça et al (2003), comparando vários métodos de estimativa de evapotranspiração de

referência, concluiu que o lisímetro de pesagem foi o que mais se ajustou ao método padrão Penman-Monteith FAO 56.

O lisímetro de lençol freático constante é o método mais utilizado para determinação da evapotranspiração máxima das culturas e de uso mais difundido no Brasil. Neste tipo de lisímetro, o nível freático é mantido constante na parte inferior do reservatório do lisímetro. Ocorrendo o processo evapotranspirativo, a água que se encontra no nível freático se desloca para a região radicular por capilaridade. Esse deslocamento de água causa o decréscimo do nível freático que é compensado imediatamente por um dispositivo de alimentação, sendo que a quantidade de água necessária para repor o nível do lençol freático é medida no reservatório de abastecimento (VILLA NOVA & REICHARDT, 1989). A altura do lençol freático determina a umidade da zona radicular e influi no suprimento de água e na aeração do solo, limitando o sistema radicular (ANDRADE, 1991).

Segundo Tagliaferre (2006), o uso de estações meteorológicas para a estimativa da  $ET_0$  a partir de equações físico-matemáticas como a de Penman-Monteith FAO 56, são precisas, fornecendo medidas em tempo quase real. Porém, apresentam a desvantagem de serem onerosas e dependentes de uso de programas computacionais, além de apresentarem problemas na calibração dos seus sensores. O mesmo autor complementa que a medida da evaporação da água em tanques, como o tanque classe A, é um método de custo mais acessível para a estimativa da  $ET_p$ . No entanto, a influência da transferência de calor da parede do tanque para a massa de água por efeito da incidência da radiação solar tem sido pouco estudada no processo da evaporação, assim como o nível adequado da água dentro do tanque, necessitando-se, também, de cálculos para a obtenção da  $ET_p$  a partir da lâmina evaporada.

## **2.4 Coeficiente de cultura**

O coeficiente de cultura ( $k_c$ ) relaciona a evapotranspiração de determinada cultura com a evapotranspiração de referência em condições ótimas de umidade, fertilidade e sanidade, em seus diferentes estádios de seu desenvolvimento. Contudo, quando as condições de campo diferem dessas condições padrão, coeficientes de correção são necessários para o ajuste da

$ET_c$ , tais como o coeficiente de déficit de umidade no solo ( $k_s$ ) e o de localização da irrigação ( $K_l$ ), os quais refletem o efeito das condições ambientais e do manejo da irrigação no campo (ALLEN et al., 1998).

Mendonça et al (2007) destaca que o uso adequado de coeficientes de cultura ( $k_c$ ) associados a estimativas de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) se constituem nas principais informações necessárias para o manejo racional da irrigação para fins de planejamento do uso da água.

O coeficiente de cultura varia com o tipo de cultura, e a sua fase de desenvolvimento, com as condições climáticas e com os tratos culturais, sendo que, para fins práticos de manejo da água de irrigação, são considerados quatro estádios de desenvolvimento da cultura (ALLEN et al, 1998):

- I. Estádio inicial: começa no plantio e estende-se até, aproximadamente, quando a planta cobre 10% da superfície do solo;
- II. Estádio de crescimento: inicia-se no final do primeiro estágio até completar a cobertura efetiva do solo;
- III. Estádio intermediário: ocorre da cobertura completa efetiva ao início da maturação; e
- IV. Estádio final: que compreende o período desde o início da maturação até a colheita ou senescência completa.

Silveira & Stone (2004) citam que determinadas variações entre os valores de  $k_c$  podem ocorrer entre diferentes cultivares ou mesmo com a utilização de práticas culturais diferenciadas.

Segundo Medeiros et al. (2004), o  $k_c$  é um parâmetro relacionado aos fatores ambientais e fisiológicos das plantas devendo, preferencialmente, ser determinado para as condições locais nas quais será utilizado; todavia, sua determinação sob condições de campo exige um grande esforço de pessoal técnico, equipamentos e custos, em virtude da quantidade de informações, controles e monitoramentos necessários ao balanço hídrico em uma área irrigada. Para obtenção de  $k_c$  ao longo do ciclo da cultura, a utilização de lisímetros se torna vantajosa, devido a boa precisão obtida por esse sistema no controle do balanço hídrico do solo.

Os valores de  $k_c$  são determinados pela equação 7:

$$k_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (7)$$

em que

$ET_c$  = evapotranspiração da cultura,  $mm\ d^{-1}$ ;

$ET_0$  = evapotranspiração de referência,  $mm\ d^{-1}$ .

Os valores de  $k_c$  são determinados diariamente, em trabalhos realizados no campo ou unidades experimentais, e agrupados no intervalo de dias de cada estágio de desenvolvimento, sendo que o valor médio para cada estágio de desenvolvimento representa o  $k_c$  para as condições daquela cultura e para a região onde foi determinada.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Local de condução dos experimentos**

Foram conduzidos dois experimentos, sendo um sobre a determinação dos coeficientes de cultura da grama batatais e do feijoeiro utilizando-se lisímetros de lençol freático constante, operando com irrigâmetro modificado, e outro sobre comparação do Irrigâmetro com outros métodos de manejo da irrigação, utilizando a cultura do feijão. Ambos foram conduzidos na Área de Irrigação e Drenagem pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da UFV (DEA/UFV), em Viçosa, MG, situada a 20° 45' de latitude Sul e 42° 51' de longitude Oeste, numa altitude de 651 m.

#### **3.2 Experimento 1: Determinação dos coeficientes de cultura da grama batatais e do feijoeiro em lisímetros operando com irrigâmetro modificado**

Na Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento do Irrigâmetro, localizada na Área de Irrigação e Drenagem do DEA/UFV, os lisímetros são de lençol freático constante operando com irrigâmetro modificado, constituídos de caixa de cimento amianto com capacidade para 1.000 litros (1,10 m de largura, 1,60 m de comprimento e 0,70 m de profundidade), com solo a 0,50 m de profundidade.

Na realização deste experimento foram utilizados doze lisímetros, sendo seis lisímetros para medição da evapotranspiração da grama batatais

(*Paspalum notatum* L.) e os outros para determinação da evapotranspiração da cultura com feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).

O suprimento de água para atender às necessidades hídricas da grama batatais e do feijoeiro foi feito por ascensão capilar do lençol freático, mantido a 0,50 m de profundidade.

Para evitar a ocorrência de chuva nos lisímetros, coberturas eram instaladas durante a noite e retiradas no início da manhã. Em dias nublados e chuvosos, as mesmas também eram instaladas durante o período diurno.

Os lisímetros foram preenchidos com material de solo proveniente de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, retirado na camada de 0,50 m de profundidade, tendo sido destorroado e peneirado. As características físico-hídricas do solo, tais como a sua densidade, textura, porosidade e capacidade de retenção de água foram determinadas no Laboratório de Solo e Água do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, utilizando-se a metodologia recomendada pela Embrapa (1997).

Cerca de 30 dias antes do plantio da grama batatais e do feijoeiro, a fertilidade do material de solo nos lisímetros foi corrigida com base nos resultados da análise de solo, com aplicação de calcário dolomítico na proporção de 1.000 kg ha<sup>-1</sup>. Nos lisímetros destinados à grama batatais, também foi feita a aplicação de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na proporção de 150 kg ha<sup>-1</sup>.

O plantio do feijão nos lisímetros, cultivar Ouro Vermelho, foi realizado no dia sete de abril de 2007, com adubação de plantio feita na proporção de 400 kg ha<sup>-1</sup> de adubo na formulação NPK 08-28-16. Foi realizada uma adubação de cobertura com nitrogênio na dosagem de 100 kg ha<sup>-1</sup>, 30 dias após emergência. A semeadura do feijão foi feita em fileiras espaçadas de 0,5 m, com 12 a 14 sementes por metro, deixando-se, após o desbaste, 10 plantas por metro, correspondendo a uma população de 200 mil plantas por hectare.

A grama batatais plantada dentro e fora dos lisímetros foi podada numa altura de 8 cm quando atingia 15 cm de altura. Nesta cultura, foram realizadas duas adubações de cobertura com N e K, na proporção de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N e 60 kg ha<sup>-1</sup> de K, segundo Ribeiro et al (1999).

O fundo dos lisímetros foi conectado individualmente a cada irrigâmetro modificado por meio de um tubo de PVC. O irrigâmetro modificado foi construído com tubo de alimentação de PVC com diâmetro de 200 mm e 1,1 m de altura, com escala de leitura em milímetros (Figura 1).

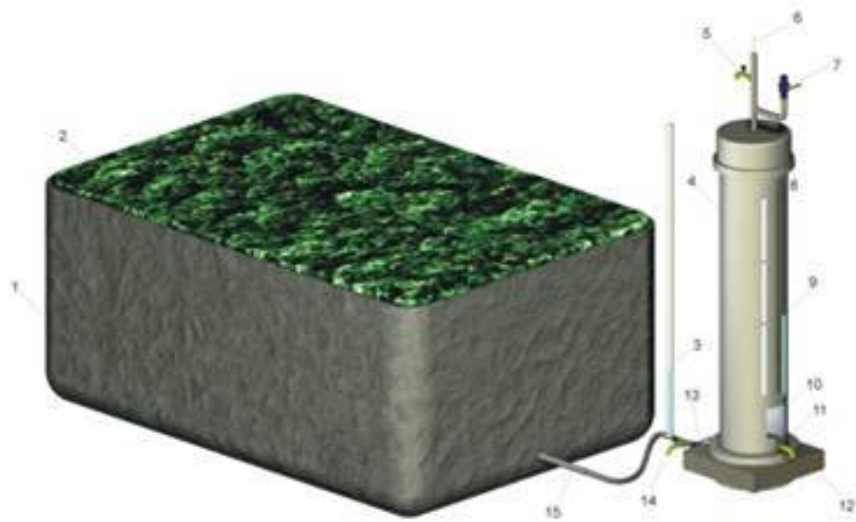


Figura 1. 1. Caixa de amianto; 2. Grama batatais; 3. Tubo pluvial; 4. Tubo de leitura-alimentação; 5. Válvula de escapamento; 6. Tubo de borbulhamento; 7. Válvula de abastecimento; 8. Escala de leitura; 9. Piezômetro; 10. Visor; 11. Válvula de drenagem; 12. Suporte; 13. Válvula interconectora; 14. Válvula pluvial e 15. Tubo interconector.



Figura 2. Irrigômetros modificados que foram conectados aos 12 lisímetros de lençol freático constante.

As leituras foram realizadas diariamente às nove horas da manhã, sendo que o reabastecimento dos irrigômetros modificados era feito sempre que necessário, a fim de manter constante a reposição de água do lençol freático dos lisímetros.

Os irrigômetros modificados instalados nos lisímetros têm o mesmo princípio de funcionamento do irrigômetro (OLIVEIRA e RAMOS, 2008). No primeiro caso, a superfície evaporante é constituída pela vegetação e solo dos próprios lisímetros, enquanto que no irrigômetro, a evaporação ocorre numa superfície livre de água mantida constante no interior do evaporatório cônico do aparelho. A água consumida no processo de evapotranspiração da cultura no lisímetro é imediatamente repostada pelo irrigômetro modificado, sendo a leitura efetuada na escala laminar do aparelho. O cômputo diário do consumo de água forneceu diretamente o valor de evapotranspiração da grama batatais e do feijoeiro cultivados nos lisímetros.

Os valores diários de evapotranspiração da grama batatais e do feijoeiro foram determinados visando-se obter os coeficientes de cultura em condições de lisímetro de lençol freático constante operando com irrigômetro modificado, com base na evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) obtida com uso do programa computacional REF-ET, baseada na equação de Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN et al, 1998).

A evapotranspiração da grama batatais e do feijoeiro foi obtida na régua laminar do irrigômetro modificado, sendo a escala determinada pelas áreas transversais dos lisímetros e do tubo de alimentação do aparelho.

Os valores de evapotranspiração do feijoeiro medidos nos lisímetros foram comparados com os valores obtidos da multiplicação da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) Penman-Monteith FAO 56 pelos valores de coeficiente de cultura ( $K_c$ ) recomendados no boletim FAO 56, 0,5; 0,7; 1,25 e 0,6, para os estádios de desenvolvimento I, II, III e IV do feijoeiro, respectivamente.

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) foi obtida com o uso do programa computacional REF-ET (ALLEN, 2000), aplicando-se a equação de Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN et al., 1998).

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (8)$$

em que

$ET_0$  = evapotranspiração de referência, mm d<sup>-1</sup>;

- $R_n$  = saldo de radiação na superfície da cultura,  $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ;  
 $G$  = densidade do fluxo de calor do solo,  $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ;  
 $T$  = temperatura do ar média diária a 2 m de altura,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $u_2$  = velocidade do vento a 2 m de altura,  $\text{m s}^{-1}$ ;  
 $e_s$  = pressão de vapor de saturação, kPa;  
 $e_a$  = pressão parcial de vapor, kPa;  
 $e_s - e_a$  = déficit de pressão de vapor de saturação, kPa;  
 $\Delta$  = declividade da curva de pressão de vapor,  $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ; e  
 $\gamma$  = coeficiente psicrométrico,  $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) foi calculada a partir de dados diários de temperatura máxima, mínima e média, umidade relativa média, velocidade do vento média e radiação solar média, obtidos numa estação meteorológica automática, da marca Davis, localizada na área (Figura 3).



Figura 3. Estação meteorológica automática usada no experimento.

A partir dos valores de  $ET_c$  obtidos nos irrigômetros modificados e dos valores de  $ET_0$  obtidos com o uso do programa computacional REF-ET

(ALLEN, 2000), calculou-se diariamente o coeficiente de cultura ( $K_c$ ) com aplicação da equação 7.

### 3.3 Experimento 2: Estudo comparativo do irrigâmetro com outras metodologias de manejo da irrigação

Este estudo foi conduzido com a cultura do feijão, plantado numa área de 0,18 ha, cujo solo é classificado como Podzólico Vermelho-Amarelo. Amostras de solo foram retiradas nas camadas de 0 a 15 e de 15 a 30 cm de profundidade para determinação de suas características químicas e físico-hídricas.

A cultura foi irrigada por um sistema de aspersão convencional dotado de aspersores espaçados de 12 x 12 m (Figura 4). O sistema de irrigação foi previamente avaliado para se obter a uniformidade de distribuição de água, a eficiência e a intensidade de aplicação de água dos aspersores. Essa avaliação foi utilizada no ajuste da régua temporal que equipa o irrigâmetro e para o cálculo da lâmina bruta de irrigação a ser aplicada com o uso dos demais métodos de manejo utilizados neste experimento.



Figura 4. Área experimental com a cultura do feijão irrigada por aspersão convencional.

O plantio do feijão foi realizado no dia 18 de julho de 2007, com semeadura em fileiras espaçadas de 0,50 m, com 12 a 14 sementes por metro, objetivando-se uma população final em torno de 200 mil plantas por hectare. A

necessidade de calagem e as adubações de plantio e de cobertura foram realizadas com base nos resultados da análise química do solo e na 5ª aproximação para recomendação de uso de fertilizantes para o Estado de Minas Gerais (RIBEIRO et al., 1999), com uma aplicação de 1.200 kg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, 350 kg ha<sup>-1</sup> de adubo NPK 08-28-16 e uma adubação de cobertura com aplicação de 100 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, 30 dias após a emergência. Outros tratos culturais como controle de plantas daninhas e aplicação de fungicidas, inseticidas e micronutrientes via adubação foliar foram realizadas durante a condução do experimento.

Os métodos utilizados no estudo comparativo do irrigâmetro no manejo da irrigação da cultura do feijão foram o método padrão de estufa, o tanque classe A e o balanço hídrico com uso de estação meteorológica automática, que forneceu os dados meteorológicos para uso nos programas computacionais REF-ET e Irriplus.

### 3.3.1 Tensiometria

A tensiometria foi utilizada como determinante do momento de se proceder cada irrigação. O potencial mátrico foi medido com tensímetro digital, com as cápsulas dos tubos tensiométricos instaladas a 7,5 e a 22,5 cm de profundidade, representativos das camadas de 0 a 15 e 15 a 30 cm de profundidade, respectivamente, com três repetições (Figura 5). A recomendação de irrigar ocorria quando a média dos potenciais mátricos obtidos nas duas profundidades atingia - 40 kPa (SILVEIRA e STONE, 1994).



Figura 5. Tubos tensiométricos instalados na área experimental e tomada de leitura com tensímetro digital.

### 3.3.2 Método Padrão de Estufa

O método padrão de estufa foi utilizado como referência no cálculo da lâmina de água necessária à cultura. Imediatamente antes de cada irrigação, amostras de solo representativas das duas camadas de solo mencionadas anteriormente foram retiradas em três repetições, para se determinar a umidade do solo e efetuar, em seguida, o cálculo da lâmina de água necessária à cultura. Os valores assim obtidos foram usados como referência na comparação entre os diversos métodos de manejo avaliados.

### 3.3.3 Tanque Classe A

O tanque classe A foi usado neste trabalho por ser um método ainda muito utilizado na determinação da evapotranspiração potencial para fins de manejo da irrigação.



Figura 6. Tanque Classe A utilizado no experimento.

As leituras no tanque classe A foram realizadas diariamente às nove horas da manhã. A  $ET_p$  foi convertida em  $ET_c$  usando-se os valores de  $k_c$  recomendados por Doorenbos e Pruitt (1977). O balanço hídrico foi calculado numa planilha eletrônica, onde os valores de lâmina de irrigação necessária foram determinados e comparados com os outros métodos avaliados neste experimento.

### 3.3.4 Irrigâmetro

No contexto deste trabalho, o irrigâmetro foi tratado como foco das comparações diante da necessidade de realização de testes em campo para se avaliar o seu desempenho no manejo da irrigação, comparativamente a outros métodos usados na agricultura irrigada.

O consumo de água das culturas em seus diferentes estádios de desenvolvimento é estimado no irrigâmetro através da variação do nível da água no evaporatório do aparelho, desde o nível mais baixo, na fase inicial de desenvolvimento (estádio I), que se caracteriza pelo menor consumo de água, até o nível mais alto, na fase de florescimento e enchimento de grãos (estádio III), que se caracteriza pelo maior consumo de água pela cultura durante o ciclo.

Nos estádios de desenvolvimento I, II e III foram adotadas as alturas do nível da água no evaporatório iguais a 2,5, 3,5 e 4,5 cm, respectivamente. Essas alturas geralmente resultam em estimativas de evapotranspiração da cultura pelo irrigâmetro dentro da faixa de ETC obtida quando se usam os valores inferior e superior das faixas de kc recomendados por Allen et al. (1998), para os diversos estádios de desenvolvimento da cultura do feijão.

Foi utilizado um Irrigâmetro para a condução do manejo da irrigação do feijoeiro. O aparelho foi instalado próximo à área de cultivo (Figura 7).

As leituras no irrigâmetro também foram feitas diariamente às nove horas da manhã. O momento de irrigar foi observado na régua de manejo, quando o nível da água no tubo de alimentação se encontrava na direção da faixa amarela, indicando diretamente a lâmina de água deficitária no solo. O nível da água no tubo de alimentação também indicava diretamente o tempo de irrigação na régua temporal do irrigâmetro.

As régua de manejo e temporal que equiparam o Irrigâmetro foram previamente selecionadas de acordo com o tipo de cultura e com as características físico-hídricas do solo da área experimental, e com o resultado da avaliação do sistema de aspersão convencional.



Figura 7. Irrigômetro utilizado no experimento.

A régua de manejo é selecionada de acordo com a classe de sensibilidade da cultura ao déficit hídrico e com a disponibilidade total de água no solo, cujo valor deve ser expresso com uma decimal (OLIVEIRA E RAMOS, 2008). O feijão, de acordo com sua sensibilidade ao déficit hídrico, é classificado como cultura sensível, cuja abreviação na régua de manejo é CS. A disponibilidade total de água no solo é determinada com a equação 9:

$$DTA = \frac{(C_c - P_m)}{10} D_s \quad (9)$$

em que

DTA = disponibilidade total de água no solo, mm cm<sup>-1</sup>;

C<sub>c</sub> = capacidade de campo, %;

P<sub>m</sub> = ponto de murcha permanente, %;

D<sub>s</sub> = densidade do solo, g cm<sup>-3</sup>.

O solo da área experimental apresentou, após a realização de uma análise físico-hídrica, valores de capacidade de campo de 33%, ponto de

murcha permanente de 18,5% e densidade de solo de  $1,27 \text{ g cm}^{-3}$ . Esses valores resultaram numa DTA de  $1,84 \text{ mm cm}^{-1}$ , com seleção da régua de manejo CS 1.8.

A régua temporal é selecionada após avaliação do sistema de irrigação utilizado, visando-se determinar a uniformidade de aplicação e a intensidade de aplicação líquida desse sistema.

No sistema de aspersão convencional, a intensidade de aplicação líquida pode ser determinada de duas maneiras. Na primeira, procede-se a distribuição de coletores igualmente espaçados na área irrigada, entre aspersores da linha lateral, fazendo-se, posteriormente, a sobreposição das lâminas coletadas e o cálculo do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e da lâmina líquida média aplicada. Na segunda, mede-se a vazão dos aspersores da linha lateral, em litros por hora, obtendo-se, posteriormente, a vazão média, cujo valor deve ser dividido pelo espaçamento entre os aspersores, tanto na linha lateral como na principal (ex:  $12 \times 12\text{m}$ ;  $18 \times 18\text{m}$ ).

Neste trabalho, a intensidade líquida de aplicação foi determinada usando-se a primeira metodologia, obtendo-se  $10 \text{ mm h}^{-1}$ , que resultou na seleção do modelo 10 da régua temporal.

### **3.3.5 Programa Computacional Irriplus**

O Irriplus, programa computacional utilizado no gerenciamento da irrigação na agricultura irrigada, foi utilizado visando simular uma condição de agricultura de alta tecnologia e alto investimento, caracterizando uma situação de empresa agrícola. Os cadastros de solo, de cultura e de equipamento de irrigação, exigidos pelo programa, foram preenchidos e aferidos antes do plantio. Uma estação meteorológica automática, da marca Davis, foi utilizada na coleta de dados climáticos usados no programa durante o ciclo da cultura do feijão. A figura 8 mostra a tela inicial do programa.



O experimento 2 constou do estudo comparativo de diferentes métodos de manejo da irrigação do feijoeiro. A tensiometria foi utilizada como indicadora do momento de irrigar, sendo que os valores fornecidos pelo método padrão de estufa, Irrigâmetro, tanque classe A, e balanço hídrico com o uso dos programas computacionais REF-ET e Irriplus constituíram os tratamentos. Para efeito de análise estatística, foi considerado um delineamento em blocos casualizados com cinco tratamentos e repetições no tempo, sendo que o número de repetições constou do número de irrigações realizadas durante o ciclo da cultura, que totalizaram treze irrigações. Os dados foram analisados por meio de análise de variância e as médias foram comparadas utilizando-se o Teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

### **3.5 Produtividade do Feijoeiro**

Em ambos os experimentos, a colheita foi realizada manualmente. No experimento 1, a colheita foi realizada dentro dos lisímetros numa área de 1,2 m<sup>2</sup>, em duas linhas de plantio com 1,2 m de comprimento, espaçadas de 0,5 m. No experimento 2, para determinação da produtividade de grãos do feijoeiro foram colhidas, de forma aleatória na área experimental, quatro amostras (parcelas) de 8 m<sup>2</sup>, ou seja, quatro linhas de quatro metros, constituindo assim as repetições.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Experimento 1

#### 4.1.1 Evapotranspiração da grama batatais e evapotranspiração de referência

Nas Figuras 9 e 10 encontram-se os valores médios diários dos elementos climáticos utilizados na estimativa da evapotranspiração de referência.

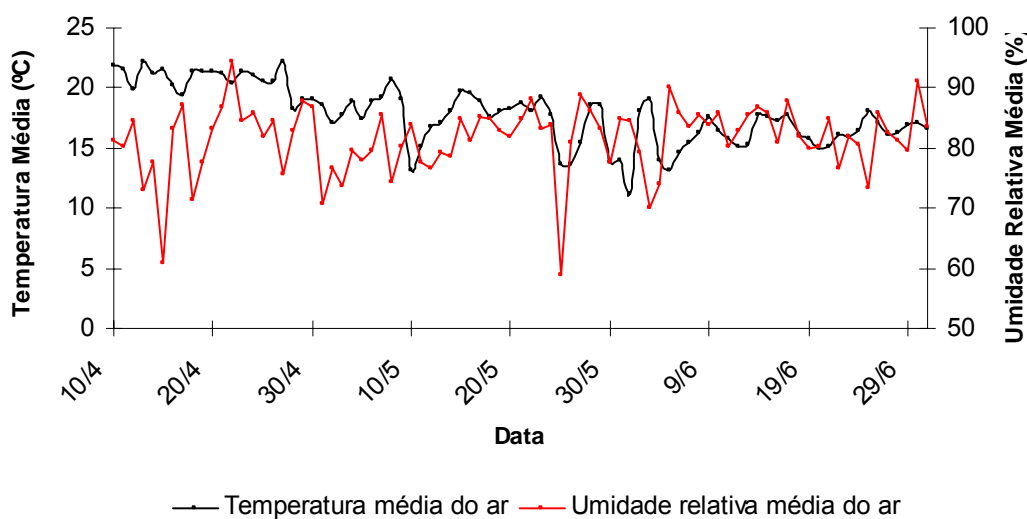


Figura 9. Valores diários de temperatura e umidade relativa média do ar durante o período experimental.

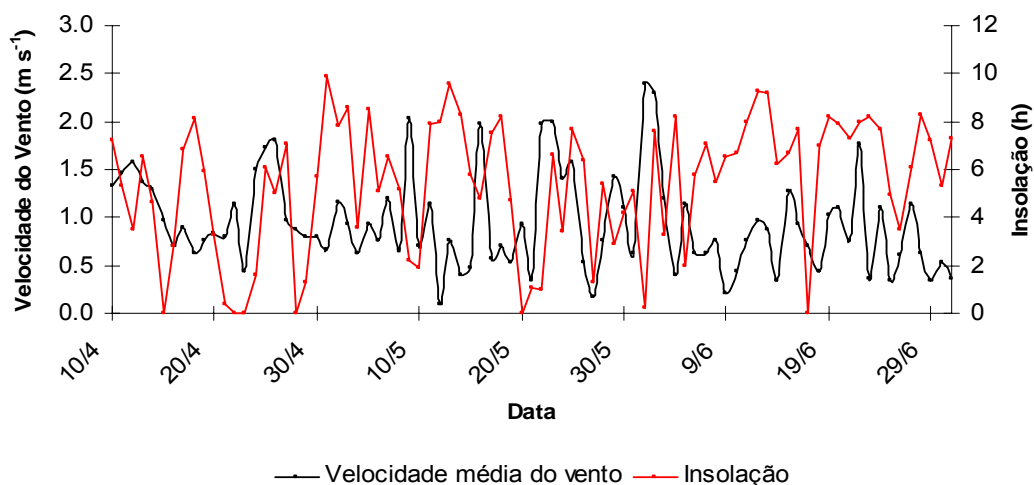


Figura 10. Valores diários de velocidade média do vento e insolação durante o período experimental.

Durante a condução do experimento verificaram-se suaves variações nos valores da umidade relativa e temperatura média do ar. Na Figura 9, a umidade relativa média diária foi superior a 81%, sendo classificada como alta, e a temperatura média foi de 17,8 °C. A velocidade do vento (Figura 10) foi inferior a 1 m s<sup>-1</sup>, sendo considerada leve, de acordo com Doorenbos e Pruitt (1977).

Na Figura 11, tem-se a variação da evapotranspiração da grama batatais ( $ET_{\text{grama}}$ ) e da evapotranspiração de referência estimada pelo método padrão Penman-Monteith FAO 56 ( $ET_0 \text{ PM}$ ) ao longo do período experimental.

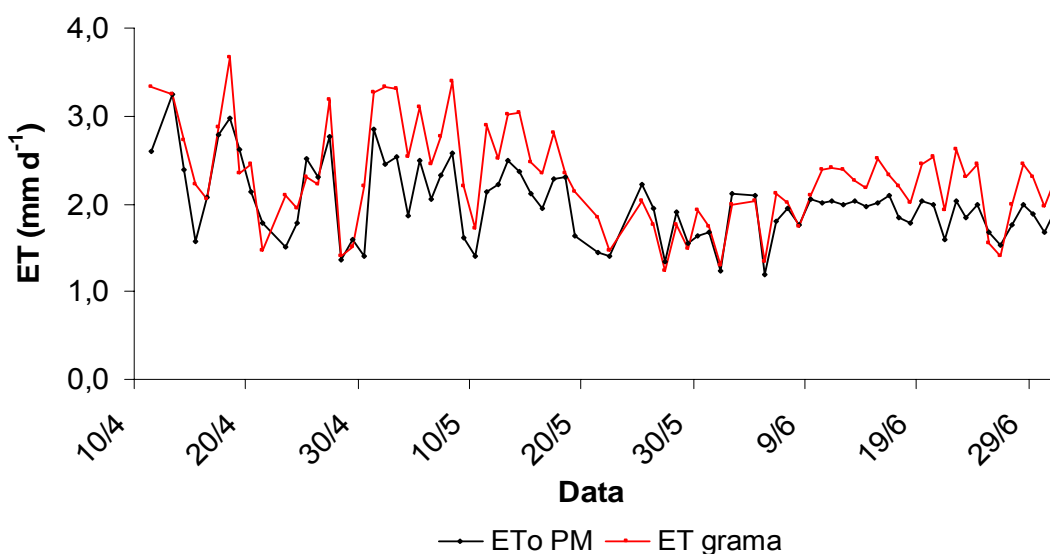


Figura 11. Evapotranspiração da cultura da grama batatais e evapotranspiração de referência, durante o período experimental.

Verifica-se na Figura 11 que a evapotranspiração da grama batatais foi, em geral, maior que a evapotranspiração de referência, principalmente a partir do mês de maio.

Materán (2006) trabalhou com minilísímetros de lençol freático constante e verificou que os quatro níveis de altura freática testados, 15, 20, 25 e 30 cm, tiveram uma tendência a superestimar os valores de evapotranspiração da grama batatais em relação ao método padrão Penman-Monteith FAO 56.

#### **4.1.2 Evapotranspiração do feijoeiro**

Após a semeadura do feijão, nos primeiros sete dias do experimento, foi necessária uma adição diária, na parte superior dos lisímetros, de uma lâmina de água pré-determinada de 2,38 mm. Esse valor foi acrescido ao valor obtido pelas leituras nos Irrigômetros modificados para a obtenção da lâmina total evapotranspirada no dia. Essa adição de água foi necessária para a garantia da germinação das sementes de feijão, visto que a umidade do solo nos lisímetros nos primeiros 5 cm era baixa. Este fato pode explicar os altos valores de evapotranspiração da cultura do feijão no primeiro estágio de desenvolvimento. Os valores mais elevados nos estádios seguintes podem ser explicados pela condição constante de ótima umidade do solo mantida nos lisímetros de lençol freático constante, situação essa que não ocorre em condições de campo.

Na Figura 12 estão apresentadas as variações da evapotranspiração do feijoeiro, obtida pela leitura direta do consumo de água nos Irrigômetros modificados conectados aos lisímetros, correspondendo à  $ET_c$  Lis, e da evapotranspiração do feijoeiro obtida pela multiplicação dos valores de  $ET_0$  obtidos através do programa computacional REF-ET (ALLEN, 2000) pelos respectivos valores de  $K_c$  (ALLEN et al, 1998), que correspondeu à  $ET_c$  PM.

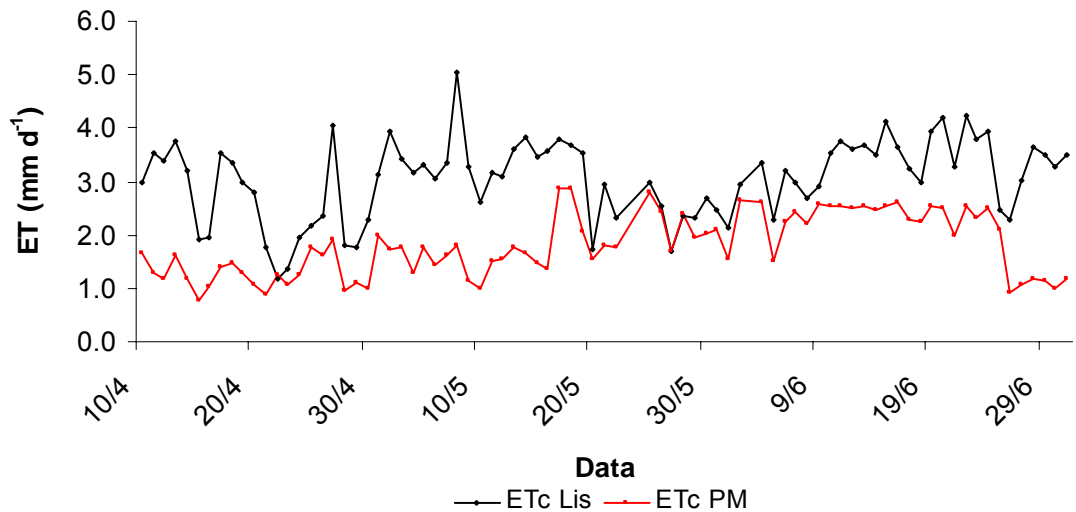


Figura 12. Evapotranspiração da cultura do feijão estimada pelos métodos Penman-Monteith FAO 56 ( $ET_c$  PM) e evapotranspiração da cultura do feijão obtida pelo método lisimétrico ( $ET_c$  Lis).

Em média, os valores de  $ET_c$  obtidos pelo método lisimétrico foram 62,5% maiores que os obtidos pelo método padrão de cálculo da  $ET_0$ , com uso dos coeficientes de cultura recomendados no Boletim FAO 56. Esse fato pode ser explicado em razão do lisímetro de lençol freático constante permanecer com a umidade do solo na capacidade de campo durante todo o ciclo da cultura do feijão, fato esse que não ocorre no ambiente de cultivo comercial, onde o solo perde umidade e, conseqüentemente, diminui gradativamente a perda de água por evapotranspiração até a ocorrência da próxima chuva ou irrigação, onde a umidade ótima se restabelece.

#### 4.1.3 Coeficiente de cultura ( $k_c$ )

Na Figura 13, são plotados os valores de  $K_c$  para o feijoeiro, cultivado em lisímetro de lençol freático constante operando com irrigâmetro modificado.

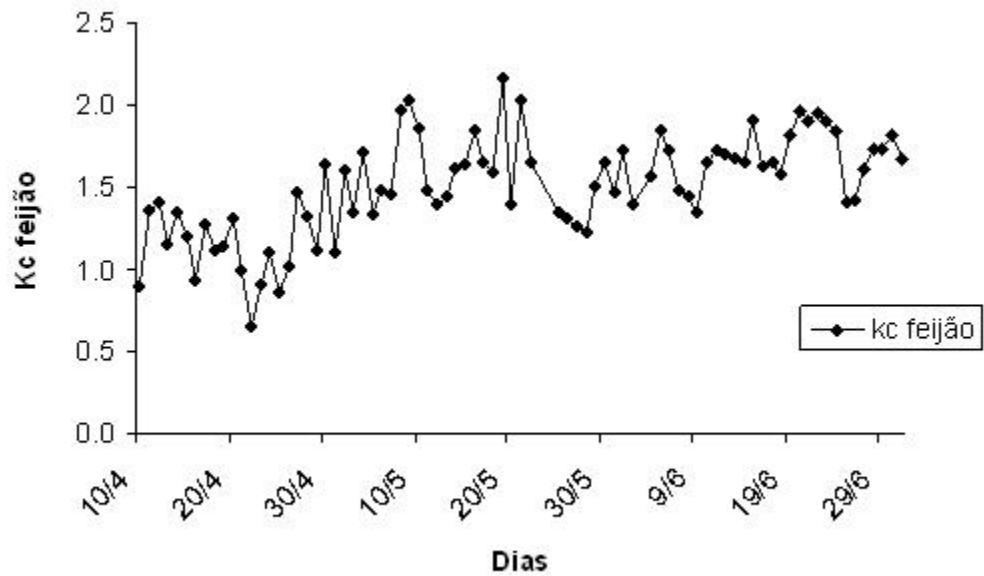


Figura 13. Variação dos valores de Kc do feijoeiro ao longo do período experimental.

Na Figura 14, são plotados os valores de Kc para a grama batatais, cultivado em lisímetro de lençol freático constante operando com irrigômetro modificado.

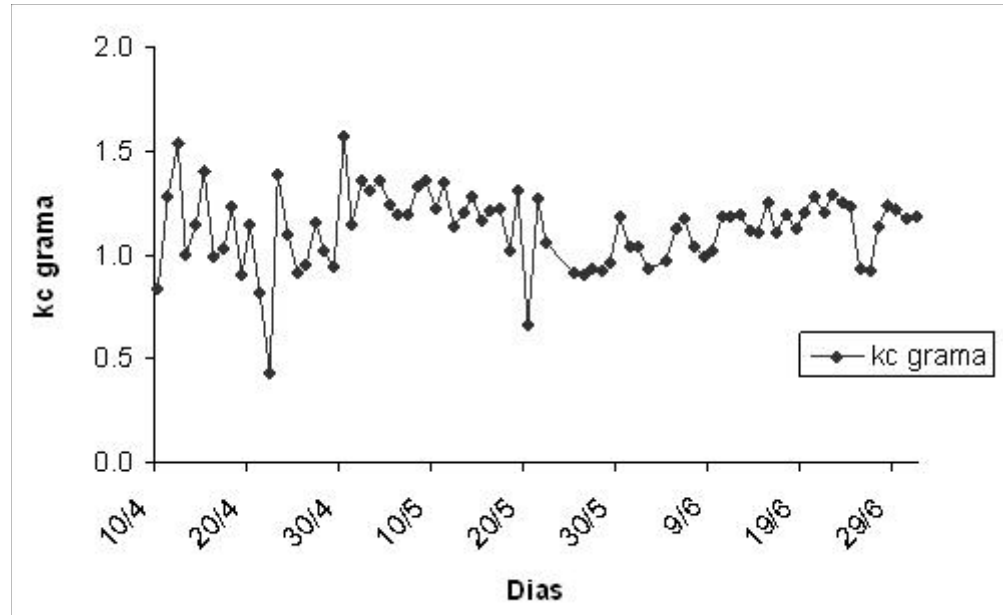


Figura 14. Variação dos valores de Kc da grama batatais ao longo do período experimental.

As médias dos valores de Kc encontrados para cada fase de desenvolvimento da cultura do feijão são mostradas na Tabela 2. A divisão do ciclo da cultura foi feita considerando-se apenas as três primeiras fases de

interesse do manejo da irrigação do feijoeiro, de acordo com Doorenbos e Pruitt (1977).

Estádio I: da germinação até 10% de cobertura do solo;

Estádio II: de 10 a 80% de cobertura do solo;

Estádio III: de 80% de cobertura do solo até início do amadurecimento.

Tabela 2. Valores médios de kc encontrados

	kc feijão	kc FAO - 56
Estádio I	1,18	0,5
Estádio II	1,41	0,7
Estádio III	1,58	1,25
Média	1,39	0,82

Os valores de Kc encontrados para a cultura do feijão foram muito superiores aos tabelados no boletim FAO 56. Segundo Mañas e Valero (1993) e Aboukhaled et al. (1986), citados por Materán (2006), o uso de lisímetros de lençol freático constante apresenta uma importante limitação que é a presença do nível freático, o qual não representa as condições da parcela em seu entorno, pois a umidade do solo é constantemente mantida próximo à capacidade de campo, provocando um crescimento maior da cultura dentro dos lisímetros que, em consequência disso, fica mais exposta à radiação e aos efeitos do vento, superestimando a evapotranspiração em até 10 ou 20%. Esse fato pode explicar os altos valores de Kc, pois se a cultura do feijão se desenvolve mais que sua bordadura e há essa tendência de aumento dos valores de evapotranspiração, os valores de Kc se elevam. Outra razão associada ao aumento do Kc pode ser devido à pequena bordadura estabelecida nos lisímetros, que pode ter contribuído para ocorrência de efeito “oásis”.

Os valores de Kc tabelados no boletim FAO 56 são recomendados para irrigações com turno de rega mais elevados, em torno de sete dias, exatamente pelo fato de levar em consideração a depleção de água no solo nesse intervalo, recomendando valores de Kc inferiores aos determinados em lisímetro de lençol freático constante.

Os valores de Kc para o estágio quatro não foram determinados, visto que a alimentação de água dos irrigômetros modificados para os lisímetros foi

cessada no final do estágio III, objetivando promover o secamento das vagens de feijão para se efetuar a colheita.

Já os valores de  $k_c$  para a grama batatais tiveram maior proximidade com a unidade, com valor médio de 1,11. O rebaixamento do lençol freático além de 50 cm deve contribuir para maior aproximação da evapotranspiração da grama batatais em relação à evapotranspiração de referência.

Silva (2004), trabalhando com lisímetros de percolação para a determinação dos valores de  $K_c$  para a grama batatais e esmeralda, encontrou, para a grama batatais, valor médio de  $K_c$  de 0,98, para o período de julho a outubro de 2004.

Mantovani (1986), trabalhando com lisímetros de percolação e quatro metodologias para determinação da evapotranspiração de referência, encontrou valores de  $K_c$  para a cultura do feijão adaptados para sua utilização nas condições edafoclimáticas de Viçosa. A diferença nos valores de  $K_c$  encontrados pode estar relacionada ao fato de os lisímetros de percolação terem um comportamento muito semelhante ao comportamento da cultura implantada em campo aberto.

Mendonça et al (2007), trabalhando com lisímetros de lençol freático constante na região de Santo Antônio do Laverger, MT, na fazenda experimental da Universidade Federal de Mato Grosso, obteve valores de coeficiente de cultura para o feijoeiro variando de 0,37 a 1,79, com  $K_c$  médio de 1,18. Resultados semelhantes foram encontrados por Lopes (1989), com  $K_c$  médio de 1,2.

#### **4.1.4 Produtividade de grãos de feijão**

A produtividade média de grãos de feijão obtida nos lisímetros foi de  $3.150 \text{ kg ha}^{-1}$ , correspondendo a  $52,5 \text{ sc ha}^{-1}$ .

## 4.2 Experimento 2

Nas figuras 15 e 16 encontram-se os valores médios diários dos elementos climáticos utilizados na estimativa da evapotranspiração de referência.

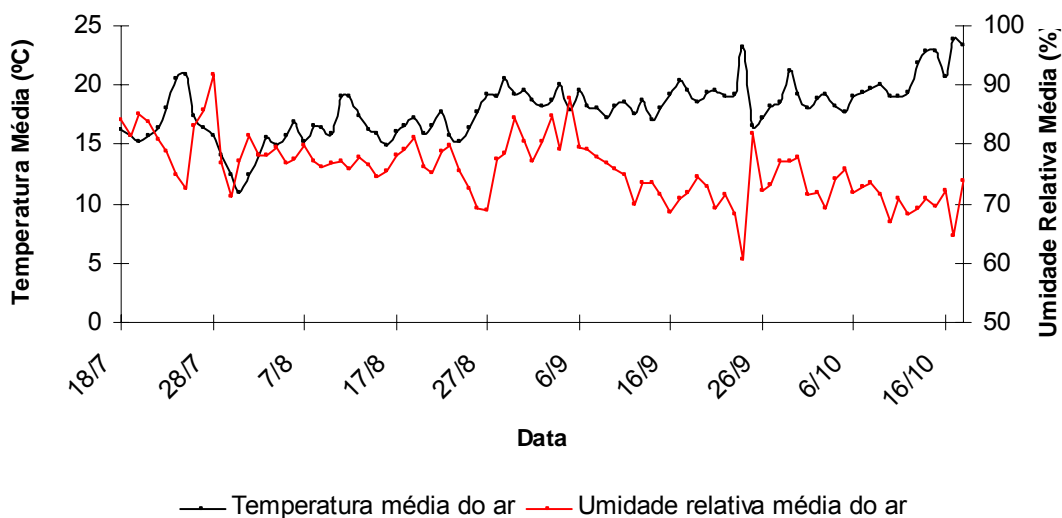


Figura 15. Valores diários de temperatura e umidade relativa média do ar durante o período experimental.

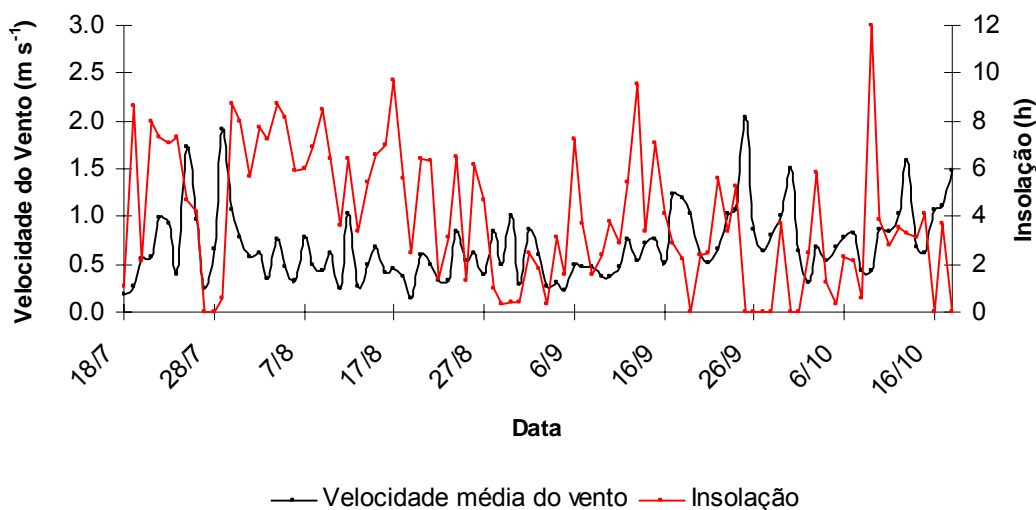


Figura 16. Valores diários de velocidade média do vento e insolação durante o período experimental.

Durante a condução do experimento verificaram-se suaves variações nos valores da umidade relativa e temperatura média do ar. Na Figura 15, a umidade relativa média diária foi superior a 71%, sendo classificada como alta, e a temperatura média foi de 18,9 °C. De acordo com a Figura 16, a velocidade

do vento foi inferior a  $1,3 \text{ m s}^{-1}$ , sendo considerada leve, de acordo com Doorenbos e Pruitt (1977).

#### 4.2.1 Umidade do solo

Na Figura 17 encontra-se a variação da umidade do solo durante o ciclo da cultura do feijão, evidenciando uma condição hídrica adequada para a cultura.

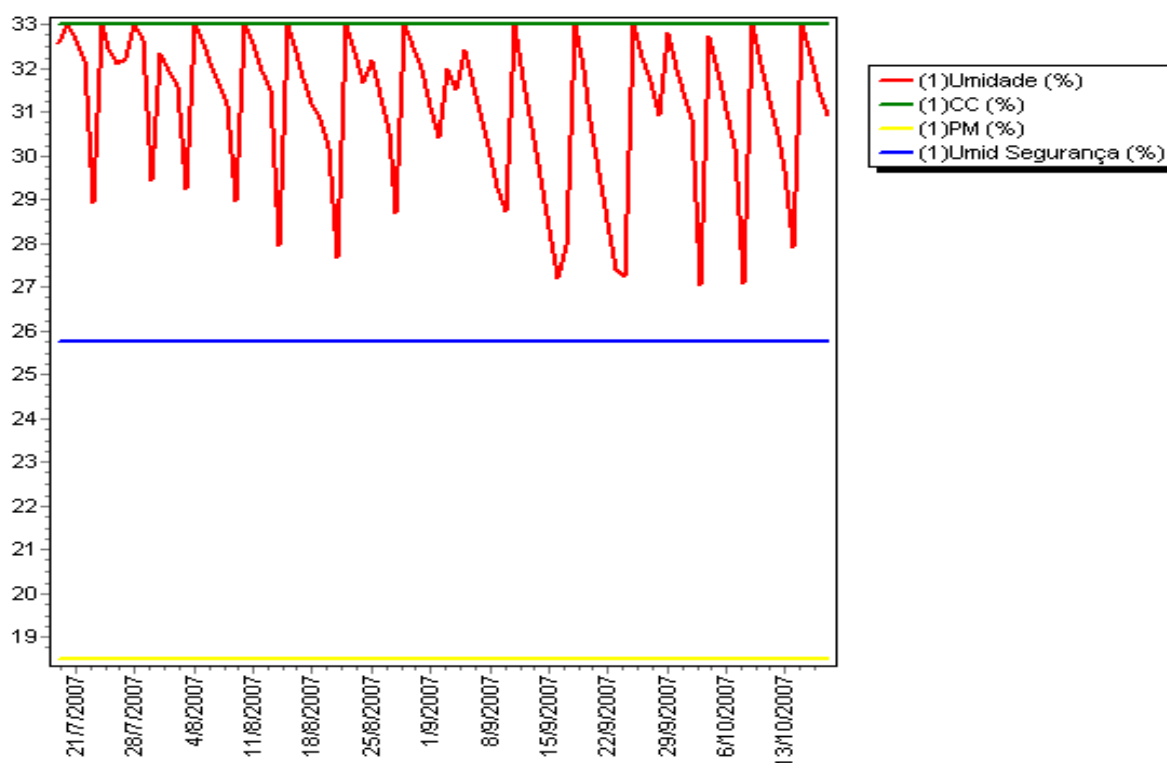


Figura 17. Variação da umidade do solo durante o ciclo da cultura do feijão

#### 4.2.2 Lâminas recomendadas pelas diferentes metodologias de manejo de irrigação

Na Tabela 3 estão apresentados os valores de lâminas recomendadas com o uso dos métodos de manejo da irrigação utilizados no experimento. Os números de 1 a 13 se referem às irrigações realizadas durante o ciclo da cultura do feijão.

Tabela 3. Lâminas recomendadas em cada irrigação pelos diferentes métodos de manejo da irrigação

Irrigação	DAP <sup>1</sup>	MPE <sup>2</sup>	TCA <sup>3</sup>	REF-ET <sup>4</sup>	Irrigâmetro	Irriplus
1	6	7,75	4,99	3,79	9,00	4.33
2	13	6,80	2,75	3,43	6,00	3.05
3	17	10,49	4,84	4,22	11,90	6.26
4	23	11,24	9,43	8,25	12,90	10.03
5	28	14,12	9,66	8,29	13,20	9.05
6	35	14,92	13,06	12,04	15,70	14.47
7	42	12,09	9,51	8,49	19,40	13.25
8	55	11,89	9,76	10,17	19,40	26.81
9	62	26,82	26,85	25,86	25,9	30.18
10	69	28,35	32,25	28,83	34,2	27.98
11	78	22,69	22,50	20,97	17,00	11.01
12	84	22,46	21,42	20,99	23,00	13.64
13	90	30,90	29,78	28,37	35,20	16.92
Total		220,52	196,80	183,70	242,80	186.98

1 Dias após plantio 2. Método Padrão de Estufa 3. Tanque Classe A 4. Balanço Hídrico com uso do programa REF-ET

Na Figura 18 estão apresentadas as variações das lâminas obtidas em cada método de manejo da irrigação ao longo do ciclo da cultura do feijão.

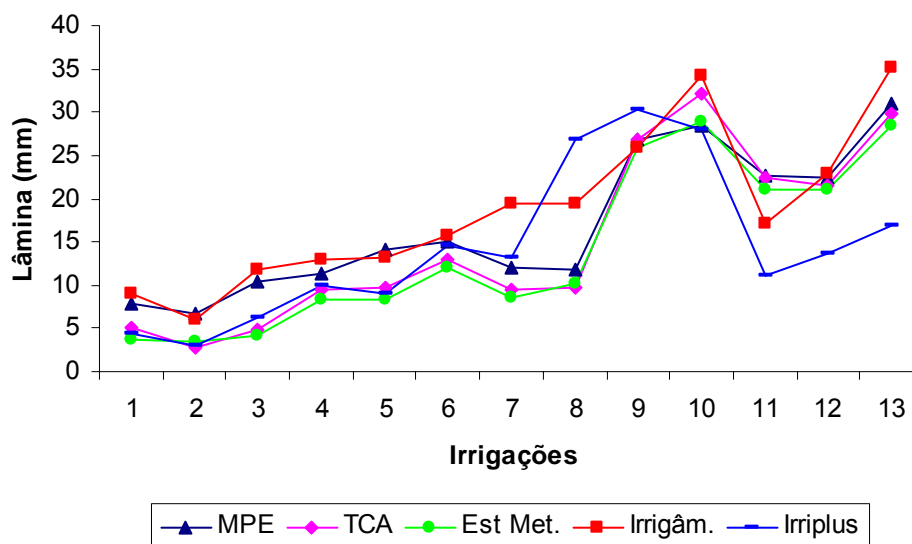


Figura 18. Variação das lâminas de água recomendadas ao longo do ciclo da cultura do feijão, para os diversos métodos de manejo de irrigação.

A análise desses resultados indica que o Irrigâmetro apresentou uma recomendação de irrigação 10,1% superior ao método padrão de estufa (MPE), o balanço hídrico com uso do programa computacional REF-ET apresentou uma recomendação de irrigação 20% inferior ao MPE, o balanço hídrico com

uso do programa computacional Irriplus apresentou uma recomendação de irrigação 17,9% inferior ao MPE e o método do tanque Classe A apresentou uma recomendação de irrigação 12% inferior ao MPE.

Na tabela 4 são mostrados os valores das médias de lâmina recomendada para cada tratamento estudado.

Tabela 4. Lâmina média recomendada em cada irrigação pelos diferentes métodos de manejo da irrigação

Tratamento	$\bar{X}$
MPE	16,96
TCA	15,14
REF-ET	14,13
Irrigâmetro	18,68
Irriplus	14,38

Médias seguidas por \* diferem entre si pelo teste Dunnett a 5% de probabilidade

A aplicação do Teste de Dunnett a 5% de probabilidade mostrou que não houve diferença significativa entre os resultados dos métodos de manejo da irrigação em relação ao método padrão de estufa. Sendo assim, o desempenho do Irrigâmetro foi semelhante ao dos demais métodos usados neste experimento, no manejo da irrigação do feijoeiro.

Na figura 19, são apresentadas as lâminas aplicadas por irrigação e as precipitações ocorridas durante o ciclo da cultura do feijão.

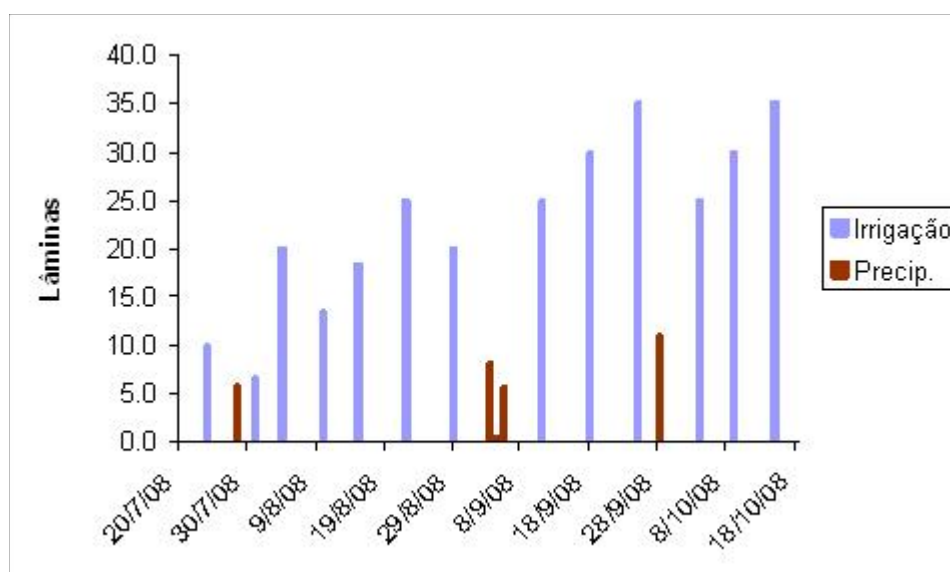


Figura 19: Lâminas de irrigação aplicadas na cultura do feijão e precipitações pluviálicas ocorridas durante o período experimental.

MATZENAUER et al (2004) verificaram que em períodos quentes e secos, como no ano agrícola 1985/86, em condições de elevada demanda evaporativa da atmosfera, as necessidades hídricas no ciclo completo do feijoeiro ultrapassaram 300mm, na localidade de Júlio de Castilhos, RS.

No norte de Minas Gerais, Caixeta et al (1978), citados por Viera et al (2006), obtiveram, com a cultivar Jalo EEP-558, plantado em maio, melhores produções com a aplicação de 400 mm durante o ciclo.

Em Manga, Norte de Minas Gerais, o cultivar Jalo EEP-558, plantado em maio, produziu mais com a aplicação de 515 mm durante o ciclo. Nesta mesma região do estado, no município de Porteirinha, o consumo hídrico foi de 340 mm ciclo<sup>-1</sup> (LIMA et al., 1982, citados por VIEIRA et al., 2006).

No presente trabalho, a demanda hídrica total para a cultura do feijão foi de 344,1 mm. Esse valor foi obtido pela média das recomendações totais de irrigação pelos diferentes métodos acrescido da lâmina de água efetiva precipitada no período experimental. Esse baixo consumo de água se deveu à ocorrência de períodos com baixa temperatura durante a condução do experimento, com valor mínimo chegando a 2,8 °C no dia 31/07/07. Isso ocasionou diminuição da taxa evapotranspirométrica da cultura, com respectiva queda no consumo de água.

#### **4.2.3 Produtividade de grãos de feijão**

A média de produtividade de grãos foi de 3.426 kg ha<sup>-1</sup>, correspondendo a 57,08 sc ha<sup>-1</sup>, evidenciando o adequado manejo da cultura do feijão no decorrer do experimento.

A produtividade média do feijoeiro no Brasil é de aproximadamente 920 kg ha<sup>-1</sup>, sendo considerada baixa ([www.conab.gov.br/conabweb/download/sureg/RS/11prevprodutiv.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/sureg/RS/11prevprodutiv.pdf)). Esse fato ocorre porque o feijão é plantado principalmente por pequenos agricultores, que utilizam pouca tecnologia ou cultivam o feijão consorciado com outras culturas.

Na região do cerrado, o feijoeiro irrigado tem condições de ser cultivado com alto nível tecnológico, pois a irrigação permite que o plantio seja feito em épocas adequadas e garante o fornecimento de água para que as plantas

manifestem o seu potencial produtivo. Entretanto, apesar de existirem condições propícias ao cultivo do feijoeiro, as produtividades obtidas nas lavouras são da ordem de 2.400 kg ha<sup>-1</sup> enquanto o potencial produtivo das cultivares existentes é superior a 4.000 kg ha<sup>-1</sup> (BARBOSA FILHO E SILVA, 2000).

## 5. CONCLUSÕES

1. Durante o período experimental, o valor do Kc médio da grama batatais foi 1,11.
2. A evapotranspiração média da cultura do feijão, obtida pelo método lisimétrico com lençol freático mantido constante com uso do Irrigâmetro modificado, foi 62,5% superior à evapotranspiração média obtida pelo produto da  $ET_0$  pelo coeficiente de cultura (Kc), de acordo com o boletim FAO 56.
3. Os valores de Kc encontrados para a cultura do feijão plantado em lisímetro de lençol freático constante, para os estádios de desenvolvimento I, II e III foram, respectivamente, 1,18, 1,41 e 1,58.
4. Os métodos do Irrigâmetro, tanque classe A, balanço hídrico com uso dos programas computacionais REF-Et e Irriplus, usados no manejo da irrigação da cultura do feijão, não diferem do método padrão de estufa com base no teste de Dunnett, a 5% de probabilidade.
5. As alturas recomendadas no evaporatório do Irrigâmetro, de 2,5, 3,5 e 4,5 cm para os estádios de desenvolvimento I, II e III, respectivamente, foram adequadas para a estimativa da evapotranspiração da cultura do feijoeiro para fins de manejo da irrigação na condição climática de Viçosa, MG.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ANA** - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. “O Estado da Arte da Agricultura Irrigada e as Modernas Tecnologias no Uso Racional da Água na Irrigação”. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/palestras/AntonioFelix/FelixANA.pdf>>. Acesso em 16 agosto 2007.

ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O. **Reference evapotranspiration factors**. Journal of Irrigation e Drainage Engineering. New York, v. 117, n. 5, p. 758-772, 1991.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for computing crop water requeriments**. Rome: FAO, 1998. 310p. (Irrigation and drainage Paper, 56).

ALLEN, R.G. REF-ET: **Reference evapotranspiration calculator, Version 2.1**. Idaho: Idaho University, 2000. 82p.

ANDRADE, L.M. de. **Efeito de diferentes profundidades freáticas sobre a evapotranspiração e sobre a produção e os componentes da produção do milho doce (*Zea mays* L.)**. Viçosa,. 1991, 53 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa. 1991.

BARBOSA FILHO, MOREL PEREIRA; SILVA, OSMIRA FÁTIMA DA. **Adubação e calagem para o feijoeiro irrigado em solo de Cerrado**. Pesq. agropec. bras. , Brasília, v. 35, n. 7, 2000.

Base de dados **CONAB** – Companhia nacional de abastecimento. Disponível em [www.conab.gov.br/conabweb/download/sureg/RS/11prevprodutiv.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/sureg/RS/11prevprodutiv.pdf) Acesso em 28 de outubro de 2008.

BASE de dados **FAOSTAT**. Disponível em <http://apps.fao.org> Acesso em 27 de junho de 2005.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. Viçosa: UFV. Imprensa Universitária. 2006. 625 p.

CARNEIRO, J. E. S.; CHAGAS, J. M., PAULA JÚNIOR, T. J., SILVA. L. C., ARAÚJO, G. A., CARNEIRO, P. C., DEL GIÚDICE, M. P., JÚNIOR, J. A. N. M. **Ouro Vermelho: Nova cultivar de feijão vermelho para Minas Gerais.** Conafe 2005 – 0208. Goiânia, GO.

COBUCCI, T.; WRUCK, F.J. (Ed.). **Resultados obtidos na área pólo de feijão no período de 2002 a 2004.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 107p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 174).

**CEMIG** - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Disponível em: <<http://www.cemig.com.br>>. Acesso em 23 de julho 2007.

DOORENBOS, J.; PRUITT, J. O. **Crop water requeriment.** Rome: FAO, 1977. 144p. (FAO Irrigation and Drainage Paper 24).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water.** Roma: FAO, 1979. 193p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

EMBRAPA. **Manual de análises de solo.** Rio de Janeiro: EMBRAPA/SNCS, 1997. 212p.

ESPÍNDULA NETO, D. **Uso racional de água e de energia elétrica na cafeicultura irrigada por pivô central e gotejamento.** 2002. 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

FRIZZONE, J. A. **Irrigação por superfície - princípios de operação e manejo.** Piracicaba: ESALQ, Departamento de Engenharia Rural, 1992. 82p. (DER. Série Didática, 4).

GARZELLA, T. C.; MOLIN, J. P. **Calibração em campo de um TDR para determinação de umidade.** 2004. 14p. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queirós”, Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, 2004.

**IBGE** - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEORAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 27 de julho de 2007.

LIMA, S. C. R. V.; FRIZZONE, J. A.; COSTA, R. N. T.; SOUZA, F.; PEREIRA, A. S.; MACHADO, C. C.; JÚNIOR, M. V. **Curvas de desempenho de válvulas reguladoras de pressão novas e com diferentes tempos de utilização.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.7, n.2, p.201-209, 2003.

LOPES, A.C. **Coefficiente de cultura e relação ETr/ETc para a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado.** Viçosa, 1989. 76 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1989.

LOPES, A. S.; Pavani, L. C.; José E. Cora, 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.

MANTOVANI, E. C. **Determinação do coeficiente de cultura para o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado, em duas épocas de plantio.** Viçosa, MG: UFV, 1986. 73 p. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, 1986.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação, princípios e métodos.** 1<sup>o</sup> edição. Viçosa, MG, 2006. 318p.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. SILVA, H. R. **Manejo da Irrigação em Hortaliças.** 5. ed. Brasília: Embrapa-SPI, 1996. 72 p.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças.** Brasília: EMBRAPA-CNPQ, 1998. 15p. (Circular Técnica da Embrapa Hortaliças, 11).

MATERÁN, F. J. V. **Tecnologia do Irrigâmetro aplicada em minilímetro e lisímetro com lençol freático constante para determinação da evapotranspiração de referência.** Viçosa, MG: UFV, 2006. 96 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, 2006.

MATZENUER, R; J. R. T. MALUF; BARNI, N. A; RADIN, B.; ANJOS, C. S. **Estimativa do consumo relativo de água para a cultura do feijoeiro na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul.** Ciência Rural, Santa Maria, v.34, n.5, p.1363-1369, 2004.

MEDEIROS, A. T. **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba, CE.** Piracicaba, SP: ESALQ, 2002. 103f. Tese de Doutorado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002.

MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. **Relações entre o coeficiente de cultura e cobertura vegetal do feijoeiro: erros envolvidos e análises para diferentes intervalos de tempo.** Acta Scientiarum, Maringá, v.26, n.4, p.513-519, 2004.

MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F.; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. **Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) na região Norte Fluminense, RJ.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.

MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F.; BERNARDO, S.; SUGAWARA, M. T.; PEÇANHA, A. L.; GOTTARDO, R. D. **Determinação do coeficiente cultural (K<sub>c</sub>) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em Campos dos Goytacazes, RJ.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 471-475, 2007.

MOREIRA, J. A. A.; AZEVEDO, J. A.; STONE, L. F.; CAIXETA, T. J.; ZIMMERMANN, M.I.O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). In: **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1988. p.317-340.

- OLIVEIRA, R. A.; RAMOS, M. M. **Manual do Irrigâmetro**. 1º edição. Viçosa, MG. 2008. 144p.
- OLIVEIRA, R. A.; TAGLIAFERRE, C.; SEDIYAMA, G. C.; MATERAN, F. J. V. CECON, P. R. **Desempenho do irrigâmetro na estimativa da evapotranspiração de referência**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.12, n.2, p.166-173, 2008.
- PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G. **Novas aproximações aos coeficientes culturais**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.16, n.4, p.118-43, 1997.
- PEREIRA, A. R.; SANTIAGO, A V; MAGGIOTTO, S. R.; FOLEGATTI5, M. V. **Problemas operacionais com lisímetro de pesagem durante a estação chuvosa e em dias secos com rajadas de vento**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 10, n. 1, p 51-56, 2002.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais**. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 1999. 359p.
- ROCHA, O.C.; GUERRA, A.F.; AZEVEDO, H.M. de. **Ajuste do modelo Chistiansen-Hargreaves para estimativa da evapotranspiração do feijão no cerrado**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.7, n.2, p.263-268, 2003.
- SANTOS, S. S. dos. **Influência da aplicação, via irrigação por gotejamento, de esgoto sanitário tratado na cultura do cafeeiro e no solo**. 2004. 70 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- SEDIYAMA, G. C. **Necessidade de água para os cultivos**. Brasília: ABEAS, 1996. 176p.
- SILVA, D. F. **Análises quantitativa e qualitativa do crescimento e desenvolvimento da grama-batatais e grama-esmeralda em diferentes lâminas de irrigação**. 2004. 62 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Manejo da irrigação do feijoeiro: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central**. Goiânia: EMBRAPA, 1994. 46 p. (Circulat Técnica, 27).
- SILVEIRA, P. M.; STONE L. F. **Irrigação**. Informe Agropecuário, EPAMIG, v.5, n.223, p.74-82, 2004.
- SMITH, M. **Report on the expert consultation on revision of crop water requeriments**. Rome: FAO, 1991. 45 p.
- SMITH, M. **The application of climatic data for planning and management of sustainable rainfed and irrigation crop production**. Agricultural and Forest Meteorology. V. 103, n.\_\_\_\_, p. 99-108, 2000.

TAGLIAFERRE, C. **Desempenho do irrigâmetro e de dois minievaporímetros para estimativa da evapotranspiração de referência.** Viçosa, MG: UFV, 2006. 99 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, 2006.

TAGLIAFERRE, C.; OLIVEIRA, R. A.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R.; DENICULI, W.; MARTINEZ, M. A.; MATERAN, F. J. V. **Estimativa da evapotranspiração de referência usando minievaporímetro operando com irrigâmetro modificado.** Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.14, n.3, p.212-223, 2006.

VICENTE, M. R.; MANTOVANI, E. C.; MARCELO DE ABREU COSTA, M. A.; CUNHA, F. F.; Teixeira, E. N. **Efeito de diferentes lâminas de irrigação na produtividade e no sistema radicular do feijoeiro.** Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.15, n.3, p.238-249, 2007.

VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão.** 2º edição. Viçosa, MG. 2006. 600 p.

VILLA NOVA, N.A., REICHARDT, K. **Evaporação e evapotranspiração.** In: RAMOS, F. et al. Engenharia Hidrológica. Rio de Janeiro: ABRH/UFRJ, 1989. Cap. 3, p. 145-97.

WILLMOTT, C. J.; CKLESON, S. G.; DAVIS, R. E. Statistics for evaluation and comparisons of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995 – 9005, 1985.