

LUAN BRIOSCHI GIOVANELLI

**ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PELO
IRRIGÂMETRO NAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO SUL DO ESTADO
DO TOCANTINS**

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
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

G512e
2012

Giovanelli, Luan Brioschi, 1988-
Estimativa da evapotranspiração de referência pelo
Irrigâmetro nas condições climáticas do sul do Estado
do Tocantins / Luan Brioschi Giovanelli. – Viçosa, MG,
2012.
x, 57f. : il. (algumas col.) ; 29 cm.

Orientador: Rubens Alves de Oliveira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 53-57.

1. Irrigação agrícola. 2. Evapotranspiração. 3. Equipamento agrícola. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 631.587

LUAN BRIOSCHI GIOVANELLI

**ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PELO
IRRIGÂMETRO NAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO SUL DO ESTADO
DO TOCANTINS**

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 2012.

Marcos Caldeira Ribeiro

Alisson Carraro Borges

Cristiano Tagliaferre

Rubens Alves de Oliveira
(Orientador)

Aos meus pais Antonio Menegardo Giovanelli
e Luzia Brioschi Giovanelli e à minha irmã
Fernanda Brioschi Giovanelli.

OFEREÇO

Aos meus avós Belmiro (*in memorian*)
e Amélia; e Atilio e Arnilda.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas bênçãos em minha vida, por ser meu guia e fortalecer-me sempre.

Aos meus pais, grandes incentivadores dessa minha caminhada e alicerces da minha vida, pelo amor, pelos conselhos e ensinamentos, pelo apoio irrestrito, pela alegria contagiante, pela confiança e pelo companheirismo em todos os momentos.

À minha irmã Fernanda, pelos momentos de gargalhadas – às vezes sem saber o motivo, pelos conselhos, pela cumplicidade, pelo carinho e pelo amor do qual sempre sinto saudade.

Aos meus avós Belmiro (*in memoriam*) e Amélia; e Atilio e Arnilda; pelo amor, pelos ensinamentos e pelo afeto.

A todos os meus tios, tias, primos e primas, que torceram por mim durante essa jornada.

À minha namorada Alessandra, pela cumplicidade, pela paciência, pela atenção, pelo amor, pela dedicação e por ser sempre meu braço direito.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), por meio do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade da realização do Curso.

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

Ao professor Rubens Alves de Oliveira, pela orientação, pela confiança ao longo dos anos de convívio, pela oportunidade de realizar este trabalho, pelos ensinamentos e pela amizade.

Aos professores coorientadores Gilberto Chohaku Sedyama, Paulo Roberto Cecon e Jair da Costa Oliveira Filho, pela atenção e pelos esclarecimentos durante a pesquisa.

Aos funcionários do DEA: Chicão, Eduardo, José Antonio, José Mauro, Graça, Rosária e Délio, pela amizade, pelo apoio e pela atenção.

Aos amigos de Viçosa, aos da graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, aos da república Kadóticos e aos do CRRH, pelos momentos de descontração.

Aos meus amigos Júlio Cezar Machado Baptestini, Enoque Pereira da Silva, David Rolando Palomino Montes, Ednaldo Miranda de Oliveira, David Rafael Quintão Rosa, Fabrício Serrão Contin, Caio Leite, Gustavo Haddad Souza, Felipe da Silva Nascimento, Gustavo Dantas, Leandro Neves Faria e Roberto Milagres, pela amizade e pela contribuição profissional.

Aos estudantes Mateus, Dallila, Arnaldson e Aline, que, sob a orientação do professor Jair, colaboraram nos trabalhos experimentais.

Aos amigos de Gurupi-TO, em especial a Tonim e Carlim, pelas risadas e pelos momentos de descontração.

A todos que torceram por mim e colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

LUAN BRIOSCHI GIOVANELLI, filho de Antonio Menegardo Giovanelli e Luzia Brioschi Giovanelli, nasceu em Jaguaré, ES, em 07 de fevereiro de 1988.

Em março de 2005, ingressou no curso de Engenharia Agrícola e Ambiental na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, concluindo-o em junho de 2010. Durante a graduação, foi bolsista de Iniciação Científica, por um ano, pelo programa PROBIC/FAPEMIG.

Em agosto de 2010, ingressou no Programa de Pós Graduação, em nível de Mestrado, no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), na área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais, submetendo-se à defesa de dissertação em julho de 2012.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1 ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA.....	5
2.2 MANEJO DA IRRIGAÇÃO UTILIZANDO O IRRIGÂMETRO.....	9
2.3 ANÁLISE DE TRILHA.....	13
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	16
3.2 ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO COM O IRRIGÂMETRO (ET_1) E DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_0).....	18
3.3 COEFICIENTE DO IRRIGÂMETRO (K_1).....	19
3.4 COEFICIENTE DE TRILHA.....	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
5. CONCLUSÕES.....	52
6.REFERÊNCIAS.....	53

RESUMO

GIOVANELLI, Luan Brioschi, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2012. **Estimativa da evapotranspiração de referência pelo Irrigâmetro nas condições climáticas do sul do Estado do Tocantins**. Orientador: Rubens Alves de Oliveira. Coorientadores: Gilberto Chohaku Sedyama, Paulo Roberto Cecon e Jair da Costa Oliveira Filho.

Na atual problemática envolvendo a escassez de água no mundo, torna-se imprescindível a busca por alternativas que otimizem o uso desse recurso para fins de irrigação, haja vista que essa atividade consome cerca de 70% da água total mundial extraída de aquíferos, rios e lagos. Nesse contexto, os métodos de manejo da irrigação ganham destaque devido a sua importância quanto à conservação de água e maximização da produção agrícola, além de serem essenciais para melhorar o desempenho e a sustentabilidade de sistemas de irrigação. Diante do panorama mencionado, o Irrigâmetro surge como importante alternativa para manejo da irrigação, devido a sua praticidade e boa precisão para estimar a evapotranspiração, processo esse, utilizado para determinar a necessidade hídrica das culturas. Pesquisas realizadas com o Irrigâmetro, em diferentes condições climáticas e em diferentes períodos do ano, permitem realizar um melhor ajuste do aparelho, aperfeiçoando-o. Frente ao exposto, os objetivos desta pesquisa foram: (a) Determinar o coeficiente do Irrigâmetro (K_I) para as estações do ano, no período de setembro de 2008 a setembro de 2011, para diferentes alturas da água dentro do evaporatório do Irrigâmetro, para a região sul do Estado do Tocantins; (b) Estabelecer, para cada estação, a altura da água no evaporatório referente ao K_I igual a 1; e (c) Avaliar os efeitos dos elementos meteorológicos (temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar) na evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro (ET_I), operando com diferentes alturas da água dentro do evaporatório, para as estações dos anos estudados. O estudo foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Tocantins (UFT), no Campus Universitário de Gurupi, situada no Município de Gurupi, TO. O experimento foi montado num delineamento inteiramente casualizado, com sete alturas da água no evaporatório do Irrigâmetro, representando os tratamentos, com três repetições. Os dados meteorológicos foram

coletados numa estação meteorológica automática e utilizados na determinação da evapotranspiração de referência (ET_0), com uso do programa computacional REF-ET, com base na equação de Penman-Monteith – FAO 56. Ocorreu aumento linear do K_1 com a elevação da altura da água dentro do evaporatório nas estações da primavera e do verão. Já no outono e no inverno, o aumento foi exponencial. A altura da água recomendada no evaporatório do Irrigâmetro, de modo que este estime a ET_0 na região Sul do Estado do Tocantins, para a estação da primavera, é igual a 3,4 cm; para o verão, 4,0 cm; para o outono, 3,8 cm; e, para o inverno, 2,3 cm. Os elementos meteorológicos umidade relativa e radiação solar apresentaram alta correlação com a ET_1 em todas as estações dos anos analisadas. A temperatura mínima e a velocidade do vento foram os elementos meteorológicos que apresentaram menor efeito indireto sobre a ET_1 , quando associadas aos demais elementos.

ABSTRACT

GIOVANELLI, Luan Brioschi, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2012. **Estimation of reference evapotranspiration by the Irrigameter in the climate conditions of the south of Tocantins state, Brazil.** Adviser: Rubens Alves de Oliveira. Co-advisers: Gilberto Chohaku Sedyama, Paulo Roberto Cecon and Jair da Costa Oliveira Filho.

In the present issues related to world water scarcity, it becomes indispensable the search for alternatives that optimize the use of this resource for the purpose of irrigation, knowing that this activity takes up about 70% of the total world water extracted from aquifers, rivers and lakes. In this background, the methods for irrigation management are highlighted due to their importance in water preservation and maximization of the agricultural production, besides being essential to increase the performance and sustainability of the irrigation systems. Having mentioned this, the Irrigameter appears as an important alternative for irrigation management, because of its practicality and accuracy to estimate evapotranspiration, process which is used to determine the water requirement of the crops. Researches done with the Irrigameter in different weather conditions and in different seasons allow a better adjustment of the device in order to improve it. Therefore, the aims of this research were: (a) Determine the coefficient of the Irrigameter (K_I) for each season, from September 2008 to September 2011, for different water levels inside the evaporator of the Irrigameter, in the south of Tocantins state - Brazil; (b) Establish, for each season, the water level in the evaporator referring to the K_I of 1; and (c) Evaluate the effects of the meteorological elements (maximum temperature, minimum temperature, relative humidity, wind speed, and solar radiation) in the evapotranspiration estimated by the Irrigameter (ET_I), which operates in different water levels inside the evaporator, for the seasons studied. The study was conducted in the experimental area of the Federal University of Tocantins (UFT), in the University Campus of Gurupi, situated in Gurupi, TO. The experiment was mounted in an entirely randomized delimitation, with seven water levels in the evaporator of the Irrigameter, representing the treatments, with three repetitions. The weather data were collected in an automatic weather station and used for determining the

reference evapotranspiration (ET_0), using the computer software REF-ET, based on the FAO 56 Penman-Monteith equation. There was a linear increase of the K_1 with the rising of the water level inside the evaporator in spring and summer. In the fall and in winter, the increase was exponential. The recommended water level in the evaporator, in a way that it estimates an ET_0 in the south of Tocantins, for spring is equal to 3,4 cm; for the summer, 4,0 cm; for the fall, 3.8 cm; e for the winter, 2.3 cm. The meteorological elements relative humidity and solar radiation presented a high correlation with the ET_1 in all the seasons studied. The minimum temperature and wind speed were the meteorological elements with the lowest indirect effect on the ET_1 , when associated with the other elements.

1. INTRODUÇÃO

No atual cenário mundial, em que a água passou a ser analisada como recurso natural renovável finito e sua escassez deixou de ser considerada apenas como problema restrito às regiões áridas, seu uso indiscriminado e sua exiguidade, tanto de forma quantitativa quanto qualitativa, têm acelerado a pesquisa por novas tecnologias que tentem minimizar esse quadro. Estima-se que em 2025, 1,8 bilhão de pessoas estarão vivendo em países ou regiões com escassez de água, com disponibilidade anual de 500 m³ per capita; e dois terços da população mundial poderão estar sob condições de estresse hídrico, com disponibilidade anual entre 500 e 1.000 m³ per capita. (FAO, 2012).

Por ser a água um recurso dotado de valor econômico, estratégico e social, essencial à existência e bem estar do homem e à manutenção dos ecossistemas do planeta, sua escassez vem aumentando a competição entre os diferentes usuários – como abastecimento humano e animal, indústria e agricultura. Esta merece destaque, haja vista que 70% da água total mundial extraída de aquíferos, rios e lagos são destinados à agricultura (FAO, 2011).

Segundo Paulino et al. (2011), estima-se que a área irrigada no mundo ocupe cerca de 17% de toda a terra agricultável e responda pela produção de mais de 40% de todo o alimento consumido. De acordo com Falkenmark e Rockström (2004), no ano de 2030 a metade de todos alimentos produzidos e dois terços (67 %) de todos os cereais colhidos, serão oriundos da agricultura irrigada.

Em escala nacional, a agricultura irrigada contribui para a elevação do PIB do agronegócio, setor esse que, segundo dados do CEPEA (2012), representou 22,15% do PIB em 2011. Entretanto, na maior parte da área irrigada no Brasil, é comum observar-se ausência de manejo racional da água, resultando, geralmente, em aplicação excessiva – com desperdício de água e energia, além da ocorrência de problemas ambientais – ou em deficiência hídrica para as plantas – com baixa produtividade e prejuízos econômicos ao produtor.

Segundo Contin (2008), o que tem ocasionado tal fato são 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 à irrigação excessiva.

O manejo da irrigação está inserido no contexto de maximização da produção agrícola e conservação da água, além de ser essencial para melhorar o desempenho e a sustentabilidade de sistemas de irrigação, constituindo-se como um processo utilizado para decidir quando irrigar as culturas e quanto aplicar de água.

A determinação do consumo de água, nos diversos estádios de desenvolvimento da cultura, é fundamental no manejo da irrigação, podendo ser obtida a partir de medições efetuadas no solo, na planta e na atmosfera. Os métodos baseados em medições no solo fundamentam-se na determinação do seu teor de água; os que utilizam medições 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).

O conhecimento e a quantificação do processo de evapotranspiração definem a quantidade de água necessária às culturas, sendo, por isso, um parâmetro fundamental para o planejamento e o manejo da irrigação (SEDIYAMA, 1996). Dessa forma, a definição das necessidades hídricas das culturas é usualmente estimada com base nos valores da evapotranspiração de referência (ET_0).

A determinação da evapotranspiração é a mais utilizada, devido à menor exigência de mão-de-obra e maior rapidez do processo de tomada de decisão quanto ao manejo da irrigação, quando comparada aos métodos baseados no solo e na planta (CAIXETA, 2009).

Além do tanque Classe “A”, o tensiômetro e a estação meteorológica automática são os equipamentos mais utilizados para fins de manejo da água de irrigação. A medição da evaporação da água realizada no tanque é convertida em evapotranspiração de referência – por meio de coeficientes específicos do tanque, dependentes do clima, do tipo de tanque e da bordadura circundante (DOORENBOS e PRUITT, 1977) – e, posteriormente, em evapotranspiração da cultura – por meio de coeficientes da cultura, dependentes do tipo da cultura e estádio de desenvolvimento, das condições climáticas e tratos culturais, como descrito no Boletim FAO 56 (ALLEN et al., 1998).

No caso do uso de tensiômetros, geralmente há a necessidade de aquisição de grande quantidade de unidades para atender às diversas parcelas irrigadas, onerando a implementação do processo de manejo da irrigação, além de dificuldades técnicas para o produtor definir o tempo de irrigação.

A evapotranspiração obtida com uso de estação meteorológica automática é calculada por meio de equações baseadas em elementos meteorológicos, tais como radiação solar, velocidade do vento, umidade relativa, temperatura do ar e precipitação, cujos dados são registrados por sensores. A utilização dessa técnica está associada a 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.

Face ao exposto, a escolha do método mais apropriado para estimativa da ET_0 depende da disponibilidade de dados meteorológicos, do nível de precisão exigido, da finalidade – se o manejo da irrigação é em nível de propriedade agrícola ou pesquisa – e do custo de aquisição dos equipamentos. Tais fatores têm levado pesquisadores a desenvolver métodos alternativos e mais simples de determinação da evapotranspiração para fins práticos de manejo da água na irrigação, com o objetivo de reduzir custos e facilitar o manuseio, mantendo precisão e consistência científica.

Almejando tal objetivo, uma equipe de pesquisadores da Universidade Federal de Viçosa (UFV) desenvolveu o Irrigâmetro, aparelho utilizado no manejo da água de irrigação, introduzindo grande simplicidade no manejo da água em áreas irrigadas. Trata-se de um aparelho evapo-pluviométrico que integra os princípios relacionados ao manejo da irrigação, no que se refere às características da cultura, do solo, do clima e do sistema de irrigação. O Irrigâmetro permite estimar a evapotranspiração e medir a lâmina precipitada, fornecendo resposta prática às duas perguntas básicas do manejo de irrigação: “quando e quanto irrigar?”, otimizando, dessa forma, o uso da água na agricultura irrigada.

O aparelho tem se mostrado capaz de estimar a evapotranspiração com boa precisão (OLIVEIRA et al., 2007b), sendo esse processo dependente diretamente dos elementos meteorológicos e suas inter-relações, associados ao correto ajuste do mesmo.

Desse modo, o uso do Irrigâmetro torna-se uma alternativa viável por ser de custo mais baixo em relação ao tanque Classe “A” e à estação meteorológica automática e, principalmente, por ser de fácil instalação e operação (manuseio).

Sendo assim, pesquisas conduzidas em regiões com condições climáticas diferentes permitirão identificar quais elementos meteorológicos (temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa, velocidade do vento e radiação) são mais relevantes na evapotranspiração estimada pelo aparelho, com avaliação dos efeitos diretos e indiretos desses elementos, possibilitando ajustes precisos do aparelho em condições climáticas específicas.

Em razão das pesquisas realizadas com o aparelho serem recentes e conduzidas, em sua maioria, no período máximo de um ano de duração, o estudo da influência da variação interanual dos elementos meteorológicos, no processo da evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro e no valor do coeficiente do Irrigâmetro (K_I), torna-se importante para o entendimento da correlação entre esses elementos e a evapotranspiração estimada; o que possibilita verificar a necessidade ou não de se fazer ajustes na altura do evaporatório do aparelho para estimar a evapotranspiração da cultura nos diferentes estádios de desenvolvimento, contribuindo para a difusão e recomendação mais segura da tecnologia do Irrigâmetro em locais com condições climáticas semelhantes às do sul do Estado do Tocantins.

Nesse contexto, neste trabalho teve-se como objetivos:

- Determinar o coeficiente do Irrigâmetro (K_I) para as estações do ano, no período de setembro de 2008 a setembro de 2011, para diferentes alturas da água dentro do evaporatório do Irrigâmetro;
- Estabelecer, para cada estação, a altura da água no evaporatório referente ao K_I igual a 1;
- Avaliar os efeitos dos elementos meteorológicos (temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa, velocidade do vento e radiação solar) na evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro, operando com diferentes alturas da água dentro do evaporatório, para as estações dos anos estudados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Estimativa da evapotranspiração de referência

Segundo Sedyama (1996) e Bernardo et al. (2006), o conhecimento e a quantificação do processo de evapotranspiração definem a quantidade de água necessária para as culturas, sendo, por isso, um parâmetro fundamental para o planejamento e o manejo da irrigação. Para Henrique e Dantas (2007), informações quantitativas da evapotranspiração são de grande importância na avaliação da severidade, distribuição e frequência dos déficits hídricos, elaboração de projetos e manejo de sistemas de irrigação e drenagem.

Caixeta (2009), por sua vez, comenta que a determinação da evapotranspiração, quando comparada aos métodos baseados no solo e na planta, é o processo mais utilizado, por causa de sua maior praticidade na definição da necessidade hídrica das culturas, sobretudo devido à menor exigência de mão-de-obra e maior rapidez do processo de tomada de decisão quanto ao manejo da irrigação.

A determinação das necessidades hídricas das culturas é usualmente estimada com base nos valores da evapotranspiração de referência (ET_0). Sua determinação inclui a soma entre a evaporação da água do solo, a evaporação da água depositada na superfície das plantas e a transpiração vegetal.

A ET_0 foi definida no Boletim 24 da FAO como sendo a taxa de evaporação para uma extensa superfície, com cobertura gramada e altura uniforme, entre 0,08 a 0,15 m, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo e sem deficiência de água. (DOORENBOS e PRUITT, 1977; JENSEN et al., 1990 e AL-GHOBARI, 2000).

Devido, principalmente, à diversidade de gramas consideradas na definição da cultura de referência, Allen et al. (1994) apresentaram uma atualização na definição da evapotranspiração de referência (ET_0) e no procedimento de cálculo da referida variável. Os autores recomendam uma grama hipotética, com valores fixos de albedo de 23%, altura de 0,12 m e resistência do dossel de 70 s m^{-1} . Tal atualização evita que a ET_0 seja determinada incorretamente, haja vista que o valor de ET_0 obtido com alfafa, por exemplo, pode diferir-se daquele conseguido com

grama, em função do albedo e da rugosidade das duas superfícies, se as áreas cultivadas forem suficientemente extensas.

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 índice de área foliar e a quantidade de água prontamente disponível no solo. É comum que as taxas de evaporação e transpiração elevem-se com o aumento da radiação solar, temperatura do ar, velocidade do vento e índice de área foliar e com a diminuição de umidade relativa do ar (DOORENBOS e PRUITT, 1977; MEDEIROS, 2002).

Atualmente, existem diversos métodos para estimar a evapotranspiração de referência. Segundo Burman et al. (1983), a ET_0 pode ser obtida a partir de medidas diretas ou estimada a partir de elementos meteorológicos, utilizando-se modelos ou métodos teóricos empíricos. Entre as medidas diretas, estão inclusos os diferentes tipos de lisímetros e o balanço de água no solo, enquanto entre as estimadas, conforme Jensen et al. (1990), encontram-se os métodos de Penman, Thornthwaite, Blaney-Criddle, Jensen-Haise, Priestley-Taylor e Hargreaves, entre outros; da mesma forma, os evaporímetros e o tanque Classe "A".

De acordo com Oliveira (2009), lisímetros são grandes reservatórios cheios de solo localizados no campo, para representarem o ambiente local, com superfície coberta por vegetação ou solo nu, para estimativa da evapotranspiração de uma cultura de referência ou, ainda, da evaporação em um solo descoberto. Segundo Bernardo (1992) e Amorim (1998), o método do lisímetro é muito preciso e considerado instrumento-padrão para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0). Contudo, Allen et al. (1998) salientam que, por seu alto custo e difícil operação e manutenção, o uso dos lisímetros é restrito a propósitos de pesquisa específica.

Para se efetuar o balanço de água no solo é necessário computar as entradas de água no solo via precipitação pluvial ou irrigação, a partir da sua infiltração na superfície, e as saídas, representadas pela drenagem interna, evapotranspiração e deflúvio superficial num volume de solo, com base na configuração do sistema radicular da cultura em estudo, em determinado período de tempo; se a quantidade de água que entra no tempo considerado for maior que a quantidade que sai durante o mesmo período, o saldo será positivo e, caso contrário, será negativo. Tanto o saldo

positivo como o negativo serão medidos pela variação de armazenagem de água no perfil do solo no período considerado (LIBARDI, 1995).

Tucci (2004) salienta que a maior dificuldade em representar os processos hidrológicos, é a grande heterogeneidade dos sistemas envolvidos, ou seja, a grande variabilidade do solo e a cobertura vegetal. Segundo Pinheiro et al. (2010), o estabelecimento de balanços hídricos no campo é difícil e dispendioso, sendo a variabilidade de seus componentes o maior problema para se obter resultados confiáveis.

Um dos métodos indiretos para a estimativa da ET_0 é o método de Penman-Monteith-FAO 56. Segundo Allen (1986) e Allen et al. (1998), esse método inclui todos os parâmetros que governam a troca de energia e o correspondente fluxo de calor latente (evapotranspiração) para a vegetação uniforme e extensa. Os parâmetros são medidos ou podem ser, em sua maioria, calculados prontamente a partir de dados meteorológicos. Allen et al. (1998) recomendam esse método como padrão, pois apresenta estimativa confiável e consistente da ET_0 , considerado o modelo de melhor desempenho entre os métodos combinados.

Para o cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith-FAO 56, utiliza-se a equação 1, para valores diários.

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{37}{T_a + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + CdU_2)} \quad (1)$$

em que,

ET_0 = evapotranspiração de referência, mm h^{-1} ;

R_n = saldo de radiação à superfície, $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$;

G = densidade do fluxo de calor no solo, $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$;

T_a = temperatura do ar de hora em hora, $^{\circ}\text{C}$;

U_2 = velocidade do vento a 2 m de altura, m s^{-1} ;

e_s = pressão de saturação de vapor, kPa;

e_a = pressão parcial de vapor, kPa;

Δ = declividade da curva de pressão de saturação de vapor, $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$;

γ = coeficiente psicrométrico, $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$; e

Cd = coeficiente de resistência da superfície/aerodinâmica.

Jensen et al. (1990) classificam o método de Penman como um método combinado, pois associa os efeitos do balanço de energia e dos termos aerodinâmicos na estimativa da evapotranspiração. Os métodos empíricos de Thornthwaite, Blaney-Criddle e Hargreaves baseiam-se em dados de temperatura do ar, enquanto os métodos de Jensen-Haise e Priestley-Taylor baseiam-se em dados de temperatura do ar e de radiação solar.

Dentre os métodos que estimam a ET_0 , o tanque Classe “A” (Figura 1a) mede o efeito integrado da radiação solar, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa sobre a evaporação de uma superfície de água livre. De acordo com Sedyama (1996), o maior uso desse equipamento deve-se à sua praticidade, além dos baixos custos de implantação e manutenção. Smith (1991) endossa que, quando bem conduzido, esse método oferece resultados confiáveis na estimativa da evapotranspiração de referência; porém, Paula (2009) alerta que o método não é aconselhável para períodos menores que 5 dias, pois a temperatura da água do tanque apresenta influência do dia anterior. Jensen et al. (1990) recomendaram o uso do tanque Classe “A” para períodos de tempo superiores a sete dias.

Além desses fatores, a utilização de metal não recomendado pode proporcionar um erro de até 30% na estimativa da evapotranspiração de referência (BERNARDO et al., 2006).

De fácil operação, a medição da variação do nível da água é realizada com a utilização de um micrômetro de gancho (Figura 1b), o qual é instalado dentro de um poço tranquilizador a fim de reduzir a turbulência da água no momento da leitura.



Figura 1 – (a) Tanque Classe A.



(b) Micrômetro de gancho.

A evaporação da água no tanque (E_v) é indicada pela diferença do nível da água no período analisado. De posse desse parâmetro, a evapotranspiração de referência pode ser calculada utilizando-se a seguinte equação:

$$ET_0 = K_t E_v \quad (2)$$

em que,

ET_0 = evapotranspiração de referência, mm d^{-1} ;

K_t = coeficiente do tanque, adimensional;

E_v = evaporação medida no tanque, mm d^{-1} .

Nota-se, na equação anterior, a necessidade de se conhecer o valor do coeficiente do tanque (K_t), valor esse influenciado diretamente pelo tipo de bordadura, se grama ou solo sem vegetação, e seu raio de alcance em relação ao tanque, pela unidade relativa e velocidade do vento.

2.2 Manejo da irrigação utilizando o Irrigâmetro

De acordo com Lopes et al. (2004), o conhecimento da quantidade de água requerida pelas culturas constitui-se em um importante aspecto na agricultura irrigada, para que haja uma adequada programação de manejo de irrigação.

Paula (2009) salienta que a quantidade de água aplicada numa irrigação deve ser suficiente para repor a água evapotranspirada pela cultura. A frequência da irrigação depende de características do solo, do clima e da planta. Na decisão sobre o horário da irrigação, deve ser considerado o preço da energia elétrica, a disponibilidade de mão de obra e a eficiência de aplicação da água. A importância de manejar a irrigação apropriadamente envolve mais vantagens do que a economia de água. A água transporta os nutrientes e seu excesso pode afastá-los das raízes.

No manejo racional de qualquer projeto de irrigação, devem-se considerar os aspectos sociais e ecológicos da região e procurar maximizar a produtividade e a eficiência do uso da água e minimizar os custos, quer de mão-de-obra, quer de capital, mantendo as condições de umidade do solo e de fitossanidade favoráveis ao bom desenvolvimento da cultura irrigada (BERNARDO et al., 2006).

A técnica do manejo da irrigação consiste em determinar o momento de irrigar e o tempo de funcionamento do equipamento de irrigação, no caso de sistemas de irrigação por aspersão e localizada, ou a velocidade de deslocamento em sistemas tipo pivô central e linear.

Para Silva et al. (1998), os benefícios da irrigação para determinada cultura somente podem ser alcançados em toda sua plenitude quando o sistema de irrigação for utilizado com critérios de manejo que resultem em aplicações de água em quantidades compatíveis com as necessidades de consumo da cultura. Uma boa estratégia de manejo da irrigação é fundamental para economizar água sem, no entanto, por em risco o rendimento das culturas (JALOTA et al., 2006).

Nesse contexto, a escolha da melhor tecnologia de manejo de irrigação deve ser criteriosamente analisada, haja vista que a irrigação vai além da simples aplicação de água às plantas, configurando-se como um dos componentes do sistema de produção que interagem entre si para gerar aumento de rentabilidade do empreendimento agrícola.

Sob essa perspectiva, o Irrigâmetro (Figura 2) surge como alternativa ao facilitar a prática do manejo da irrigação, assegurando as condições favoráveis ao desenvolvimento das culturas.

O aparelho é de fácil operação, a qual consiste simplesmente em abertura e fechamento de válvulas nele existentes, obedecendo a uma sequência predefinida, além de apresentar simples montagem e desmontagem, o que facilita o transporte e a sua instalação no campo.

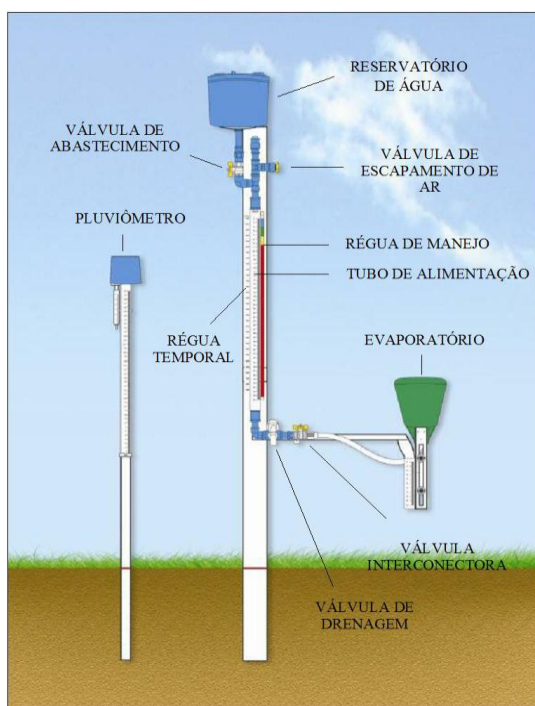


Figura 2 – Irrigâmetro e seus componentes.

O Irrigâmetro é um aparelho evapo-pluviométrico que integra os princípios relacionados ao manejo da irrigação, no que se refere às características da cultura, do solo, do clima e do sistema de irrigação. Com o uso do aparelho é possível estimar a evapotranspiração e medir a lâmina precipitada, fornecendo resposta prática às duas perguntas básicas do manejo de irrigação: “quando e quanto irrigar?”, indicando diretamente o momento de irrigar e o tempo de funcionamento de um sistema de irrigação ou a sua velocidade de deslocamento, no caso de pivô central ou linear, sem a necessidade de cálculos, assim, o irrigante não precisa ter conhecimentos técnicos especializados sobre irrigação.

Na ocorrência de chuva, a lâmina precipitada é medida com auxílio de um pluviômetro integrado ao aparelho e computada facilmente pelo operador do Irrigâmetro; sabendo-se, em seguida, se ela foi suficiente ou não para suprir o déficit hídrico até então existente no solo, sem a necessidade de fazer cálculos; constituindo-se em outra grande vantagem do Irrigâmetro, pois tanto o uso convencional do tanque universal Classe “A”, quanto de estação meteorológica automática, exigem cálculos no cômputo da lâmina precipitada no processo de manejo da irrigação.

O instrumento é equipado com um reservatório denominado evaporatório, construído de material plástico, contendo água com superfície exposta à atmosfera. O reservatório possui seção transversal cônica que permite variar a área exposta à atmosfera, conforme a altura da água no seu interior. De acordo com Contin (2008), a estimativa do consumo de água das culturas pelo Irrigâmetro, nos diferentes estádios de desenvolvimento das plantas, baseia-se na variação da altura da água no evaporatório do equipamento. Na fase inicial de desenvolvimento (fase I), a altura da água no evaporatório é a mais baixa, em razão do menor consumo de água da cultura nesse período. A fase de florescimento e enchimento de grãos (fase III) caracteriza-se pelo maior consumo de água pela cultura durante o ciclo, sendo a altura da água no evaporatório a mais alta.

Oliveira et al. (2007a, 2007b), Oliveira et al. (2008) e Tagliaferre (2006, 2007), após pesquisas, concluíram que o Irrigâmetro pode ser utilizado para estimar a evapotranspiração de qualquer cultura, em qualquer estágio de desenvolvimento, para um valor de coeficiente de cultura (K_c) desejado.

Oliveira et al. (2007b), Baptestini (2010) e Tagliaferre et al. (2012) enfatizam que o aparelho tem se mostrado capaz de estimar a evapotranspiração com boa precisão, sendo esse processo dependente diretamente dos elementos meteorológicos e suas inter-relações, associados ao correto ajuste do aparelho.

O correto manejo da irrigação com o uso do Irrigâmetro é realizado com o monitoramento de três escalas integradas ao aparelho. A escala laminar, que se constitui numa graduação impressa no próprio tubo de alimentação do aparelho, possui a função de medir a lâmina da água evaporada ou evapotranspirada. A escala da régua de manejo (sem graduação) possui quatro faixas verticais de coloração azul, verde, amarelo e vermelho, com a função de indicar o momento da irrigação, cujo modelo é dependente da sensibilidade da cultura ao déficit hídrico e de características físico-hídricas do solo da área irrigada. A escala da régua temporal ou percentual, que é graduada em horas e minutos ou em percentagem, respectivamente, sendo o modelo desta indicado de acordo com as características de aplicação de água do sistema de irrigação. Essa 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 (OLIVEIRA e RAMOS, 2008).

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

encontra-se na direção da faixa azul ou da faixa verde, é indicativo de alta ou 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 da água abaixo a ponto de atingir a faixa vermelha, o Irrigâmetro estará indicando ao produtor que o momento da irrigação já se passou, podendo ocorrer redução na produtividade ou na qualidade da cultura.

2.3 Análise de trilha

Segundo Lopes e Franke (2011), o estudo das correlações entre variáveis tem aplicações em praticamente todos os campos de pesquisa. A correlação simples permite apenas avaliar a magnitude e o sentido da associação entre duas variáveis quaisquer; portanto, não permite inferências sobre a causa e efeito, impossibilitando o conhecimento de qual tipo de associação governa o par de variáveis (FURTADO et al., 2002).

De acordo com Cruz e Regazzi (1997), a importância da correlação entre variáveis reside na possibilidade de avaliar o quanto da alteração de uma variável pode afetar as demais; porém, podem ocorrer alguns equívocos quanto à quantificação da magnitude das correlações entre as variáveis. A alta correlação entre duas variáveis pode ser resultado de uma terceira sobre elas, ou de um grupo de variáveis. Desse modo, apesar da utilidade dessas estimativas no entendimento de uma variável complexa, como a evapotranspiração, elas não determinam a importância relativa das influências diretas e indiretas das diversas variáveis explicativas que compõem a variável principal.

A fim de solucionar esse entrave, Wright (1921) propôs um método de desdobramento dos coeficientes de correlação, denominado como análise de trilha ou análise de caminamento. Tal análise permite particionar o coeficiente de correlação em efeitos diretos e indiretos de variáveis explicativas, sobre uma variável principal (CRUZ e REGAZZI, 1997; CRUZ e CARNEIRO, 2003).

Para Cruz e Carneiro (2003), essa análise pode ser definida como um coeficiente de regressão padronizado, sendo uma expansão da análise de regressão múltipla, quando estão envolvidos inter-relacionamentos complexos.

Conforme Cruz e Regazzi (1994), o sucesso dessa análise consiste basicamente na formulação do relacionamento causa-efeito entre as variáveis; além disso, o desdobramento de correlações é dependente do conjunto de caracteres estudados, que normalmente é estabelecido pela sua importância, pelo conhecimento prévio do pesquisador e pelas possíveis inter-relações, expressas em diagramas de trilha.

Ainda segundo os mesmos autores, os coeficientes de trilha (efeito direto) podem ser comparados entre si e com o efeito da variável residual, que é utilizado como referencial para a importância do efeito direto da variável explicativa sobre a variável principal. Quando o coeficiente de trilha (efeito direto) de uma variável explicativa for, em módulo, menor que o coeficiente da variável residual, mas o coeficiente de determinação (efeito total) for maior que o efeito da variável residual, isso significa que essa variável explicativa influencia a variável principal apenas indiretamente, sendo sua importância só em conjunto. Se o coeficiente de trilha for, em módulo, maior que o coeficiente da variável residual, ele indica que existe efeito direto da variável explicativa sobre a principal.

A evapotranspiração é afetada por diferentes elementos meteorológicos (temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e radiação, dentre outros) além de elementos do solo e da planta (LEMON et al., 1957). Pelo fato dos mesmos serem frequentemente interdependentes na natureza, torna-se difícil o entendimento dos efeitos de um ou outro elemento sobre a evapotranspiração nas diferentes condições climáticas.

Silveira e Andrade (2002), trabalhando com a análise dos componentes principais na investigação da estrutura multivariada da evapotranspiração no Estado do Ceará, verificou que os elementos meteorológicos estudados com maior peso no processo da evapotranspiração foram a umidade relativa e a razão de insolação.

Oliveira (2009), analisando a influência dos elementos meteorológicos na evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro em Rio Paranaíba, MG, concluiu que, nos meses de agosto e janeiro, a umidade relativa do ar apresentou maior correlação com a estimativa da evapotranspiração. No mês de setembro, foram a temperatura mínima e a umidade relativa. No mês de outubro, a temperatura máxima e a umidade relativa; enquanto que no mês de maio a temperatura máxima foi o elemento que apresentou maior correlação.

A estimação dos coeficientes de trilha, contudo, pode ser adversamente afetada pelos efeitos de multicolinearidade entre as variáveis envolvidas. A multicolinearidade ocorre quando as observações amostrais das variáveis explicativas, ou suas combinações lineares, são correlacionadas (MATSUO, 1986; FERRARI, 1989).

Entretanto, muitas vezes o termo é utilizado erroneamente, como sinônimo de uma correlação muito alta ou perfeita (próxima de +1 ou -1) entre as variáveis independentes (alto grau de multicolinearidade), especialmente quando ocorre uma sobreposição entre as variáveis no modelo de regressão. Seus efeitos danosos não são ocasionados simplesmente pela sua presença, mas sim pelo grau com que se manifestam. Entre os efeitos peculiares de uma elevada multicolinearidade, podem ser citados: estimativa inconsistente do coeficiente de regressão e também uma superestimativa dos efeitos diretos das variáveis explicativas sobre a variável resposta, o que pode levar à interpretação equivocada (CRUZ e CARNEIRO, 2003).

De modo geral, as análises de trilha não têm considerado os efeitos adversos da multicolinearidade sobre os estimadores de quadrados mínimos, adotados para resolução dos sistemas de equação. Dessa forma, os resultados obtidos podem não ser confiáveis (CARVALHO, 1995). Cruz e Carneiro (2003) afirmam que ignorar os efeitos da multicolinearidade pode provocar resultados danosos ou absurdos. Para tal, diagnósticos de multicolinearidade devem ser feitos de forma a viabilizar certos estudos. Carvalho (1995) ressalta a importância desse estudo quando se tem o objetivo de realizar análise de regressões, de trilha e de correlações parciais, entre outras.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do experimento

O estudo foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Tocantins (UFT), no Campus Universitário de Gurupi, situada no Município de Gurupi, TO. As coordenadas geográficas do município são 11° 45' de latitude Sul e 49° 03' de longitude Oeste, e altitude 287 m.

Nessa área, foram instalados 21 Irrigômetros, espaçados de 3,0 por 3,0 m, com o braço do aparelho fazendo 30° em relação a direção norte, com o objetivo de evitar que a sombra do próprio Irrigômetro incidisse sobre o evaporatório, o que influenciaria nos valores das leituras de ET_I .

Para determinação dos dias chuvosos, utilizou-se um pluviômetro do conjunto Irrigômetro, sendo os mesmos excluídos da análise dos resultados para manter a integridade dos dados, haja vista que a chuva altera a altura da água no evaporatório do aparelho e a restituição da altura original nem sempre ocorria logo após o término da precipitação.

A estação meteorológica instalada na área experimental é da marca DAVIS, modelo Vantage Pro II, programada para coleta dos dados a cada 30 minutos.

Foram considerados, nas análises, apenas os dados horários de radiação solar, umidade relativa, velocidade do vento e temperatura do ar, necessários para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0). O período de coleta de dados teve início em setembro de 2008 e foi finalizado em setembro de 2011, resultando, assim, em três anos de observações. Os dados do primeiro ano utilizados neste trabalho foram os mesmo usados por Baptestini (2010). A coleta de dados para o tratamento cuja altura da água dentro do evaporatório foi de 1 cm começou em setembro de 2010 e foi finalizada junto às demais, originando um período de um ano de dados.

Na figura abaixo, nota-se a disposição dos aparelhos no campo, as alturas da água dentro do evaporatório de cada aparelho e sua repetição - o código A 5/1 corresponde a uma altura da água de 5 cm e a repetição número 1 - juntamente com a localização da estação meteorológica automática e do pluviômetro.

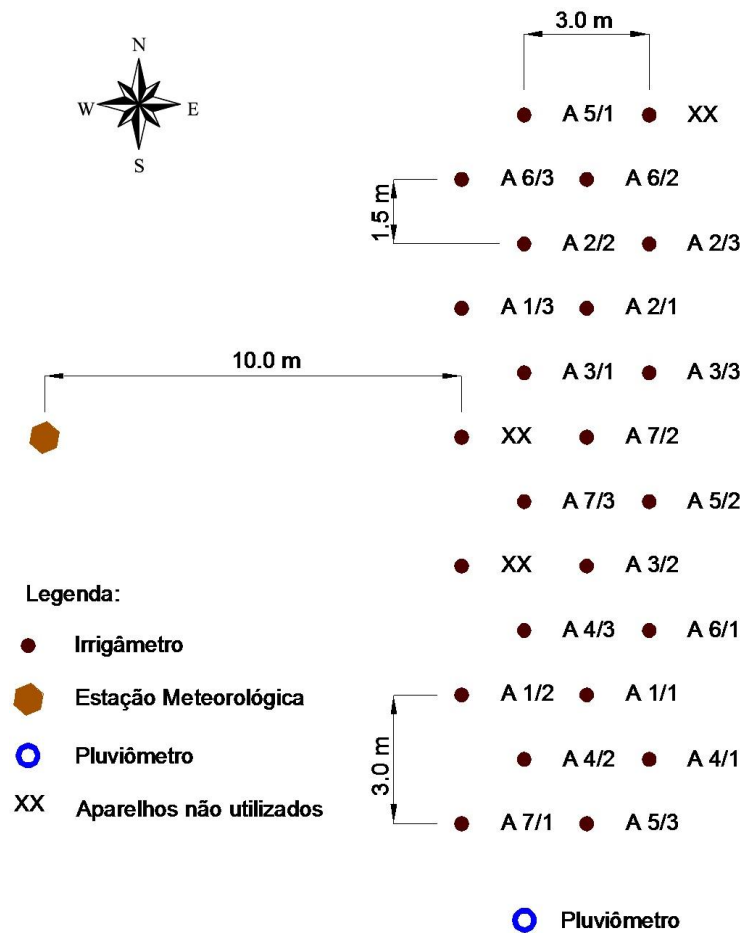


Figura 3 - Disposição dos Irrigômetros, altura da água dentro do evaporatório de cada aparelho e sua repetição, pluviômetro e estação meteorológica automática na área experimental.

Na Figura 4, observa-se os aparelhos instalados no campo e, ao fundo, um cercado construído para impedir a entrada de animais e pessoas não autorizadas até à estação meteorológica automática, a fim de evitar danos aos equipamentos e, conseqüentemente, perdas de leituras.



Figura 4 – Vista dos aparelhos na área experimental e do cercado em torno da estação meteorológica ao fundo.

3.2 Estimativa da evapotranspiração com o Irrigâmetro (ET_I) e da evapotranspiração de referência (ET_0)

A leitura da lâmina evapotranspirada estimada pelo Irrigâmetro foi realizada no tubo de alimentação do aparelho, o qual possui graduação em milímetros. Tal leitura foi realizada diariamente às nove horas, sendo a evapotranspiração diária estimada pelo Irrigâmetro obtida pela diferença de nível dentro do tubo de alimentação do aparelho, no intervalo de 24 horas.

A evapotranspiração de referência determinada pelo método de Penman-Montheith – FAO 56 foi obtida por meio do programa computacional REF-ET (ALLEN, 2000), utilizando-se dos dados horários de temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e radiação. A evapotranspiração diária foi obtida por integralização dos valores horários.

3.3 Coeficiente do Irrigâmetro (K_I)

A fim de determinar o coeficiente do Irrigâmetro, para cada altura da água no evaporatório, bem como a influência dos elementos meteorológicos associados a essas alturas, o experimento foi montado num delineamento inteiramente casualizado, com sete alturas da água no evaporatório, representando os tratamentos, com três repetições. Foram utilizadas como tratamentos as seguintes alturas da água: 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 cm, tomados a partir de um nível de referência, numa escala ascendente, existente no interior do evaporatório do aparelho (Figura 5), totalizando 21 Irrigâmetros.

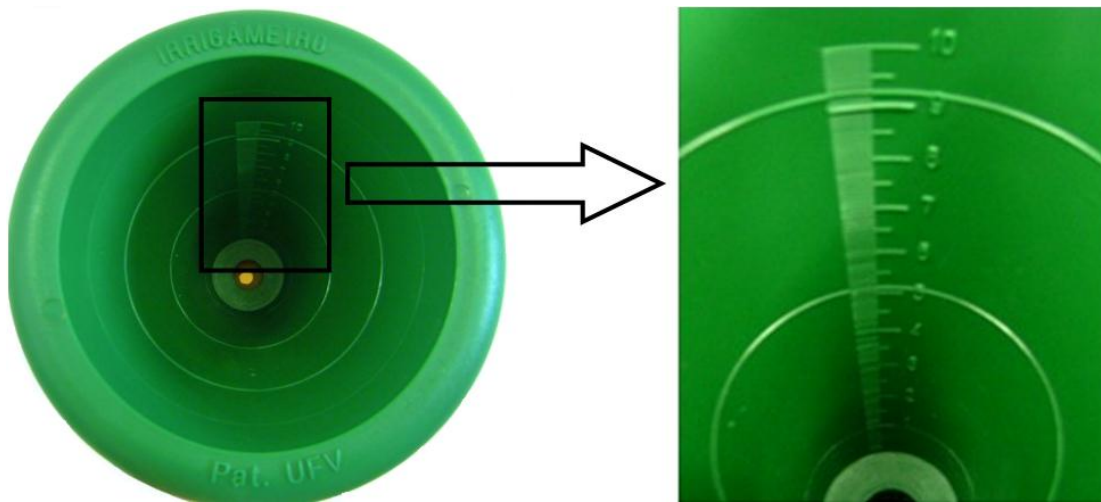


Figura 5 – Vista superior mostrando o formato cônico e detalhe da régua de altura da água na parede interna do evaporatório.

O formato cônico do evaporatório permite que, à medida que a altura da água seja elevada, a superfície exposta à atmosfera (Figura 6) aumente.



Figura 6 – Água exposta à atmosfera no interior do evaporatório.

O coeficiente do Irrigâmetro (K_I) representa a razão entre a estimativa da evapotranspiração obtida no Irrigâmetro (ET_I) e a evapotranspiração de referência (ET_0). Assim, foi atribuído ao K_I o valor do coeficiente angular (β_1) da regressão linear, não se considerando a constante β_0 no modelo.

Para cada tratamento, foi determinado um coeficiente K_I por estação do ano, utilizando-se a equação 3, que estabelece a relação entre a evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro (ET_I) e a evapotranspiração de referência (ET_0).

$$K_I = \frac{\sum ET_0 ET_I}{\sum ET_0^2} \quad (3)$$

em que,

K_I = coeficiente do Irrigâmetro, adimensional;

ET_I = evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro, mm d^{-1} ; e

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

A altura da água no evaporatório, que corresponde ao $K_I = 1$, ou seja, a altura ajustada para a estimativa direta da evapotranspiração de referência (ET_0), foi determinada com o ajustamento da equação que relaciona as alturas da água no evaporatório e os respectivos coeficientes do Irrigâmetro, obtidos para as diferentes alturas avaliadas.

3.4 Coeficiente de trilha

Para verificar a importância de um ou mais elementos meteorológicos na evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro operando nas diferentes alturas da água no evaporatório, foi aplicada a análise de trilha (*path analysis*). Tal análise possibilita realçar os efeitos diretos e indiretos de um conjunto de elementos meteorológicos sobre uma variável principal.

Na figura a seguir, mostra-se o diagrama utilizado para a melhor interpretação dos resultados da análise de trilha, que desdobra os coeficientes de Pearson em efeitos diretos e indiretos.

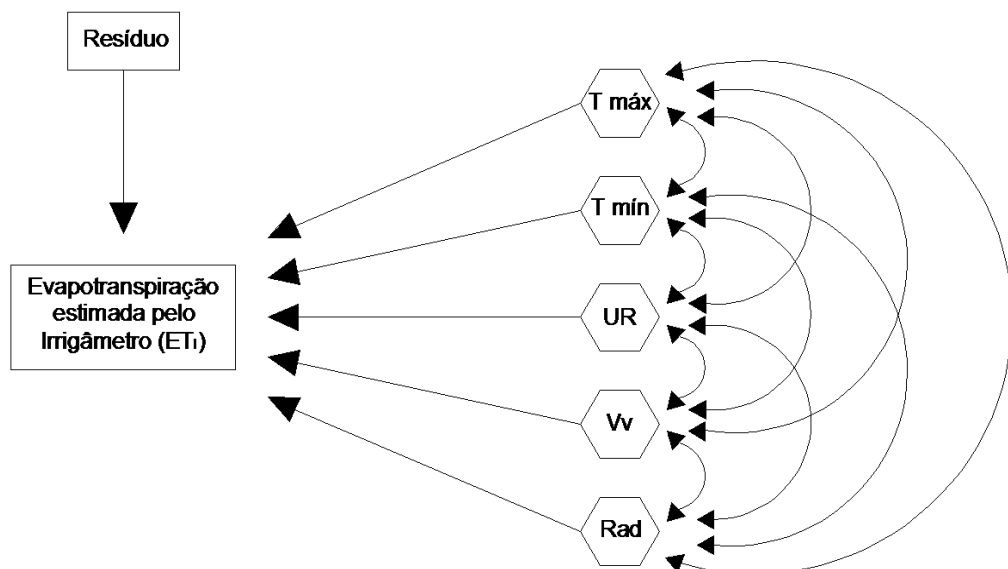


Figura 7 - Diagrama causal indicando o inter-relacionamento das variáveis explicativas: $T_{máx}$ = temperatura máxima; $T_{mín}$ = temperatura mínima; UR = umidade relativa; Vv = velocidade do vento; e Rad = radiação solar sobre a variável principal e ET_I .

Na Figura 7, as setas unidirecionais indicam o efeito direto de uma variável explicativa sobre a variável principal, enquanto que os arcos bidirecionais representam a interdependência de duas variáveis explicativas e determinam a trilha representativa do efeito indireto sobre a variável básica.

A fim de eliminar possíveis erros de interpretação dos resultados da análise de trilha, foi realizada a avaliação da multicolinearidade de acordo com o sugerido por Cruz e Regazzi (1997). Tal avaliação foi realizada a partir das matrizes dos coeficientes de correlação de cada estação do ano. Posteriormente, as variáveis explicativas foram previamente escolhidas e fez-se, inicialmente, a análise de correlação linear simples (correlação de Pearson), utilizando-se o programa estatístico SAEG (RIBEIRO JÚNIOR, 2001), para obter-se as matrizes de correlação e suas significâncias pelo teste “t” em níveis de 1% e 5% de probabilidades.

Após esse procedimento, a análise de trilha foi realizada com o objetivo de estimar as correlações e analisar a relação entre as variáveis explicativas - temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa, velocidade do vento e radiação - pelos seus desdobramentos em efeitos diretos e indiretos sobre a variável principal; nesse caso, a evapotranspiração estimada pelos Irrigômetros operando nos tratamentos A1, A2, A3, A4, A5, A6 e A7, correspondentes às alturas da água no evaporatório do Irrigômetro de 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 cm, respectivamente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 8, 9, 10 e 11, são apresentadas as variações dos valores dos elementos meteorológicos que foram utilizados no cálculo da evapotranspiração de referência, para o período experimental.

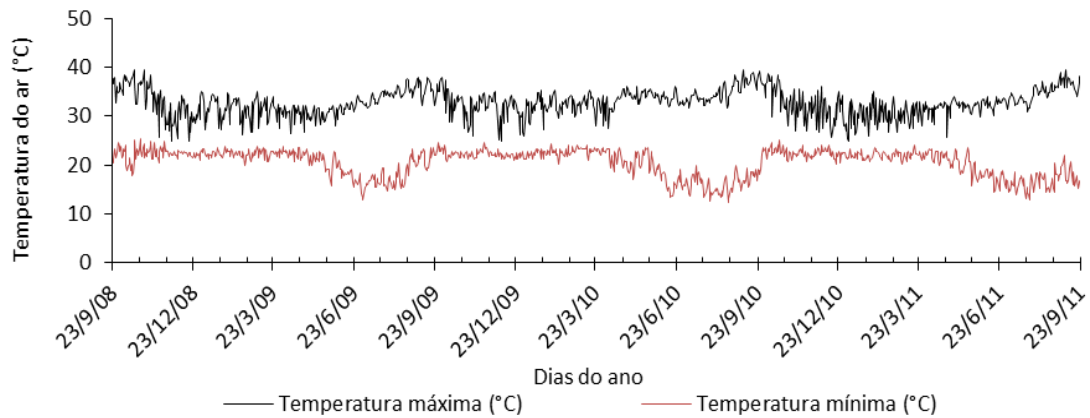


Figura 8 – Variação diária dos valores de temperatura máxima e mínima para o período experimental.

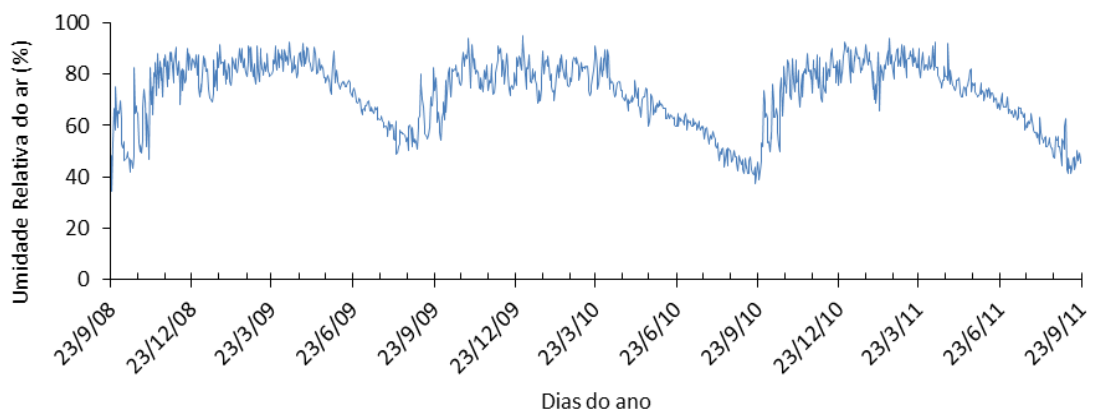


Figura 9 – Variação diária da umidade relativa média do ar durante o período experimental.

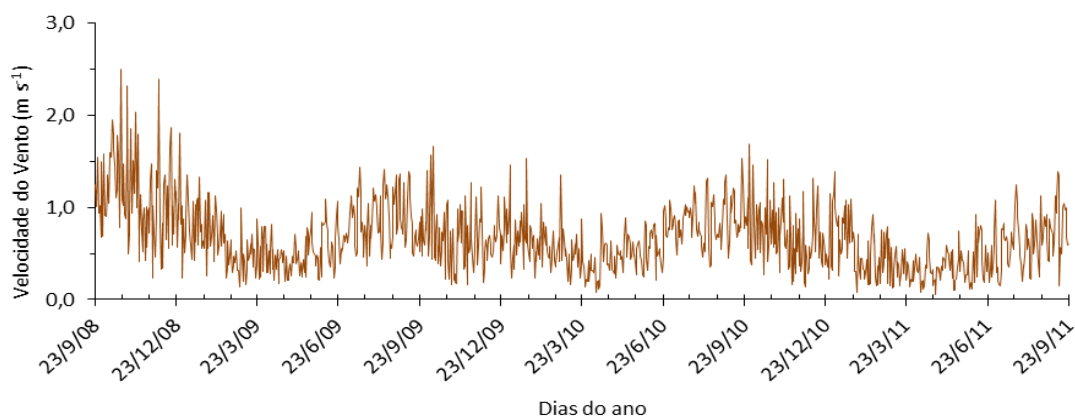


Figura 10 – Variação da velocidade do vento média diária medida no período experimental.

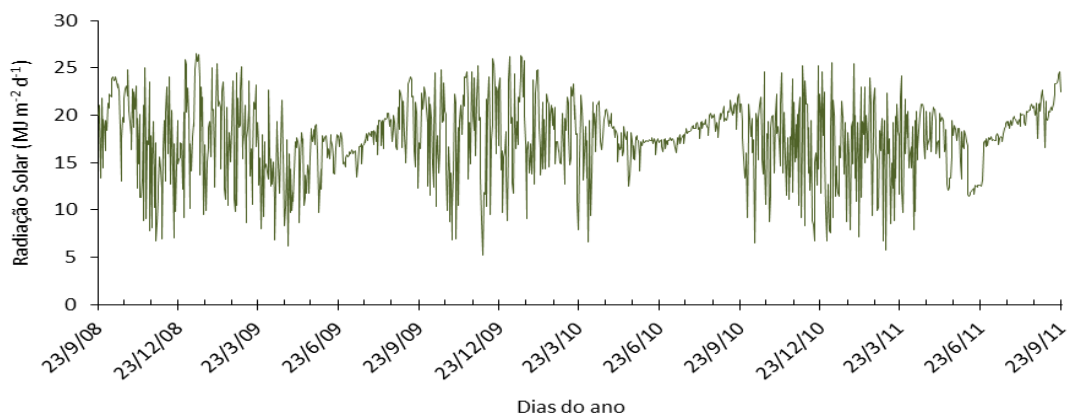


Figura 11 – Variação dos valores de radiação solar diária durante o período experimental.

Observa-se, na Figura 8, que durante o período experimental o valor médio da temperatura máxima e da mínima foram elevados, correspondendo a 32,8°C e 20,5°C respectivamente. A temperatura máxima no período foi 39,5°C e a mínima 12,3°C. Entre março e setembro, ocorreu um leve aumento da temperatura máxima e uma diminuição da temperatura mínima. Nos períodos em que a temperatura máxima apresentou maior variação diária, a temperatura mínima apresentou os maiores valores, ocorrendo pouca variação diária.

Na região sul do estado do Tocantins, a estação de chuva, compreendida entre novembro e maio, e de seca, entre junho e outubro, são bem distintas. Na Figura 9, pode-se observar que a umidade relativa do ar nos períodos chuvosos foi elevada, com valores percentuais médios de 81,8; 78,3; 81,4; para os primeiro, segundo e terceiro anos analisados, respectivamente. Durante os meses de junho a outubro, período seco, foi observada média percentual diária da umidade relativa 67,9; 57,4; 59,7; para os 3 anos analisados, respectivamente.

Na Figura 10, observa-se maior variabilidade e maiores valores da velocidade do vento no período entre junho e março dos 3 anos analisados. A velocidade média do vento, durante o período experimental, foi de $0,66 \text{ m s}^{-1}$.

Na Figura 11, visualisa-se que a radiação solar apresentou baixa variação diária no período de maio a agosto e apresentou elevada variação no período entre setembro e abril. O valor médio diário durante o período experimental foi de $17,52 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. A máxima e a mínima radiação solar para o período analisado foi de $26,53$ e $5,24 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, respectivamente.

Medeiros (2002) menciona que os principais elementos meteorológicos que proporcionam energia para evaporação e remoção de vapor de água, a partir de superfícies evaporantes, são a radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento, além do déficit de pressão de vapor. A radiação solar é o elemento de maior importância na demanda evaporativa da atmosfera.

Na Tabela 1, é apresentado o resumo da análise de variância dos dados de ET_1 para as diferentes alturas da água dentro do evaporatório. É possível verificar que a evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro foi significativamente afetada pelo aumento da altura da água dentro do evaporatório.

Tabela 1 – Resumo da análise de variância dos dados de ET_1 para as alturas da água dentro do evaporatório

Fonte de variação	GL	QM
Alturas da água	6	11,62**
Resíduo	14	0,06
Coefficiente de variação (%)		5,92

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste F.

Nas Tabelas 2, 3, 4 e 5, são apresentados os valores de K_I e os valores médios da evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro (ET_I) para cada tratamento, bem como a média da evapotranspiração de referência (ET_0) para a estação analisada.

Tabela 2 – Altura da água no evaporatório, K_I e valor médio da ET_I para cada altura da água, e valor médio da ET_0 , para a estação da primavera

Tratamento	Altura da água (cm)	K_I	ET_I (mm d ⁻¹)	ET_0 (mm d ⁻¹)
A1	1	0,45	1,56	
A2	2	0,70	2,99	
A3	3	0,92	3,94	
A4	4	1,09	4,64	4,31
A5	5	1,29	5,64	
A6	6	1,62	6,95	
A7	7	1,79	7,72	

Tabela 3 – Altura da água no evaporatório, K_I e valor médio da ET_I para cada altura da água, e valor médio da ET_0 , para a estação do verão

Tratamento	Altura da água (cm)	K_I	ET_I (mm d ⁻¹)	ET_0 (mm d ⁻¹)
A1	1	0,39	1,56	
A2	2	0,60	2,48	
A3	3	0,80	3,29	
A4	4	0,99	4,05	3,97
A5	5	1,20	4,91	
A6	6	1,45	5,95	
A7	7	1,63	6,72	

Tabela 4 – Altura da água no evaporatório, K_I e valor médio da ET_I para cada altura da água, e valor médio da ET_0 , para a estação do outono

Tratamento	Altura da água (cm)	K_I	ET_I (mm d ⁻¹)	ET_0 (mm d ⁻¹)
A1	1	0,53	1,80	
A2	2	0,67	2,30	
A3	3	0,85	2,91	
A4	4	1,07	3,67	3,40
A5	5	1,34	4,57	
A6	6	1,69	5,77	
A7	7	1,89	6,46	

Tabela 5 – Altura da água no evaporatório, K_I e valor médio da ET_I para cada altura da água, e valor médio da ET_0 , para a estação do inverno

Tratamento	Altura da água (cm)	K_I	ET_I (mm d ⁻¹)	ET_0 (mm d ⁻¹)
A1	1	0,80	3,19	
A2	2	0,90	3,73	
A3	3	1,10	4,58	
A4	4	1,42	5,88	4,14
A5	5	1,72	7,16	
A6	6	2,09	8,68	
A7	7	2,28	9,53	

Na Tabela 2, é possível observar que, na primavera, a melhor condição em que o Irrigâmetro deve encontrar-se para estimar a evapotranspiração de referência é aquela em que a altura da água no evaporatório está entre 3 e 4 cm. O valor médio da ET_0 determinado pelo método-padrão foi igual a 4,31 mm d⁻¹, valor esse compreendido entre a ET_I média obtida quando a altura da água dentro do evaporatório foi de 3 cm (3,94 mm dia⁻¹) e 4 cm (4,64 mm dia⁻¹). Pode-se verificar ainda que o Irrigâmetro subestimou os valores de ET_0 (K_I menor que 1) nos tratamentos A1, A2 e A3, e superestimou (K_I maior que 1) nos tratamentos A4, A5, A6 e A7.

Na Tabela 3, observa-se que, no verão, a melhor condição para o Irrigâmetro estimar a evapotranspiração de referência é quando a altura da água no evaporatório está próxima a 4 cm. O valor de ET_0 médio, determinado pelo método padrão, foi de 3,97 mm d⁻¹, valor muito próximo da ET_I média do tratamento A4 (4,05 mm d⁻¹).

Constata-se, na Tabela 4, referente à estação do Outono, que a altura que melhor estima os valores de ET_0 está compreendida entre 3 e 4 cm, assim como na primavera. O Irrigâmetro, assim como na primavera, subestimou o valor de ET_0 para as alturas 1, 2 e 3 cm e superestimou para as demais.

Durante o inverno (Tabela 5), pode-se observar que a altura da água no evaporatório que melhor representa a situação para estimar a evapotranspiração de referência está compreendida entre 2 e 3 cm. Observa-se que o valor médio da ET_0 (4,14 mm d⁻¹) está entre os valores médios de ET_I estimadas para as alturas de 2 e 3 cm. Apenas os tratamentos A1 e A2 subestimaram a ET_0 , enquanto que os demais superestimaram.

Baptestini (2010), em estudo realizado na região do Sul do Estado do Tocantins, observou que o Irrigâmetro operando com alturas da água nos evaporatórios de 2 e 3 cm subestimou os valores de ET_0 na primavera, enquanto que, operando com as alturas 4, 5, 6 e 7 cm, os valores da ET_0 foram superestimados. No verão, os valores de ET_0 foram subestimados nos tratamentos em que as alturas da água eram de 2, 3 e 4 cm. Para as alturas de 5 e 6 cm, os valores da evapotranspiração de referência foram superestimados na estação do outono. Na estação do inverno, apenas quando o Irrigâmetro operou com altura de 2 cm dentro do evaporatório, os valores de ET_0 foram subestimados.

Segundo Caixeta (2009), na região de Viçosa-MG, em estudo realizado entre março e setembro de 2008, o Irrigâmetro operando com água na altura de 2 cm superestimou a evapotranspiração para os valores menores que $2,2 \text{ mm d}^{-1}$ e subestimou para valores maiores. Em relação às alturas 3, 4, 5 e 6 cm, o Irrigâmetro superestimou a ET_0 obtida pelo método Penman-Monteith.

De acordo com estudos realizados por Oliveira (2009), durante os meses de agosto de 2008 a junho de 2009, para a região do Alto Paranaíba-MG, o Irrigâmetro subestimou a evapotranspiração de referência, operando com alturas da água nos evaporatórios em 1, 2, 3 e 4 cm, e superestimou nas alturas 5 e 6 cm. A altura da água no evaporatório em 4 cm foi a que melhor ajustou-se para a estimativa da evapotranspiração de referência, considerando o método de Penman-Monteith - FAO 56 como padrão.

Oliveira (2009) mostra que valores de K_I subestimados e superestimados podem ser utilizados para estimar diretamente a evapotranspiração da cultura utilizando o Irrigâmetro, com correspondência para valores de K_c menores e maiores que a unidade, respectivamente.

Na Figura 12, estão apresentados os valores de K_I em função das alturas da água no evaporatório do aparelho, para as quatro estações analisadas.

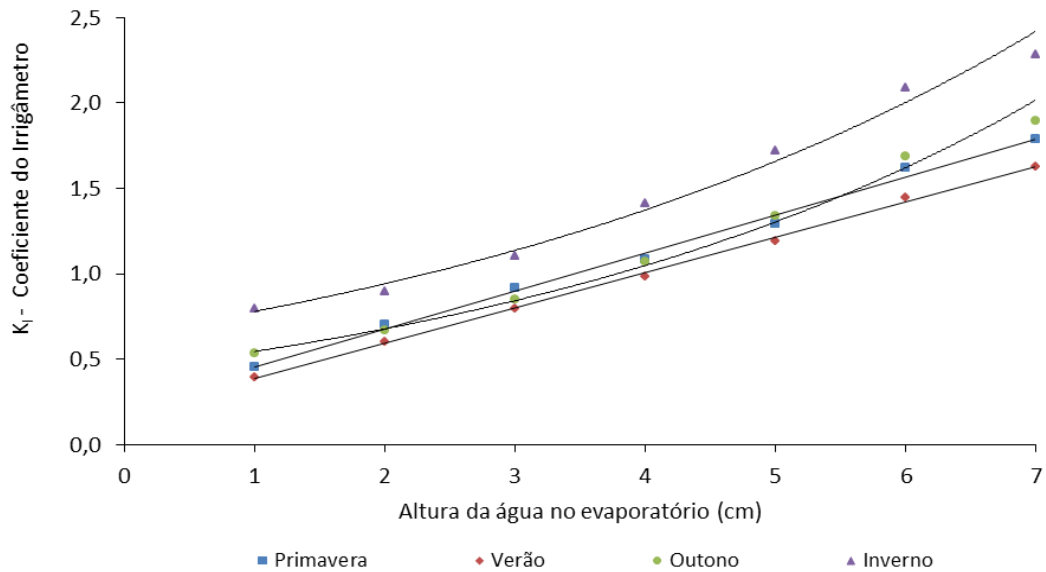


Figura 12 – Coeficiente do Irrigâmetro em função das alturas da água dentro do evaporatório, para todas as estações do ano.

Na Figura 12, é possível observar-se que o coeficiente do Irrigâmetro aumenta, exponencialmente, com a elevação da altura da água dentro do evaporatório nas estações do inverno e no outono. Já nas estações da primavera e verão, o comportamento do coeficiente é semelhante, aumentando linearmente à medida que a altura da água aumentou. Baptestini (2010), em estudo realizado na região Sul do Estado do Tocantins, em apenas um ano, verificou que o coeficiente do Irrigâmetro aumentou linearmente com a elevação da altura da água dentro do evaporatório para todas as estações. Tagliaferre et al. (2012) verificou que esse aumento foi exponencial, para todas as estações do ano, em estudo realizado na região de Vitória da Conquista-BA.

Oliveira (2009), em estudo realizado na região do Alto Paranaíba-MG, nos meses de agosto a maio, encontrou variação exponencial do coeficiente do Irrigâmetro à medida que a altura da água dentro do evaporatório aumentou. Caixeta (2009), por sua vez, encontrou variação quadrática do coeficiente do Irrigâmetro para as condições climáticas da Zona da Mata Mineira no período de março a outubro.

Observa-se, na Figura 12, que a estação do inverno apresentou os maiores coeficientes do Irrigâmetro. Tal fato deve-se aos elevados valores de temperatura máxima e às baixas umidades relativas do ar durante essa estação, ocasionando

elevados valores de ET_0 no período. Os menores valores do coeficiente foram encontrados no verão, o que pode ser explicado pelo menor valor médio da temperatura máxima e a maior umidade relativa média dos anos.

Para a altura de 1 cm de água dentro do evaporatório do aparelho, os coeficientes do Irrigâmetro apresentaram os menores valores de todo o período experimental e pequena variação dentre as estações analisadas. À medida que a altura da água diminuiu, permanecendo mais distante da borda do evaporatório, ocorreu diminuição da área exposta à atmosfera e, conseqüentemente, maior sombreamento da água no seu interior, provavelmente diminuindo o efeito da radiação e da velocidade do vento. Resultados como esses foram encontrados por Tagliaferre (2006), em estudos envolvendo os minievaporímetros UFV-1 e UFV-2 operando com Irrigâmetro modificado.

Nos tratamentos em que a altura da água dentro do evaporatório foi maior, ocorreu maior defasagem entre os valores dos coeficientes, haja vista que sofreram maior interferência dos elementos meteorológicos inerentes a cada estação do ano. Como a altura da água era maior nesses tratamentos, houve ampliação da superfície da água exposta à atmosfera e, conseqüentemente, maior interceptação da radiação solar, elemento que exerce grande influência no processo da evaporação (CHANG, 1971), ao mesmo tempo que favorece a ação do vento, atuando na remoção do ar saturado sobre a superfície evaporante.

Na Tabela 6, são apresentadas as equações de regressão que devem ser utilizadas para determinação das alturas da água dentro do evaporatório do Irrigâmetro e seus coeficientes de determinação, para cada estação do ano.

Tabela 6 – Equações de regressão ajustadas para determinação das alturas da água dentro do evaporatório do Irrigâmetro para cada estação do ano

Estação do ano	Equação	Coefficiente de determinação
Primavera	$\hat{y} = 0,2222X + 0,2348$	$r^2 = 0,99$
Verão	$\hat{y} = 0,2070X + 0,1803$	$r^2 = 0,99$
Outono	$\hat{y} = 0,4382e^{0,2182X}$	$r^2 = 0,99$
Inverno	$\hat{y} = 0,6455e^{0,1889X}$	$r^2 = 0,99$

Na tabela anterior, observa-se que o aumento de 1 cm na altura da água dentro do evaporatório do Irrigâmetro causou elevação de 22,22% no valor do K_I durante a primavera; 20,7% no verão; 21,82% no outono; e 18,89% no inverno.

Devido ao bom ajuste, a equação obtida para cada estação pode ser utilizada para determinar as alturas da água dentro do evaporatório do Irrigâmetro, de modo que este estime diretamente o valor da evapotranspiração de referência ($K_I = 1$) ou da cultura para qualquer estágio de desenvolvimento, fazendo-se, nesse caso, K_I igual ao valor de K_c . As alturas da água recomendadas para cada estação são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Alturas da água dentro do evaporatório do Irrigâmetro recomendadas para estimar a evapotranspiração de referência em cada estação do ano

Estações do ano	Altura da água no evaporatório (cm)	ET_0
Primavera	3,4	4,31
Verão	4,0	3,97
Outono	3,8	3,40
Inverno	2,3	4,14

Na Tabela 7, pode-se observar que a altura da água recomendada no evaporatório do aparelho tende a ser menor para estações que apresentam maiores valores de ET_0 . A menor exposição da lâmina da água à atmosfera torna a mesma menos susceptível à influência dos elementos meteorológicos que governam o processo de evapotranspiração.

O baixo valor da altura da água recomendada no evaporatório para o inverno pode ser explicado por ocorrer, na referida estação, os maiores valores de temperatura máxima, combinados com os menores valores de umidade relativa e os maiores valores de radiação solar no período analisado. Em contrapartida, o maior valor, recomendado para o verão, pode ser resultado da elevada umidade relativa do ar nessa estação, combinada com os maiores valores de nebulosidade no período, consequência da ocorrência de constantes precipitações nessa época do ano.

Oliveira (2009) encontrou comportamento distinto para o verão e inverno nas condições climáticas da região do Alto Paranaíba-MG. A heterogeneidade de magnitude entre os elementos meteorológicos das duas regiões pode ser apontada como fator principal de tal alteração.

De acordo com estudos realizados por Oliveira (2009), durante os meses de agosto de 2008 à junho de 2009, para a região do Alto Paranaíba-MG, a análise dos dados para todo o período experimental mostrou que, para estimar a evapotranspiração de referência com o uso do Irrigâmetro, deve-se operar o aparelho com altura da água no evaporatório igual a 4,1 cm.

Baptestini (2010), em estudo realizado na região do Sul do Estado do Tocantins, observou que o Irrigâmetro deve ser operado com alturas da água no evaporatório de 3,2, 4,2, 4,8, e 3,1 cm para estimar a ET_0 nas estações da primavera, verão, outono e inverno, respectivamente.

Paula (2009), em trabalho semelhante na região norte de Minas Gerais, conduzido entre junho e agosto de 2008, concluiu que para estimar a evapotranspiração de referência com o uso do Irrigâmetro, deve-se operar o aparelho com altura da água no evaporatório igual a 3,9 cm. Segundo Caixeta (2009), na região de Viçosa-MG, em estudo realizado entre março e outubro de 2008, a altura de 2,4 cm deve ser utilizada para estimar a evapotranspiração de referência com o uso do Irrigâmetro. Segundo Tagliaferre et al. (2012), o aparelho deve ser operado com a altura da água no evaporatório igual a 5,2 cm para melhor estimativa da ET_0 na região de Vitória da Conquista-BA.

Para identificar quais elementos meteorológicos (temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa, velocidade do vento ou radiação) são mais relevantes na evapotranspiração estimada pelo aparelho, com avaliação dos efeitos diretos e indiretos desses elementos sobre a ET_1 – correspondente a cada altura da água dentro do evaporatório - foi realizada a análise de trilha, para cada estação de cada ano analisado. Os resultados são encontrados nas Tabelas 8 a 19.

O algarismo romano indica se a estação analisada é do primeiro (I), segundo (II) ou terceiro (III) ano analisado neste trabalho.

Tabela 8 - Estimativa dos efeitos diretos e indiretos e correlação total entre a evapotranspiração obtida no Irrigâmetro e os elementos temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa, velocidade do vento e radiação para a primavera I

Temp. máxima	Tratamentos					
	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Dir. sobre ET _I	0,1393	0,2003	0,4158	0,4022	0,4305	0,3574
Ind. via T _{mín}	0,0212	0,0117	0,0240	0,0175	0,0192	0,0040
Ind. via UR	0,2461	0,4444	0,2718	0,2046	0,2211	0,2847
Ind. via Vv	0,0102	0,0118	-0,0005	0,0183	0,0327	0,0397
Ind. via Rad	0,3097	0,1596	0,1260	0,1571	0,1302	0,1358
Total (cor.Pearson)	0,7265**	0,8279**	0,8372**	0,7997**	0,8339**	0,8216**
Temp. mínima						
Dir. sobre ET _I	-0,2114	-0,1170	-0,2399	-0,1749	-0,1917	-0,0397
Ind. via T _{máx}	-0,0140	-0,0201	-0,0417	-0,0403	-0,0432	-0,0358
Ind. via UR	-0,0599	-0,1081	-0,0661	-0,0498	-0,0538	-0,0693
Ind. via Vv	-0,0061	-0,0071	0,0003	-0,0110	-0,0197	-0,0239
Ind. via Rad	-0,0168	-0,0087	-0,0068	-0,0085	-0,0071	-0,0074
Total (cor.Pearson)	-0,3082*	-0,2610*	-0,3543**	-0,2845*	-0,3154*	-0,1761ns
Umidade relativa						
Dir. sobre ET _I	-0,2754	-0,4972	-0,3041	-0,2289	-0,2474	-0,3186
Ind. via T _{máx}	-0,1245	-0,1790	-0,3717	-0,3595	-0,3848	-0,3194
Ind. via T _{mín}	-0,0460	-0,0255	-0,0522	-0,0380	-0,0417	-0,0086
Ind. via Vv	-0,0089	-0,0103	0,0004	-0,0160	-0,0285	-0,0346
Ind. via Rad	-0,2880	-0,1485	-0,1172	-0,1461	-0,1211	-0,1263
Total (cor.Pearson)	-0,7428**	-0,8605**	-0,8447**	-0,7885**	-0,8236**	-0,8075**
Vel. do vento						
Dir. sobre ET _I	0,0311	0,0361	-0,0015	0,0561	0,1000	0,1214
Ind. via T _{máx}	0,0456	0,0655	0,1361	0,1316	0,1409	0,1170
Ind. via T _{mín}	0,0416	0,0230	0,0472	0,0344	0,0377	0,0078
Ind. via UR	0,0785	0,1418	0,0867	0,0653	0,0705	0,0908
Ind. via Rad	0,0903	0,0465	0,0367	0,0458	0,0380	0,0396
Total (cor.Pearson)	0,2871*	0,3130*	0,3052*	0,3332**	0,3872**	0,3766**
Radiação						
Dir. sobre ET _I	0,4013	0,2069	0,1633	0,2036	0,1688	0,1759
Ind. via T _{máx}	0,1075	0,1545	0,3209	0,3104	0,3322	0,2758
Ind. via T _{mín}	0,0088	0,0049	0,0100	0,0073	0,0080	0,0017
Ind. via UR	0,1977	0,3569	0,2183	0,1643	0,1776	0,2286
Ind. via Vv	0,0070	0,0081	-0,0003	0,0113	0,0225	0,0273
Total (cor.Pearson)	0,7223**	0,7313**	0,7122**	0,6981**	0,7091**	0,7093**
Coefficiente de Determinação						
Efeito variável residual	0,5746	0,4617	0,4406	0,5360	0,4672	0,5212

ns não significativo a 5% pelo teste t; * significativo a 5% pelo teste t; ** significativo a 1% pelo teste t

Tabela 9 - Estimativa dos efeitos diretos e indiretos e correlação total entre a evapotranspiração obtida no Irrigâmetro e os elementos temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa, velocidade do vento e radiação para a primavera II

Temp. máxima	Tratamentos					
	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Dir. sobre ET _I	0,0780	-0,1511	-0,3178	0,1461	0,0974	-0,0430
Ind. via T _{mín}	-0,0324	-0,0218	0,0196	-0,0014	0,0421	0,0552
Ind. via UR	0,0161	0,2549	0,1888	0,1269	0,4556	0,3535
Ind. via Vv	-0,0016	0,0149	0,0034	-0,0160	-0,0258	-0,0198
Ind. via Rad	-0,1341	-0,1461	0,1661	-0,1499	-0,2471	-0,1792
Total (cor.Pearson)	-0,0739ns	-0,0492ns	0,0600ns	0,1061ns	0,3221ns	0,1668ns
Temp. mínima						
Dir. sobre ET _I	-0,1269	-0,0856	0,0767	-0,0053	0,1649	0,2165
Ind. via T _{máx}	0,0199	-0,0385	-0,0811	0,0373	0,0248	-0,0110
Ind. via UR	0,0011	0,0176	0,0131	0,0088	0,0315	0,0245
Ind. via Vv	-0,0016	0,0147	0,0034	-0,0155	-0,0255	-0,0196
Ind. via Rad	0,0092	0,0100	-0,0114	0,0103	0,0169	0,0123
Total (cor.Pearson)	-0,0983ns	-0,0817ns	0,0007ns	0,0355ns	0,2126ns	0,2227ns
Umidade relativa						
Dir. sobre ET _I	-0,0195	-0,3084	-0,2284	-0,1536	-0,5513	-0,4278
Ind. via T _{máx}	-0,0644	0,1249	0,2627	-0,1207	-0,0805	0,0355
Ind. via T _{mín}	0,0073	0,0049	-0,0044	0,0003	-0,0094	-0,0123
Ind. via Vv	-0,0029	0,0270	0,0062	-0,0284	-0,0467	-0,0358
Ind. via Rad	0,1406	0,1532	-0,1742	0,1572	0,2592	0,1880
Total (cor.Pearson)	0,0611ns	0,0015ns	-0,1381ns	-0,1452ns	-0,4287*	-0,2526ns
Vel. do vento						
Dir. sobre ET _I	0,0153	-0,1436	-0,0332	0,1512	0,2486	0,1907
Ind. via T _{máx}	-0,0081	0,0157	0,0330	-0,0152	-0,0101	0,0045
Ind. via T _{mín}	0,0130	0,0088	-0,0079	0,0005	-0,0169	-0,0222
Ind. via UR	0,0037	0,0580	0,0430	0,0289	0,1036	0,0804
Ind. via Rad	-0,0136	-0,0148	0,0168	-0,0152	-0,0250	-0,0182
Total (cor.Pearson)	0,0103ns	-0,0760ns	0,0516ns	0,1503ns	0,3001ns	0,2352ns
Radiação						
Dir. sobre ET _I	-0,1637	-0,1784	0,2029	-0,1830	-0,3018	-0,2189
Ind. via T _{máx}	0,0638	-0,1237	-0,2602	0,1196	0,0797	-0,0352
Ind. via T _{mín}	0,0071	0,0048	-0,0043	0,0003	-0,0092	-0,0121
Ind. via UR	0,0167	0,2649	0,1962	0,1319	0,4734	0,3674
Ind. via Vv	0,0013	-0,0120	-0,0028	0,0126	0,0206	0,0158
Total (cor.Pearson)	-0,0748ns	-0,0444ns	0,1318ns	0,0813ns	0,2628ns	0,1171ns
Coefficiente de Determinação						
Efeito variável Residual	0,0179	0,0328	0,0375	0,0454	0,2981	0,1683
Efeito variável Residual	0,9910	0,9835	0,9811	0,9770	0,8378	0,9120

ns não significativo a 5% pelo teste t; * significativo a 5% pelo teste t; ** significativo a 1% pelo teste t

Tabela 10 - Estimativa dos efeitos diretos e indiretos e correlação total entre a evapotranspiração obtida no Irrigâmetro e os elementos temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa, velocidade do vento e radiação para a primavera III

Temp. máxima	Tratamentos						
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Dir. sobre ET _I	-0,6747	-0,5621	-0,5290	-0,4238	-0,9438	-0,7757	-1,0961
Ind. via T _{mín}	0,0379	0,0365	0,0119	0,0572	0,1728	0,1948	0,1836
Ind. via UR	0,5055	0,6528	0,9250	0,6507	0,9742	0,9199	0,6511
Ind. via Vv	0,0536	0,0382	0,0247	0,0117	0,0129	-0,0208	0,0380
Ind. via Rad	0,4690	0,1090	-0,0658	0,1805	0,0710	-0,1122	0,3882
Total (cor.Pearson)	0,3912*	0,2744ns	0,3668*	0,4763**	0,2872ns	0,2059ns	0,1648ns
Temp. mínima							
Dir. sobre ET _I	0,1072	0,1033	0,0337	0,1620	0,4894	0,5517	0,5202
Ind. via T _{máx}	-0,2382	-0,1984	-0,1868	-0,1496	-0,3332	-0,2738	-0,3869
Ind. via UR	0,1398	0,1806	0,2558	0,1800	0,2695	0,2544	0,1801
Ind. via Vv	0,0315	0,0224	0,0145	0,0069	0,0076	-0,0123	0,0223
Ind. via Rad	0,0850	0,0198	-0,0119	0,0327	0,0129	-0,0203	0,0704
Total (cor.Pearson)	0,1254ns	0,1277ns	0,1054ns	0,2320ns	0,4462*	0,4997**	0,4060*
Umidade relativa							
Dir. sobre ET _I	-0,5750	-0,7426	-1,0522	-0,7402	-1,1082	-1,0464	-0,7407
Ind. via T _{máx}	0,5931	0,4941	0,4651	0,3725	0,8297	0,6819	0,9636
Ind. via T _{mín}	-0,0261	-0,0251	-0,0082	-0,0394	-0,1190	-0,1341	-0,1265
Ind. via Vv	-0,0374	-0,0266	-0,0172	-0,0082	-0,0090	0,0145	-0,0265
Ind. via Rad	-0,4790	-0,1113	0,0672	-0,1843	-0,0725	0,1146	-0,3964
Total (cor.Pearson)	-0,5243**	-0,4116*	-0,5454**	-0,5996**	-0,4791*	-0,3695*	-0,3265*
Vel. do vento							
Dir. sobre ET _I	-0,1828	-0,1302	-0,0844	-0,0399	-0,0441	0,0711	-0,1295
Ind. via T _{máx}	0,1978	0,1647	0,1551	0,1242	0,2766	0,2274	0,3213
Ind. via T _{mín}	-0,0185	-0,0178	-0,0058	-0,0279	-0,0843	-0,0950	-0,0896
Ind. via UR	-0,1175	-0,1518	-0,2151	-0,1513	-0,2265	-0,2139	-0,1514
Ind. via Rad	-0,0643	-0,0149	0,0090	-0,0247	-0,0097	0,0154	-0,0532
Total (cor.Pearson)	-0,1853ns	-0,1500ns	-0,1412ns	-0,1196ns	-0,0880ns	-0,0050ns	-0,1024ns
Radiação							
Dir. sobre ET _I	0,5594	0,1300	-0,0785	0,2152	0,0847	-0,1339	0,4630
Ind. via T _{máx}	-0,5657	-0,4713	-0,4436	-0,3553	-0,7914	-0,6504	-0,9191
Ind. via T _{mín}	0,0163	0,0157	0,0051	0,0246	0,0744	0,0839	0,0791
Ind. via UR	0,4923	0,6359	0,9010	0,6339	0,9490	0,8961	0,6343
Ind. via Vv	0,0210	0,0150	0,0096	0,0046	0,0051	-0,0082	0,0149
Total (cor.Pearson)	0,5233**	0,3253*	0,3937*	0,5230**	0,3218*	0,1875ns	0,2721ns
Coeficiente de Determinação	0,3776	0,2264	0,3644	0,3969	0,5094	0,4779	0,4116
Efeito variável residual	0,7889	0,8795	0,7972	0,7766	0,7004	0,7226	0,7671

ns não significativo a 5% pelo teste t; * significativo a 5% pelo teste t; ** significativo a 1% pelo teste t

Tabela 11 - Estimativa dos efeitos diretos e indiretos e correlação total entre a evapotranspiração obtida no Irrigâmetro e os elementos temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa, velocidade do vento e radiação para o verão I

Temp. máxima	Tratamentos					
	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Dir. sobre ET _I	-0,1149	-0,2705	0,1183	-0,0208	-0,0054	0,0943
Ind. via T _{mín}	-0,0005	0,0048	-0,0209	0,0109	0,0391	0,0374
Ind. via UR	-0,2878	0,3270	-0,0692	-0,0300	-0,0351	-0,1101
Ind. via Vv	-0,0018	-0,0261	-0,0072	-0,0010	0,0134	0,0125
Ind. via Rad	0,7118	0,2321	0,5000	0,5790	0,5982	0,5318
Total (cor.Pearson)	0,2767ns	0,2674ns	0,5209**	0,5381**	0,6103**	0,5659**
Temp. mínima						
Dir. sobre ET _I	-0,0013	0,0141	-0,0613	0,0318	0,1144	0,1093
Ind. via T _{máx}	-0,0495	-0,0925	0,0404	-0,0071	-0,0018	0,0322
Ind. via UR	-0,0299	0,0340	-0,0072	-0,0031	-0,0036	-0,0114
Ind. via Vv	0,0040	0,0569	0,0158	0,0021	-0,0292	-0,0273
Ind. via Rad	0,1567	0,0511	0,1101	0,1275	0,1317	0,1171
Total (cor.Pearson)	0,0800ns	0,0636ns	0,0978ns	0,1511ns	0,2115ns	0,2200ns
Umidade relativa						
Dir. sobre ET _I	0,3528	-0,4009	0,0849	0,0368	0,0430	0,1349
Ind. via T _{máx}	0,1182	0,2207	-0,0965	0,0170	0,0044	-0,0769
Ind. via T _{mín}	0,0001	-0,0012	0,0052	-0,0027	-0,0097	-0,0093
Ind. via Vv	0,0048	0,0674	0,0187	0,0025	-0,0346	-0,0323
Ind. via Rad	-0,7296	-0,2379	-0,5126	-0,5935	-0,6132	-0,5452
Total (cor.Pearson)	-0,2537ns	-0,3518*	-0,5003**	-0,5399**	-0,6101**	-0,5287**
Vel. do vento						
Dir. sobre ET _I	-0,0133	-0,1871	-0,0518	-0,0069	0,0959	0,0897
Ind. via T _{máx}	-0,0202	-0,0377	0,0165	-0,0029	-0,0007	0,0131
Ind. via T _{mín}	0,0004	-0,0043	0,0186	-0,0097	-0,0348	-0,0333
Ind. via UR	-0,1272	0,1445	-0,0306	-0,0133	-0,0155	-0,0486
Ind. via Rad	0,1964	0,0640	0,1380	0,1598	0,1651	0,1468
Total (cor.Pearson)	0,0362ns	-0,0205ns	0,0907ns	0,1271ns	0,2099ns	0,1677ns
Radiação						
Dir. sobre ET _I	0,8484	0,2766	0,5960	0,6902	0,7131	0,6339
Ind. via T _{máx}	-0,1215	-0,2269	0,0992	-0,0174	-0,0045	0,0791
Ind. via T _{mín}	-0,0002	0,0026	-0,0113	0,0059	0,0211	0,0202
Ind. via UR	-0,3034	0,3447	-0,0730	-0,0317	-0,0370	-0,1160
Ind. via Vv	-0,0031	-0,0433	-0,0120	-0,0016	0,0222	0,0208
Total (cor.Pearson)	0,4201**	0,3537*	0,5989**	0,6453**	0,7149**	0,6380**
Coeficiente de Determinação	0,2263	0,1713	0,3654	0,4183	0,5246	0,4255
Efeito variável residual	0,8796	0,9103	0,7966	0,7627	0,6895	0,7580

ns não significativo a 5% pelo teste t; * significativo a 5% pelo teste t; ** significativo a 1% pelo teste t

Tabela 12 - Estimativa dos efeitos diretos e indiretos e correlação total entre a evapotranspiração obtida no Irrigâmetro e os elementos temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa, velocidade do vento e radiação para o verão II

Temp. máxima	Tratamentos					
	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Dir. sobre ET _I	0,0496	0,1114	0,2731	-0,0050	0,2191	0,1179
Ind. via T _{mín}	-0,0052	-0,0104	-0,0084	-0,0062	-0,0097	-0,0093
Ind. via UR	0,5032	0,3602	0,4337	0,6686	0,5641	0,5000
Ind. via Vv	0,0239	-0,0311	-0,0080	-0,0011	-0,0357	-0,0022
Ind. via Rad	-0,2686	-0,1302	-0,2347	-0,2793	-0,3460	-0,2546
Total (cor.Pearson)	0,3028*	0,2999*	0,4557**	0,3770**	0,3918**	0,3518*
Temp. mínima						
Dir. sobre ET _I	-0,1550	-0,3078	-0,2479	-0,1824	-0,2891	-0,2761
Ind. via T _{máx}	0,0017	0,0038	0,0092	-0,0002	0,0074	0,0040
Ind. via UR	-0,0589	-0,0421	-0,0507	-0,0782	-0,0660	-0,0585
Ind. via Vv	-0,0081	0,0106	0,0028	0,0004	0,0121	0,0008
Ind. via Rad	0,0938	0,0455	0,0819	0,0976	0,1208	0,0889
Total (cor.Pearson)	-0,1265ns	-0,2902*	-0,2048ns	-0,1629ns	-0,2148ns	-0,2410ns
Umidade relativa						
Dir. sobre ET _I	-0,7557	-0,5409	-0,6513	-1,0041	-0,8471	-0,7509
Ind. via T _{máx}	-0,0330	-0,0742	-0,1819	0,0034	-0,1459	-0,0785
Ind. via T _{mín}	-0,0121	-0,0240	-0,0193	-0,0142	-0,0225	-0,0215
Ind. via Vv	0,0028	-0,0036	-0,0009	-0,0001	-0,0042	-0,0003
Ind. via Rad	0,3575	0,1733	0,3125	0,3718	0,4606	0,3389
Total (cor.Pearson)	-0,4404**	-0,4694**	-0,5410**	-0,6433**	-0,5591**	0,5123**
Vel. do vento						
Dir. sobre ET _I	-0,0740	0,0962	0,0249	0,0033	0,1105	0,0069
Ind. via T _{máx}	-0,0160	-0,0360	-0,0882	0,0016	-0,0708	-0,0381
Ind. via T _{mín}	-0,0170	-0,0338	-0,0272	-0,0200	-0,0317	-0,0303
Ind. via UR	0,0283	0,0203	0,0245	0,0377	0,0318	0,0282
Ind. via Rad	0,0258	0,0125	0,0225	0,0268	0,0332	0,0244
Total (cor.Pearson)	-0,0528ns	0,0593ns	-0,0435ns	0,0495ns	0,0730ns	-0,0088ns
Radiação						
Dir. sobre ET _I	-0,4178	-0,2025	-0,3651	-0,4344	-0,5382	-0,3960
Ind. via T _{máx}	0,0319	0,0716	0,1756	-0,0032	0,1409	0,0758
Ind. via T _{mín}	0,0348	0,0691	0,0557	0,0410	0,0649	0,0620
Ind. via UR	0,6467	0,4629	0,5574	0,8593	0,7249	0,6426
Ind. via Vv	0,0046	-0,0059	-0,0015	-0,0002	-0,0068	-0,0004
Total (cor.Pearson)	0,3002*	0,3952**	0,4220**	0,4624**	0,3858**	0,3384**
Coefficiente de Determinação	0,2460	0,3023	0,3724	0,4730	0,4220	0,3405
Efeito variável Residual	0,8683	0,8353	0,7922	0,7259	0,7603	0,8121

ns não significativo a 5% pelo teste t; * significativo a 5% pelo teste t; ** significativo a 1% pelo teste t

Tabela 13 - Estimativa dos efeitos diretos e indiretos e correlação total entre a evapotranspiração obtida no Irrigâmetro e os elementos temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa, velocidade do vento e radiação para o verão III

Temp. máxima	Tratamentos						
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Dir. sobre ET _I	-0,1539	-0,1298	0,0533	0,4366	0,3578	0,1893	0,3894
Ind. via T _{mín}	-0,0233	-0,0287	-0,0110	-0,0175	-0,0312	-0,0107	-0,0189
Ind. via UR	0,0696	-0,2017	-0,1074	-0,3574	-0,5200	-0,4925	-0,5712
Ind. via Vv	-0,0082	-0,0273	0,0193	-0,0133	-0,0162	-0,0499	-0,0320
Ind. via Rad	0,0289	0,1086	-0,3189	-0,3789	0,0078	-0,0248	-0,1241
Total (cor.Pearson)	-0,0868ns	-0,2788ns	-0,3646ns	-0,3304ns	-0,2019ns	-0,3884ns	-0,3568ns
Temp. mínima							
Dir. sobre ET _I	0,5230	0,6437	0,2458	0,3928	0,7006	0,2402	0,4238
Ind. via T _{máx}	0,0069	0,0058	-0,0024	-0,0195	-0,0159	-0,0084	-0,0173
Ind. via UR	0,0363	-0,1051	-0,0560	-0,1863	-0,2711	-0,2567	-0,2978
Ind. via Vv	-0,0003	-0,0010	0,0007	-0,0005	-0,0006	-0,0017	-0,0011
Ind. via Rad	-0,0032	-0,0119	0,0350	0,0416	-0,0009	0,0027	0,0136
Total (cor.Pearson)	0,5626**	0,5314*	0,2232ns	0,2282ns	0,4122*	-0,0240ns	0,1212ns
Umidade relativa							
Dir. sobre ET _I	-0,1017	0,2947	0,1569	0,5223	0,7600	0,7197	0,8347
Ind. via T _{máx}	0,1053	0,0888	-0,0364	-0,2988	-0,2449	-0,1296	-0,2664
Ind. via T _{mín}	-0,1865	-0,2296	-0,0877	-0,1401	-0,2499	-0,0857	-0,1512
Ind. via Vv	0,0073	0,0245	-0,0173	0,0119	0,0146	-0,0447	0,0287
Ind. via Rad	-0,0193	-0,0724	0,2125	0,2525	-0,0052	0,0165	0,0827
Total (cor.Pearson)	-0,1949ns	0,1060ns	0,2280ns	0,3478ns	0,2746ns	0,5656**	0,5285*
Vel. do vento							
Dir. sobre ET _I	0,0295	0,0986	-0,0699	0,0480	0,0587	0,1802	0,1155
Ind. via T _{máx}	0,0426	0,0359	-0,0147	-0,1208	-0,0990	-0,0524	-0,1077
Ind. via T _{mín}	-0,0051	-0,0062	-0,0024	-0,0038	-0,0068	-0,0023	-0,0041
Ind. via UR	-0,0252	0,0731	0,0389	0,1296	0,1886	0,1786	0,2072
Ind. via Rad	-0,0068	-0,0253	0,0744	0,0884	-0,0018	0,0058	0,0290
Total (cor.Pearson)	0,0350ns	0,1760ns	0,0263ns	0,1414ns	0,1398ns	0,3099ns	0,2398ns
Radiação							
Dir. sobre ET _I	0,0336	0,1261	-0,3704	-0,4400	0,0090	-0,0288	-0,1441
Ind. via T _{máx}	-0,1325	-0,1117	0,0459	0,3759	0,3081	0,1630	0,3352
Ind. via T _{mín}	-0,0465	-0,0609	-0,0233	-0,0372	-0,0663	-0,0228	-0,0401
Ind. via UR	0,0584	-0,1691	-0,0901	-0,2997	-0,4361	-0,4130	-0,4790
Ind. via Vv	-0,0059	-0,0198	0,0140	-0,0096	-0,0118	-0,0362	-0,0232
Total (cor.Pearson)	-0,0959ns	-0,2354ns	-0,4237ns	-0,4106ns	-0,1971ns	-0,3376ns	-0,3512ns
Coefficiente de Determinação	0,3252	0,3972	0,2263	0,3145	0,4316	0,3933	0,4319
Efeito variável Residual	0,8215	0,7764	0,8796	0,8279	0,7539	0,7789	0,7537

ns não significativo a 5% pelo teste t; * significativo a 5% pelo teste t; ** significativo a 1% pelo teste t

Tabela 14 - Estimativa dos efeitos diretos e indiretos e correlação total entre a evapotranspiração obtida no Irrigâmetro e os elementos temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa, velocidade do vento e radiação para o outono I

Temp. máxima	Tratamentos					
	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Dir. sobre ET _I	-0,4195	-0,3256	-0,5788	-0,5621	-0,2793	-0,3150
Ind. via T _{mín}	-0,0742	0,0010	-0,0297	-0,0528	-0,0222	-0,0298
Ind. via UR	0,4646	0,0646	0,4498	0,5362	0,4395	0,4637
Ind. via Vv	0,0040	0,0075	0,0066	0,0026	0,0128	0,0118
Ind. via Rad	0,2892	0,5478	0,6068	0,5441	0,4376	0,4920
Total (cor.Pearson)	0,2641*	0,2953**	0,4547**	0,4680**	0,5883**	0,6228**
Temp. mínima						
Dir. sobre ET _I	0,4215	-0,0058	0,1689	0,2999	0,1262	0,1691
Ind. via T _{máx}	0,0738	0,0573	0,1019	0,0989	0,0491	0,0554
Ind. via UR	-0,4510	-0,0627	-0,4366	-0,5205	-0,4266	-0,4501
Ind. via Vv	-0,0065	-0,0120	-0,0107	-0,0041	-0,0207	-0,0191
Ind. via Rad	-0,0564	-0,1069	-0,1184	-0,1062	-0,0854	-0,0960
Total (cor.Pearson)	-0,0186ns	-0,1302ns	-0,2949**	-0,2319*	-0,3573**	-0,3407**
Umidade relativa						
Dir. sobre ET _I	-0,6484	-0,0902	-0,6276	-0,7482	-0,6132	-0,6471
Ind. via T _{máx}	0,3007	0,2333	0,4148	0,4028	0,2001	0,2257
Ind. via T _{mín}	0,2932	-0,0040	0,1175	0,2086	0,0878	0,1177
Ind. via Vv	-0,0077	-0,0142	-0,0126	-0,0049	-0,0243	-0,0225
Ind. via Rad	-0,2396	-0,4538	-0,5027	-0,4508	-0,3625	-0,4076
Total (cor.Pearson)	-0,3017**	-0,3289**	-0,6106**	-0,5924**	-0,7121**	-0,7338**
Vel. do vento						
Dir. sobre ET _I	0,0172	0,0319	0,0283	0,0109	0,0545	0,0503
Ind. via T _{máx}	-0,0983	-0,0763	-0,1356	-0,1317	-0,0654	-0,0738
Ind. via T _{mín}	-0,1599	0,0022	-0,0641	-0,1137	-0,0479	-0,0641
Ind. via UR	0,2897	0,0403	0,2804	0,3343	0,2740	0,2891
Ind. via Rad	0,1176	0,2227	0,2467	0,2212	0,1779	0,2000
Total (cor.Pearson)	0,1663ns	0,2275*	0,3557**	0,3210**	0,3930**	0,4015**
Radiação						
Dir. sobre ET _I	0,3695	0,7000	0,7754	0,6953	0,5591	0,6286
Ind. via T _{máx}	-0,3283	-0,2548	-0,4530	-0,4398	-0,2185	-0,2465
Ind. via T _{mín}	-0,0644	0,0009	-0,0258	-0,0458	-0,0193	-0,0258
Ind. via UR	0,4203	0,0585	0,4069	0,4850	0,3975	0,4195
Ind. via Vv	0,0055	0,0101	0,0090	0,0035	0,0173	0,0160
Total (cor.Pearson)	0,4026**	0,5147**	0,7125**	0,6982**	0,7362**	0,7919**
Coefficiente de Determinação	0,2286	0,3016	0,6327	0,5995	0,6603	0,7390
Efeito variável Residual	0,8783	0,8357	0,6061	0,6329	0,5828	0,5109

ns não significativo a 5% pelo teste t; * significativo a 5% pelo teste t; ** significativo a 1% pelo teste t

Tabela 15 - Estimativa dos efeitos diretos e indiretos e correlação total entre a evapotranspiração obtida no Irrigâmetro e os elementos temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa, velocidade do vento e radiação para o outono II

Temp. máxima	Tratamentos					
	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Dir. sobre ET _I	0,2459	0,3189	0,1519	0,2440	0,2742	0,3544
Ind. via T _{mín}	-0,0186	-0,0323	-0,0510	-0,0521	-0,0473	-0,0577
Ind. via UR	0,1283	0,1440	0,1125	0,1219	0,1361	0,0840
Ind. via Vv	-0,0337	-0,0729	-0,0876	-0,0934	-0,1081	-0,1210
Ind. via Rad	-0,0017	-0,0027	-0,0042	-0,0019	-0,0010	-0,0011
Total (cor.Pearson)	0,3202**	0,3550**	0,1216ns	0,2184*	0,2539*	0,2586*
Temp. mínima						
Dir. sobre ET _I	-0,1412	-0,2451	-0,3874	-0,3956	-0,3593	-0,4383
Ind. via T _{máx}	0,0324	0,0420	0,0200	0,0321	0,0361	0,0467
Ind. via UR	-0,3132	-0,3515	-0,2745	-0,2975	-0,3323	-0,2051
Ind. via Vv	0,0041	0,0089	0,0107	0,0114	0,0132	0,0148
Ind. via Rad	0,0096	0,0156	0,0242	0,0112	0,0059	0,0065
Total (cor.Pearson)	-0,4083**	-0,5302**	-0,6070**	-0,6383**	-0,6363**	-0,5754**
Umidade relativa						
Dir. sobre ET _I	-0,4332	-0,4861	-0,3797	-0,4114	-0,4565	-0,2836
Ind. via T _{máx}	-0,0728	-0,0945	-0,0450	-0,0723	-0,0812	-0,1050
Ind. via T _{mín}	-0,1021	-0,1772	-0,2801	-0,2860	-0,2598	-0,3169
Ind. via Vv	-0,0008	-0,0018	-0,0021	-0,0023	-0,0026	-0,0029
Ind. via Rad	0,0163	0,0263	0,0408	0,0190	0,0100	0,0110
Total (cor.Pearson)	-0,5927**	-0,7333**	-0,6661**	-0,7530**	-0,7932**	-0,6975**
Vel. do vento						
Dir. sobre ET _I	0,0839	0,1816	0,2179	0,2325	0,2692	0,3011
Ind. via T _{máx}	-0,0988	-0,1281	-0,0610	-0,0980	-0,1102	-0,1424
Ind. via T _{mín}	-0,0069	-0,0120	-0,0190	-0,0194	-0,0176	-0,0215
Ind. via UR	0,0042	0,0048	0,0037	0,0040	0,0045	0,0028
Ind. via Rad	-0,0077	-0,0124	-0,0193	-0,0090	-0,0047	-0,0052
Total (cor.Pearson)	-0,0253ns	0,0338ns	0,1224ns	0,1101ns	0,1411ns	0,1348ns
Radiação						
Dir. sobre ET _I	0,1092	0,1762	0,2739	0,1273	0,0673	0,0739
Ind. via T _{máx}	-0,0038	-0,0049	-0,0023	-0,0037	-0,0042	-0,0054
Ind. via T _{mín}	-0,0125	-0,0217	-0,0342	-0,0349	-0,0317	-0,0387
Ind. via UR	-0,0645	-0,0724	-0,0565	-0,0613	-0,0685	-0,0423
Ind. via Vv	0,0059	-0,0128	-0,0153	-0,0164	-0,0190	-0,0212
Total (cor.Pearson)	0,0225ns	0,0645ns	0,1654ns	0,0109ns	-0,0561ns	-0,0337ns
Coefficiente de Determinação						
Efeito variável Residual	0,3935	0,6171	0,5785	0,6426	0,6970	0,5798
Efeito variável Residual	0,7788	0,6188	0,6492	0,5978	0,5505	0,6482

ns não significativo a 5% pelo teste t; * significativo a 5% pelo teste t; ** significativo a 1% pelo teste t

Tabela 16 - Estimativa dos efeitos diretos e indiretos e correlação total entre a evapotranspiração obtida no Irrigâmetro e os elementos temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa, velocidade do vento e radiação para o outono III

Temp. máxima	Tratamentos						
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Dir. sobre ET _I	-0,2983	-0,3255	-0,1856	-0,4709	-0,3967	-0,3352	-0,2002
Ind. via T _{mín}	0,0152	0,0631	0,0403	0,0250	0,0321	0,0474	0,0315
Ind. via UR	0,4708	0,3233	0,3752	0,5777	0,5518	0,4723	0,3776
Ind. via Vv	-0,0027	-0,0037	-0,0034	-0,0023	-0,0023	0,0047	-0,0025
Ind. via Rad	0,1356	0,1451	0,1072	0,0653	0,1541	0,0844	0,0582
Total (cor.Pearson)	0,3207**	0,2023ns	0,3337**	0,1948ns	0,3390**	0,2737*	0,2646*
Temp. mínima							
Dir. sobre ET _I	-0,0889	-0,3679	-0,2348	-0,1460	-0,1872	-0,2767	-0,1840
Ind. via T _{máx}	0,0511	0,0558	0,0318	0,0807	0,0680	0,0575	0,0343
Ind. via UR	-0,4098	-0,2814	-0,3266	-0,5028	-0,4803	-0,4111	-0,3286
Ind. via Vv	-0,0087	-0,0119	-0,0108	-0,0074	-0,0074	0,0151	-0,0078
Ind. via Rad	0,0494	0,0529	0,0391	0,0238	0,0561	0,0308	0,0212
Total (cor.Pearson)	-0,4068**	-0,5525**	-0,5013**	-0,5516**	-0,5508**	-0,5844**	-0,4650**
Umidade relativa							
Dir. sobre ET _I	-0,6715	-0,4611	-0,5351	-0,8239	-0,7870	-0,6736	-0,5384
Ind. via T _{máx}	0,2092	0,2282	0,1301	0,3302	0,2782	0,2350	0,1404
Ind. via T _{mín}	-0,0542	-0,2246	-0,1433	-0,0891	-0,1143	-0,1688	-0,1123
Ind. via Vv	-0,0194	-0,0266	-0,0242	-0,0166	-0,0166	0,0339	-0,0176
Ind. via Rad	-0,0535	-0,0573	-0,0423	-0,0258	-0,0608	-0,0333	-0,0229
Total (cor.Pearson)	-0,5895**	-0,5413**	-0,6148**	-0,6251**	-0,7005**	-0,6068**	-0,5509**
Vel. do vento							
Dir. sobre ET _I	0,0898	0,1230	0,1121	0,0767	0,0767	-0,1568	0,0814
Ind. via T _{máx}	0,0090	0,0098	0,0056	0,0142	0,0120	0,0101	0,0060
Ind. via T _{mín}	0,0086	0,0355	0,0226	0,0141	0,0180	0,0267	0,0177
Ind. via UR	0,1452	0,0997	0,1157	0,1782	0,1702	0,1457	0,1165
Ind. via Rad	0,0312	0,0334	0,0246	0,0150	0,0354	0,0194	0,0134
Total (cor.Pearson)	0,2838*	0,3014*	0,2807*	0,2982*	0,3123*	0,0451ns	0,2350*
Radiação							
Dir. sobre ET _I	0,2748	0,2940	0,2173	0,1323	0,3121	0,1710	0,1178
Ind. via T _{máx}	-0,1473	-0,1607	-0,0916	-0,2325	-0,1958	-0,1655	-0,0988
Ind. via T _{mín}	-0,0160	-0,0662	-0,0422	-0,0263	-0,0337	-0,0498	-0,0331
Ind. via UR	0,1308	0,0898	0,1042	0,1605	0,1533	0,1312	0,1049
Ind. via Vv	0,0102	0,0140	0,0127	0,0087	0,0087	-0,0178	0,0092
Total (cor.Pearson)	0,2525*	0,1709ns	0,2004ns	0,0428ns	0,2446*	0,0692ns	0,1000*
Coefficiente de Determinação	0,4312	0,4743	0,4597	0,5323	0,6202	0,4835	0,3601
Efeito variável Residual	0,7542	0,7251	0,7351	0,6839	0,6163	0,7187	0,7999

ns não significativo a 5% pelo teste t; * significativo a 5% pelo teste t; ** significativo a 1% pelo teste t

Tabela 17 - Estimativa dos efeitos diretos e indiretos e correlação total entre a evapotranspiração obtida no Irrigâmetro e os elementos temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa, velocidade do vento e radiação para o inverno I

Temp. máxima	Tratamentos					
	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Dir. sobre ET _I	0,4384	0,2014	0,3605	0,2300	0,2208	0,1614
Ind. via T _{mín}	0,0252	0,0634	0,0304	0,0614	0,0785	0,0628
Ind. via UR	-0,0450	0,0916	-0,0029	0,1656	0,1855	0,2426
Ind. via Vv	0,0008	0,0008	0,0014	0,0013	0,0012	0,0013
Ind. via Rad	0,0453	0,0671	0,0490	0,0527	0,0590	0,0603
Total (cor.Pearson)	0,4646**	0,4243**	0,4384**	0,5109**	0,5451**	0,5283**
Temp. mínima						
Dir. sobre ET _I	0,0502	0,1265	0,0606	0,1224	0,1565	0,1252
Ind. via T _{máx}	0,2198	0,1010	0,1808	0,1153	0,1107	0,0810
Ind. via UR	-0,0233	0,0474	-0,0015	0,0857	0,0960	0,1256
Ind. via Vv	0,0355	0,0332	0,0625	0,0550	0,0544	0,0577
Ind. via Rad	0,0276	0,0409	0,0299	0,0321	0,0360	0,0368
Total (cor.Pearson)	0,3098**	0,3489**	0,3323**	0,4105**	0,4536**	0,4262**
Umidade relativa						
Dir. sobre ET _I	0,0556	-0,1130	0,0036	-0,2043	-0,2289	-0,2993
Ind. via T _{máx}	-0,3553	-0,1632	-0,2922	-0,1864	-0,1790	-0,1308
Ind. via T _{mín}	-0,0210	-0,0531	-0,0254	-0,0513	-0,0656	-0,0525
Ind. via Vv	-0,0824	-0,0770	-0,1451	-0,1276	-0,1262	-0,1340
Ind. via Rad	-0,0464	-0,0688	-0,0502	-0,0540	-0,0605	-0,0618
Total (cor.Pearson)	-0,4496**	-0,4750**	-0,5094**	-0,6236**	-0,6602**	-0,6784**
Vel. do vento						
Dir. sobre ET _I	0,27009	0,2524	0,4757	0,4183	0,4137	0,4393
Ind. via T _{máx}	0,0013	0,0006	0,0011	0,0007	0,0007	0,0005
Ind. via T _{mín}	0,0066	0,0166	0,0077	0,0161	0,0206	0,0165
Ind. via UR	-0,0170	0,0345	-0,0011	0,0623	0,0698	0,0913
Ind. via Rad	0,0235	0,0348	0,0254	0,0273	0,0306	0,0313
Total (cor.Pearson)	0,2845**	0,3388**	0,5091**	0,5247**	0,5354**	0,5788**
Radiação						
Dir. sobre ET _I	0,2029	0,3006	0,2195	0,2359	0,2645	0,2702
Ind. via T _{máx}	0,0978	0,0450	0,0805	0,0513	0,0493	0,0360
Ind. via T _{mín}	0,0068	0,0172	0,0083	0,0167	0,0213	0,0170
Ind. via UR	-0,0127	0,0258	-0,0008	0,0467	0,0524	0,0685
Ind. via Vv	0,0313	0,0292	0,0550	0,0484	0,0479	0,0508
Total (cor.Pearson)	0,3261**	0,4178**	0,3625**	0,3991**	0,4353**	0,4425**
Coeficiente de Determinação	0,3372	0,3944	0,4981	0,6088	0,6791	0,7155
Efeito variável Residual	0,8141	0,7782	0,7084	0,6255	0,5665	0,5334

ns não significativo a 5% pelo teste t; * significativo a 5% pelo teste t; ** significativo a 1% pelo teste t

Tabela 18 - Estimativa dos efeitos diretos e indiretos e correlação total entre a evapotranspiração obtida no Irrigâmetro e os elementos temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa, velocidade do vento e radiação para o inverno II

Temp. máxima	Tratamentos					
	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Dir. sobre ET _I	0,3552	0,6171	0,4788	0,6205	0,5613	0,8789
Ind. via T _{mín}	-0,0813	-0,1154	-0,1591	-0,1593	-0,1556	-0,1867
Ind. via UR	0,1833	0,1102	0,0274	0,0183	0,1088	0,0708
Ind. via Vv	-0,0401	-0,1105	-0,1268	-0,1709	-0,1322	-0,2378
Ind. via Rad	0,0544	0,0621	0,0676	0,0628	0,0244	-0,0506
Total (cor.Pearson)	0,4715**	0,5635**	0,2880*	0,3714**	0,4067**	0,4745**
Temp. mínima						
Dir. sobre ET _I	-0,2109	-0,2995	-0,4127	-0,4133	-0,4038	-0,4845
Ind. via T _{máx}	0,1369	0,2378	0,1845	0,2392	0,2163	0,3387
Ind. via UR	-0,0356	-0,0214	-0,0053	-0,0035	-0,0211	-0,0138
Ind. via Vv	0,0122	0,0337	0,0387	0,0521	0,0403	0,0725
Ind. via Rad	-0,1032	-0,1179	-0,1283	-0,1192	-0,0463	0,0961
Total (cor.Pearson)	-0,2007ns	-0,1673ns	-0,3232**	-0,2448*	-0,2147ns	0,0091ns
Umidade relativa						
Dir. sobre ET _I	-0,3342	-0,2010	-0,0500	-0,0333	-0,1984	-0,1291
Ind. via T _{máx}	-0,1948	-0,3384	-0,2626	-0,3403	-0,3078	-0,4820
Ind. via T _{mín}	-0,0225	-0,0319	-0,0440	-0,0440	-0,0430	-0,0516
Ind. via Vv	-0,0106	-0,0291	-0,0334	-0,0451	-0,0349	-0,0627
Ind. via Rad	-0,1708	-0,1950	-0,2123	-0,1972	-0,0767	-0,1590
Total (cor.Pearson)	-0,7328**	-0,7954**	-0,6023**	-0,6600**	-0,6608**	-0,5664**
Vel. do vento						
Dir. sobre ET _I	0,1014	0,2795	0,3208	0,4324	0,3345	0,6017
Ind. via T _{máx}	-0,1404	-0,2439	-0,1892	-0,2452	-0,2218	-0,3474
Ind. via T _{mín}	-0,0254	-0,0361	-0,0497	-0,0498	-0,0487	-0,0584
Ind. via UR	0,0348	0,0210	0,0052	0,0035	0,0207	0,0135
Ind. via Rad	0,0152	0,0174	0,0189	0,0176	0,0068	-0,0142
Total (cor.Pearson)	-0,0144ns	0,0378ns	0,1059ns	0,1584ns	0,0915ns	0,1952ns
Radiação						
Dir. sobre ET _I	0,2073	0,2366	0,2576	0,2394	0,0931	-0,1930
Ind. via T _{máx}	0,0932	0,1619	0,1256	0,1628	0,1473	0,2306
Ind. via T _{mín}	0,1051	0,1492	0,2056	0,2059	0,2011	0,2413
Ind. via UR	0,2753	0,1656	0,0412	0,0274	0,1634	0,1063
Ind. via Vv	0,0074	0,0205	0,0235	0,0317	0,0245	0,0441
Total (cor.Pearson)	0,6883**	0,7338**	0,6536**	0,6672**	0,6294**	0,4294**
Coefficiente de Determinação	0,5959	0,7419	0,5038	0,5819	0,5353	0,5204
Efeito variável Residual	0,6357	0,5080	0,7044	0,6466	0,6817	0,6925

ns não significativo a 5% pelo teste t; * significativo a 5% pelo teste t; ** significativo a 1% pelo teste t

Tabela 19 - Estimativa dos efeitos diretos e indiretos e correlação total entre a evapotranspiração obtida no Irrigâmetro e os elementos temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa, velocidade do vento e radiação para o inverno III

Temp. máxima	Tratamentos						
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Dir. sobre ET _I	0,2629	0,4141	0,4200	0,3525	0,4438	0,4066	0,4596
Ind. via T _{mín}	-0,0270	0,0255	0,0063	0,0146	0,0180	0,0173	0,0070
Ind. via UR	0,1627	-0,0229	0,1731	0,2091	0,2203	0,1937	0,2284
Ind. via Vv	-0,0288	-0,0628	-0,0694	-0,0740	-0,0953	-0,0977	-0,1022
Ind. via Rad	0,2349	0,2993	0,1430	0,1844	0,1160	0,1179	0,0884
Total (cor.Pearson)	0,6047**	0,6532**	0,6730**	0,6867**	0,7027**	0,6379**	0,6812**
<hr/>							
Temp. mínima							
Dir. sobre ET _I	-0,0644	0,0609	0,0151	0,0348	0,0430	0,0414	0,0168
Ind. via T _{máx}	0,1101	0,1734	0,1759	0,1477	0,1859	0,1703	0,1925
Ind. via UR	0,0389	-0,0055	0,0414	0,0500	0,0526	0,0463	0,0546
Ind. via Vv	-0,0015	-0,0032	-0,0036	-0,0038	-0,0049	-0,0050	-0,0052
Ind. via Rad	0,0240	0,0306	0,0146	0,0189	0,0119	0,0121	0,0090
Total (cor.Pearson)	0,1072ns	0,2563*	0,2435*	0,2475*	0,2885*	0,2651*	0,2677*
<hr/>							
Umidade relativa							
Dir. sobre ET _I	-0,2159	0,0304	-0,2298	-0,2776	-0,2924	-0,2571	-0,3031
Ind. via T _{máx}	-0,1981	-0,3120	-0,3164	-0,2656	-0,3343	-0,3064	-0,3463
Ind. via T _{mín}	0,0116	-0,0110	-0,0027	-0,0063	-0,0077	-0,0075	-0,0030
Ind. via Vv	-0,0216	-0,0471	-0,0521	-0,0555	-0,0715	-0,0733	-0,0767
Ind. via Rad	-0,3717	-0,4735	-0,2263	-0,2917	-0,1836	-0,1865	-0,1399
Total (cor.Pearson)	-0,7957**	-0,8131**	-0,8273**	-0,8967**	-0,8896**	-0,8307**	-0,8690**
<hr/>							
Vel. do vento							
Dir. sobre ET _I	0,1015	0,2209	0,2444	0,2604	0,3356	0,3438	0,3598
Ind. via T _{máx}	-0,0747	-0,1176	-0,1193	-0,1001	-0,1261	-0,1155	-0,1306
Ind. via T _{mín}	0,0009	-0,0009	-0,0002	-0,0005	-0,0006	-0,0006	-0,0002
Ind. via UR	0,0460	-0,0065	0,0490	0,0592	0,0623	0,0548	0,0646
Ind. via Rad	0,1339	0,1705	0,0815	0,1051	0,0661	0,0672	0,0504
Total (cor.Pearson)	0,2076ns	0,2665*	0,2554*	0,3239**	0,3374**	0,3496**	0,3439**
<hr/>							
Radiação							
Dir. sobre ET _I	0,4404	0,5610	0,2682	0,3457	0,2175	0,2210	0,1658
Ind. via T _{máx}	0,1402	0,2209	0,2240	0,1880	0,2367	0,2169	0,2452
Ind. via T _{mín}	-0,0035	0,0033	0,0008	0,0019	0,0023	0,0023	0,0009
Ind. via UR	0,1822	-0,0256	0,1939	0,2343	0,2468	0,2170	0,2558
Ind. via Vv	0,0309	0,0672	0,0743	0,0791	0,1020	0,1045	0,1093
Total (cor.Pearson)	0,7902**	0,8267**	0,7612**	0,8490**	0,8053**	0,7616**	0,7770**
<hr/>							
Coefficiente de Determinação	0,6930	0,7840	0,7430	0,8774	0,8727	0,7725	0,8335
<hr/>							
Efeito variável residual	0,5541	0,4648	0,5070	0,3501	0,3568	0,4770	0,4080

ns não significativo a 5% pelo teste t; * significativo a 5% pelo teste t; ** significativo a 1% pelo teste t

Analisando a Tabela 8, observa-se que, durante a primavera do primeiro ano, apenas a correlação da temperatura mínima com a ET_I para o tratamento A7 foi não significativa. O elemento que apresenta maior correlação do efeito direto sobre a ET_I é a temperatura máxima, sendo essa correlação positiva. Examinando os efeitos indiretos, no primeiro ano, a umidade relativa – via temperatura máxima – e radiação – via temperatura máxima, apresentaram as maiores correlações com a ET_I . Temperatura máxima e radiação apresentaram correlação positiva com a ET_I , combinadas via umidade relativa. No segundo (Tabela 9) e terceiro anos (Tabela 10), a variável que apresenta maior correlação do efeito direto com a ET_I , é a umidade relativa.

Para o verão, os elementos de maior correlação com a ET_I foram radiação, no primeiro ano (Tabela 11); umidade relativa, no segundo (Tabela 12); e temperatura mínima e umidade relativa, no terceiro (Tabela 13). Tais correlações são significativas, sendo, nos dois primeiros anos, a 1% de probabilidade pelo teste “t”. Na relação de causa e efeito com a ET_I , a umidade relativa foi o elemento que mais apresentou correlação com a ET_I . No primeiro ano, tem destaque na relação de causa e efeito, a radiação solar para os tratamentos A2, A4, A5, A6 e A7. Considerando os efeitos indiretos sobre a ET_I no verão, a temperatura máxima e a umidade relativa, via radiação, apresentaram boa correlação no primeiro ano. No segundo, a melhor correlação foi da radiação via umidade relativa, sendo o valor da mesma, maior do que o valor da variável residual. No terceiro ano, as maiores correlações com a evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro foram do elemento temperatura máxima, via umidade relativa; entretanto, as correlações foram não significativas.

Avaliando o efeito direto dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro no outono, observa-se maior correlação da radiação solar com a ET_I no primeiro ano (Tabela 14) e umidade relativa nos anos posteriores (Tabela 15 e 16); sendo essas correlações significativas a 1% de probabilidade pelo teste “t”. Observa-se, na Tabela 15, que a relação causa e efeito da umidade relativa sobre a ET_I não foi observada em nenhum tratamento no segundo ano.

Os elementos velocidade do vento, no primeiro ano (Tabela 17), e temperatura máxima, nos segundo (Tabela 18) e terceiro anos (Tabela 19), mostraram as maiores correlações com ET_I , quando comparados os efeitos diretos,

para o inverno. O efeito indireto da umidade relativa via radiação sobre a ET_1 , para essa estação, foi negativo nos dois primeiros anos analisados neste trabalho.

Quando é realizada a análise da correlação dos efeitos indiretos dos elementos meteorológicos sobre a ET_1 , em todo o período analisado, observa-se que há uma tendência de maior correlação da temperatura máxima com a umidade relativa para a maioria das estações. As menores correlações ocorrem, na maioria das vezes, quando um elemento meteorológico é relacionado com a temperatura mínima e com a velocidade do vento, não apresentando relação de causa e efeito com a ET_1 .

Percebe-se que, à medida que se eleva a altura da água dentro do evaporatório, a correlação da velocidade do vento com a evapotranspiração do Irrigâmetro aumenta devido à proximidade da lâmina da água com a borda do evaporatório, facilitando a remoção do ar úmido. Quanto menor a altura da água no evaporatório, menor a massa de água no seu interior; logo, para aquecer ou evaporar a água nas alturas menores, é necessária menor quantidade de energia proveniente da radiação. Assim, ela é mais importante para alturas menores, apresentando alta correlação com a ET_1 .

Em estudo realizado na região de Viçosa, MG, Caixeta (2009) observou que o efeito indireto do elemento meteorológico temperatura máxima, via radiação solar, destacou-se como o mais associado à evapotranspiração, em todas as alturas da água dentro do evaporatório do Irrigâmetro. Ainda segundo o autor, tal efeito foi elevado tanto quanto o efeito direto da temperatura máxima.

Analisando a correlação total entre a ET_1 e os elementos meteorológicos, observa-se que a temperatura máxima apresentou correlação positiva com a evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro na maioria dos tratamentos, em todas as estações. As exceções foram para os tratamentos A2 e A3, na primavera do segundo ano, e para os tratamentos no verão do terceiro ano. Nesses casos, as correlações não foram significativas.

A correlação do elemento meteorológico temperatura mínima com a ET_1 é negativa para a estação do outono. No inverno, apenas o segundo ano apresentou correlação negativa da temperatura mínima com a evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro; e as correlações são não significativas, com exceção dos tratamentos A4 e A5. Durante a primavera, as correlações são negativas e não significativas no tratamento A7 do primeiro ano e em todos os tratamentos do segundo ano. No terceiro ano são positivas e significativas apenas nos tratamentos A5, A6 e A7. No

verão, a maioria das correlações são positivas, exceto no segundo ano e no tratamento A6 do último ano.

A umidade relativa possui correlação negativa e significativa a 1% de probabilidade pelo teste “t” com a ET_I no outono e no inverno. Na primavera, as correlações são positivas apenas nos tratamentos A2 e A3 do segundo ano, sendo que as do segundo ano são não significativas para todos os tratamentos. Na estação do verão, a correlação é negativa para o primeiro e segundo ano e para tratamento A1 do terceiro.

A correlação entre a velocidade do vento e a ET_I é positiva para a maioria dos tratamentos nas estações. Apenas na primavera do terceiro ano, essa correlação tem comportamento distinto, sendo positiva apenas quando o aparelho é utilizado com água no evaporatório na altura 2 cm.

A radiação solar é o elemento que apresenta maior correlação positiva e significativa a 1% de probabilidade pelo teste “t” com a ET_I , na maioria das estações. As exceções são as correlações negativas nos tratamentos A2 e A3 da primavera; e A6 e A7 do outono do segundo ano; bem como os tratamentos do verão do terceiro ano, que apresentaram correlação não significativa.

Os elementos meteorológicos que tiveram o maior número de correlações significativas com a ET_I , no primeiro ano, foram temperatura máxima, radiação e umidade relativa. No segundo ano, foram os elementos temperatura máxima e umidade relativa; já no terceiro ano, o maior número de correlações significativas com a ET_I foi dos elementos temperatura máxima, umidade relativa e radiação solar. Os elementos velocidade do vento e temperatura mínima mostraram correlações baixas ou não significativas com a ET_I , com exceção nas estações do outono e inverno, nos três anos analisados.

Segundo Baptestini (2010), os elementos meteorológicos que tiveram maiores correlações com a ET_I foram temperatura máxima, radiação e umidade relativa, para as condições climáticas do Sul do Estado do Tocantins, enquanto que os elementos velocidade do vento e temperatura mínima tiveram as menores correlações. Já Amorim (1998), por sua vez, estudando as ligações da evapotranspiração com os elementos meteorológicos no município de Governador Dix-Sept Rosado, situado na região agrícola de Mossoró, RN, observou que a insolação foi o elemento meteorológico de maior influência no processo de evapotranspiração, enquanto que a temperatura média compensada foi o elemento que apresentou menor influência.

Caixeta (2009) observou, em estudo realizado entre março e setembro de 2008, na região de Viçosa, MG, que a temperatura mínima foi o elemento que apresentou a menor correlação com a evapotranspiração do Irrigâmetro, enquanto a velocidade do vento mostrou correlação não significativa.

Oliveira (2009) salienta que nas condições climáticas da região do Alto Paranaíba, MG, o elemento meteorológico que apresentou maior correlação com a estimativa da evapotranspiração foi a umidade relativa do ar, nos meses de agosto e janeiro; a temperatura mínima e a umidade relativa, no mês de setembro; a temperatura máxima e a umidade do ar, no mês de outubro; e a temperatura máxima, no mês de maio. Ainda segundo o autor, a velocidade do vento foi o elemento que apresentou as menores correlações e efeito não significativo, com a evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro.

Insolação e velocidade do vento foram os elementos com maior representatividade no processo da evapotranspiração para as condições climáticas da região Centro-Sul do Estado do Ceará, de acordo com Andrade et al. (2003). Os mesmos autores relatam que as temperaturas máxima e mínima apresentaram a menor influência no processo.

Nas Tabelas 20 a 23 são apresentados os valores dos coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis explicativas para a evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro, nas estações de cada ano analisado.

Tabela 20 – Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis explicativas para a evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro, nas primaveras

	T. mínima	UR	Vv	Rad
Primavera I				
T. máxima	-0,1002ns	-0,8938**	0,3283*	0,7717**
T. mínima		0,2175ns	-0,1963ns	-0,0418ns
UR			-0,2859*	-0,7177**
Vv				0,2256ns
Primavera II				
T. máxima	0,2550ns	-0,8264**	-0,1049ns	0,8187**
T. mínima		-0,0572ns	-0,1027ns	-0,0561ns
UR			-0,1869ns	-0,8588**
Vv				0,0837ns
Primavera III				
T. máxima	0,3530ns	-0,8791**	0,2958ns	0,8385**
T. mínima		-0,2431ns	-0,1722ns	0,1520ns
UR			0,2083ns	-0,8563**
Vv				-0,1178ns

ns não significativo a 5% pelo teste t; * significativo a 5% pelo teste t; ** significativo a 1% pelo teste t

Tabela 21 – Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis explicativas para a evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro, nos verões

	T. mínima	UR	Vv	Rad
Verão I				
T. máxima	0,3419*	-0,8158**	0,1416ns	0,8389**
T. mínima		-0,0847ns	-0,3043ns	0,1847ns
UR			-0,3611*	-0,8599**
Vv				0,2315ns
Verão II				
T. máxima	0,0337ns	-0,6659**	-0,3242ns	0,6429**
T. mínima		0,0779ns	0,1089ns	-0,2246ns
UR			-0,0366ns	-0,8558**
Vv				-0,0616ns
Verão III				
T. máxima	-0,0446ns	-0,6843**	-0,2786ns	0,8610**
T. mínima		-0,3567ns	-0,0109ns	-0,0946ns
UR			0,2504ns	-0,5738**
Vv				-0,2034ns

ns não significativo a 5% pelo teste t; * significativo a 5% pelo teste t; ** significativo a 1% pelo teste t

Tabela 22 – Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis explicativas para a evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro, nos outonos

	T. mínima	UR	Vv	Rad
Outono I				
T. máxima	-0,1760ns	-0,7167**	0,2343ns	0,7826**
T. mínima		0,6956**	-0,3821**	-0,1527ns
UR			-0,4468**	-0,6483**
Vv				0,3181**
Outono II				
T. máxima	0,1317ns	-0,2962**	-0,4027**	-0,0153ns
T. mínima		0,7231**	0,0515ns	0,0883ns
UR			-0,0058ns	0,1490ns
Vv				-0,0697ns
Outono III				
T. máxima	-0,1715ns	-0,7012**	-0,0331ns	0,4936**
T. mínima		0,6103**	-0,0973ns	0,1798ns
UR			-0,2140ns	-0,1948ns
Vv				0,1125ns

ns não significativo a 5% pelo teste t; * significativo a 5% pelo teste t; ** significativo a 1% pelo teste t

Tabela 23 – Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis explicativas para a evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro, nos invernos

	T. mínima	UR	Vv	Rad
Inverno I				
T. máxima	0,5014**	-0,8105**	0,0030ns	0,2232ns
T. mínima		-0,4195**	0,1314ns	0,1361ns
UR			-0,3051**	-0,2287ns
Vv				0,1135ns
Inverno II				
T. máxima	0,3854**	-0,5484**	-0,3983**	0,2624*
T. mínima		0,1065ns	0,1180ns	-0,4981**
UR			-0,1017ns	-0,8238**
Vv				0,0716ns
Inverno III				
T. máxima	0,4189**	-0,7534**	-0,2850*	0,5335**
T. mínima		-0,1800ns	-0,0144ns	0,0546ns
UR			-0,2119ns	-0,8441**
Vv				0,3028**

ns não significativo a 5% pelo teste t; * significativo a 5% pelo teste t; ** significativo a 1% pelo teste t

Observa-se na Tabela 20 que, durante a estação da primavera, a correlação entre o elemento meteorológico temperatura máxima e os elementos umidade relativa e radiação foi alta e significativa a 1% de probabilidade pelo teste “t”. Contudo, a correlação foi positiva com a radiação e negativa com a umidade relativa. A temperatura mínima mostrou correlação não significativa com todos os elementos estudados em todos os anos.

Durante a estação do verão (Tabela 21), observa-se que, assim como na primavera, a correlação da temperatura máxima com os elementos umidade relativa e radiação apresenta o mesmo comportamento. O elemento meteorológico velocidade do vento tem correlação não significativa com todos os elementos estudados nos três anos, exceto com a umidade relativa no primeiro ano.

Analisando a estação do outono (Tabela 22), nota-se que a correlação entre os elementos temperatura mínima e temperatura máxima foi não significativa, em todos os anos estudados. Ocorre correlação não significativa entre a radiação e todos os elementos estudados no segundo ano. Tal panorama também é verificado entre a velocidade do vento e os demais elementos, no terceiro ano. A correlação da temperatura máxima, com a umidade relativa e com a radiação é significativa, em todos os anos, exceto com a radiação no segundo ano.

De acordo com a Tabela 23, a correlação entre os elementos temperatura mínima e temperatura máxima é significativa a 1% de probabilidade pelo teste “t”. Tal nível de probabilidade também foi observado entre a temperatura máxima e os demais elementos, exceto a velocidade do vento, no terceiro ano. Ao mesmo tempo, é possível observar que entre os elementos velocidade do vento e radiação ocorre correlação significativa apenas no terceiro ano, sendo essa, significativa a 1% de probabilidade pelo teste “t”.

5. CONCLUSÕES

1. O K_I aumentou linearmente com a elevação da altura da água dentro do evaporatório nas estações da primavera e do verão. Já no outono e no inverno, o aumento foi exponencial.
2. A altura da água recomendada no evaporatório do Irrigâmetro, de modo que este estime a ET_0 na região Sul do Estado do Tocantins, para a estação da primavera, verão, outono e inverno é igual a 3,4, 4,0, 3,8, 2,3 cm, respectivamente.
3. A umidade relativa e a radiação solar apresentaram alta correlação com a ET_I em todas as estações dos anos analisados.
4. Temperatura mínima e velocidade do vento foram os elementos que apresentaram menor efeito indireto sobre a ET_I , quando associados aos demais elementos.

6. REFERÊNCIAS

AL-GHOBARI, H.M. Estimation of reference evapotranspiration for southern region of Saudi Arabia. **Irrigation Science**, v. 19, n. 2, p. 81-86, 2000.

ALLEN, F.G.; SMITH, M.; PERRIER, A. An update for the definition of reference evapotranspiration. **ICID Bulletin**, v. 43, n. 2, p. 93, 1994.

ALLEN, R.G. A Penman for all seasons. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 112, n. 4, p. 348-386, 1986.

ALLEN, R.G. et al. **Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 310 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

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

AMORIM, M.C. **Avaliação da eficácia do lisímetro de lençol freático constante, do tanque classe “A” e do modelo de Penman-Monteith (FAO) para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o)**. 1998. 56 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ANDRADE, E.M.; SILVEIRA, S.S.; AZEVEDO, B.M. Investigação da estrutura multivariada da evapotranspiração na região do centro sul do Ceará pela análise de componentes principais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 1, p. 39-44, 2003.

BAPTESTINI, J.C.M. **Efeitos de elementos meteorológicos na evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro na região sul do Estado do Tocantins**. 2010. 49 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BERNARDO, S. Impacto ambiental da irrigação no Brasil. **Rev. Engenharia na Agricultura**, v. 1, n. 1, p. 7, 1992.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625 p.

BURMAN, R.D. et al. Water requirements. In: JENSEN, M.E. (Ed.). **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, 1983. cap. 6, p. 189-232.

CAIXETA, S.P. **Efeitos de elementos meteorológicos na evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro nas condições climáticas da zona da mata mineira.** 2009. 51 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CARVALHO, S.P. **Métodos alternativos de estimação de coeficientes de trilha e índices de seleção, sob multicolinearidade.** 1995. 163 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - CEPEA. **PIB do agronegócio.** Disponível em: http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/other/Pib_Cepea_1994_2011.xls. Acesso em: 13 mar. 2012.

CHANG, J. **Climate and agriculture.** Chicago: Aldine Publishing, 1971. 296 p.

CONTIN, F.S. **Tecnologia do Irrigâmetro aplicada no manejo da irrigação do feijoeiro.** 2008. 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Viçosa, MG: UFV, 2003. v. 2, 585 p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Viçosa, MG: UFV, 1994. 390 p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** 2.ed. Viçosa, MG: UFV, 1997. 390 p.

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

FALKENMARK, M.; ROCKSTRÖM, J. **Balancing water for humans and nature: the new approach in ecohydrology.** Earthscan, London, 2004. 247 p.

FERRARI, F. **Estimadores viesados para modelos de regressão em presença de multicolinearidade.** Piracicaba, SP: USP-ESALQ, 1989. 127 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION – FAO. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture: managing systems at risk.** Disponível em: http://www.fao.org/fileadmin/templates/solaw/files/executive_summary/SOLAW_EX_SUMM_WEB_EN.pdf. Acesso em: 02 nov. 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION – FAO. **Water scarcity.** Disponível em: http://www.fao.org/nr/water/topics_scarcity.html. Acesso em: 12 fev. 2012.

FURTADO, M.R. et al. Análise de trilha do rendimento do feijoeiro e seus componentes primários em monocultivo e em consórcio com a cultura do milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 32, p. 217-220, 2002.

HENRIQUE, F.A.N.; DANTAS, R.T. Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, p. 594-599, 2007.

JALOTA, S.K.; SOOD, A.G.B.S.; CHAHAL, B.U. Crop water productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) – wheat (*Triticum aestivum* L.) system as influenced by deficit irrigation, soil texture and precipitation. **Agricultural Water Management**, v. 84, p. 137-146, 2006.

JENSEN, M.E.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1990. 329 p. (Manual and Reports on Engineering Practices, 70).

LEMON, E.R.; GLASER, A.H.; SATTERWHITE, L.E. Some aspects of the relationship of soil, plant and meteorological factors to evapotranspiration. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 21, n. 5, p. 464-468, 1957.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba, SP: USP-ESALQ, 1995. 497p.

LOPES, A.S. et al. Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 24, n. 1, p. 89-100, 2004.

LOPES, R.R.; FRANKE, L.B. Correlação e análise do coeficiente de trilha dos componentes do rendimento de sementes de grama-forquilha. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 40, n. 5, p. 972-977, 2011.

MATSUO, T. **O uso da regressão de cumeeira em experimentos agrônômicos**. Piracicaba, SP: USP-ESALQ, 1986. 89 p.

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**. 2002. 103 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

OLIVEIRA, E.M. **Desempenho do Irrigâmetro na estimativa da Evapotranspiração de referência na região do Alto Paranaíba-MG**. 2009. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

OLIVEIRA, E.M. et al. Ajuste do Irrigâmetro para estimar a evapotranspiração da cultura nos seus diversos estádios de desenvolvimento. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., Bonito, MS, 2007. **Anais...** Bonito, MS: SBEA, 2007b. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, E.M.; OLIVEIRA, R.A.; BAPTESTINI, J.C.M. Ajuste do Irrigâmetro para estimar a evapotranspiração da cultura, por meio da variação da área do evaporatório. In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 12, 2007, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 2007a. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, R.A. et al. Desempenho do Irrigâmetro na estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 12, n. 2, p. 166-173, 2008.

OLIVEIRA, R.A.; RAMOS, M.M. **Manual do Irrigâmetro**. Viçosa, MG: UFV, 2008. 144 p.

PAULA, A.L.T. **Tecnologia do Irrigâmetro e da válvula intermitente para aspersor aplicada no perímetro irrigado do Jaíba**. 2009. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PAULINO, J. et al. Situação da agricultura irrigada no Brasil de acordo com o Censo Agropecuário de 2006. **Irriga**, Botucatu, SP, v. 16, n. 2, p. 163-176, 2011.

PINHEIRO, A. et al. Avaliação das variáveis hidrológicas do balanço hídrico em área agrícola com cultivo de milho (*Zea mays*) através de uso de lisímetro. **Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, SC, v. 12, n. 1, p. 73-81, 2010.

RIBEIRO JÚNIOR, J.I. **Análises estatísticas no SAEG**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 301 p.

ROCHA, O.C.; GUERRA, A.F.; AZEVEDO, H.M. Ajuste do modelo Christiansen-Hargreaves para estimativa da evapotranspiração do feijão no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 7, n. 2, p. 263-268, 2003.

SEDIYAMA, G.C. **Necessidade de água para os cultivos**. Brasília, DF: ABEAS, 1996. 176 p.

SILVA, E.M. et al. Manejo de irrigação para grandes culturas. In: FARIA, M.A. et al. **Manejo de irrigação**. Poços de Caldas, MG: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p. 239-280.

SILVEIRA, S.S.; ANDRADE, E.M. Análise de componentes principais na investigação de estrutura multivariada da evapotranspiração. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 22, n. 2, p. 173-177, 2002.

SMITH, M. **Report on the expert consultation on revision of crop water requirements**. Rome: FAO, 1991. 45 p.

TAGLIAFERRE, C. **Desempenho do Irrigâmetro e de dois minievaporímetros para estimativa da evapotranspiração de referência**. 2006. 99 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

TAGLIAFERRE, C. et al. Estimativa da evapotranspiração de referência com uso do Irrigâmetro em Vitória da Conquista-BA. **Irriga**, Botucatu, SP, v. 17, n. 1, p. 28-38, 2012.

TAGLIAFERRE, C. **Geração de tecnologia inovadora aplicada ao Irrigâmetro para o manejo racional da água de irrigação**. 2007. 50 f. Relatório (Pós-Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3.ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004. 943 p.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 20, p. 557-585, 1921.