

ANDRÉ LEONARDO TAVARES PAULA

TECNOLOGIAS DO IRRIGÂMETRO E DA VÁLVULA INTERMITENTE PARA  
ASPERSOR APLICADAS NO PERÍMETRO IRRIGADO DO JAÍBA

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  
2009

ANDRÉ LEONARDO TAVARES PAULA

TECNOLOGIAS DO IRRIGÂMETRO E DA VÁLVULA INTERMITENTE PARA  
ASPERSOR APLICADAS NO PERÍMETRO IRRIGADO DO JAÍBA

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: 27 de julho de 2009.

---

Prof. Gilberto Chohaku Sedyama  
(Co-orientador)

---

Prof. Cristiano Tagliaferre

---

Prof. Everardo Chartuni Mantovani

---

Prof. Edvaldo Fialho dos Reis

---

Prof. Rubens Alves de Oliveira  
(Orientador)

À classe de produtores rurais que enfrentam as leis da natureza e contribuem para a segurança alimentar da população e a manutenção do homem no campo.

## **OFEREÇO**

Aos meus pais Nivalber e Maria, pelos incentivos à minha educação e pela paciência com minhas inquietações.

A minha esposa Marília e meu filho Daniel, pelo fundamental apoio e crédito, principalmente durante o experimento que exigiu muita dedicação e sacrifício de todos.

## **DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

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

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

Ao professor Rubens Alves de Oliveira, pelos ensinamentos e pela confiança.

Aos coorientadores Gilberto Chohaku Sedyama, Mauro Aparecido Martinez e Paulo Roberto Cecon, pela valiosa colaboração para a pesquisa.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola pela dedicação.

Aos amigos que me auxiliaram na condução dos experimentos em campo, Carlos Eugênio, responsável pela unidade da CODEVASF em Jaíba e André Caxito, chefe da EMATER em Jaíba.

A todos os colegas do Curso de Pós-Graduação e às demais pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

ANDRÉ LEONARDO TAVARES PAULA, filho de Nivalber Cotts Paula e Maria Aparecida Tavares Paula, nasceu em Duque de Caxias, RJ, em 21 de setembro de 1978.

Em 1997 concluiu o curso de Técnico em Mecânica Industrial pelo CEFET-RJ, vindo a trabalhar como técnico de pesquisa na UFRJ. Em 1999 ingressou na primeira turma do curso de Engenharia Agrícola na UFF (Universidade Federal Fluminense), transferindo-se para o curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da UFV em 2003. A partir daí participou de diversas atividades no campus da UFV, destacando-se o GESAI (Grupo de Estudos e Soluções para a Agricultura Irrigada), como bolsista do CNPq, sob orientação do Prof. Everardo Chartuni Mantovani. Sua aptidão para desenhos o fez participar de outras atividades nas áreas de atuação da Engenharia Agrícola.

Em outubro de 2006 concluiu o curso de graduação e ingressou no Programa de Pós Graduação, em nível de Mestrado, no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), executando o experimento no município de Jaíba, MG, e submetendo-se à defesa de tese em julho de 2009.

## ÍNDICE

<b>RESUMO .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
2.1 Perímetro irrigado do Jaíba .....	4
2.2 Manejo da irrigação .....	6
2.3 Válvula intermitente para aspersor .....	13
2.4 A cultura do girassol .....	15
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
3.1 Área experimental .....	20
3.2 Evapotranspiração de referência .....	20
3.3 Coeficiente do Irrigâmetro .....	23
3.4 Eficiência de aplicação da água e produtividade do girassol utilizando um sistema de irrigação por aspersão dotado de válvula intermitente, operando nos períodos diurno e noturno .....	25
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>30</b>
4.1 Elementos climáticos .....	30
4.2 Evapotranspiração de referência .....	31
4.3 Coeficiente do Irrigâmetro .....	33
4.4 Eficiência de aplicação da água e produtividade do girassol utilizando um sistema de irrigação por aspersão dotado de válvula intermitente, operando nos períodos diurno e noturno .....	36
4.4.1 Eficiência e uniformidade de aplicação de água. ....	36
4.4.2 Produtividade do girassol .....	38

4.4.3 Função de produção .....	39
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>40</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>41</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>44</b>
<b>ANEXO 1: Dados da avaliação do aspersor .....</b>	<b>45</b>
<b>ANEXO 2: Dados do cálculo da produtividade.....</b>	<b>47</b>
<b>ANEXO 3: Dados do cálculo da função de produção .....</b>	<b>48</b>
<b>ANEXO 4: Análise química do solo.....</b>	<b>49</b>

## RESUMO

PAULA, André Leonardo Tavares, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2009. **Tecnologias do irrigâmetro e da válvula intermitente para aspersor aplicadas no Perímetro Irrigado do Jaíba.** Orientador: Rubens Alves de Oliveira. Coorientadores: Gilberto Chohaku Sedyama, Mauro Aparecido Martinez e Paulo Roberto Cecon.

Na região norte de Minas Gerais o clima quente e seco torna imprescindível o uso racional da água para viabilizar a agricultura irrigada. Duas novas tecnologias foram desenvolvidas para simplificar a irrigação, o Irrigâmetro e a Válvula Intermitente para aspersor. Objetivou-se determinar o coeficiente do Irrigâmetro ( $K_I$ ) e avaliar o uso de um sistema de irrigação por aspersão, dotado de válvula intermitente, no cultivo de girassol, operando nos períodos diurno e noturno. Os experimentos foram conduzidos no Perímetro Irrigado do Jaíba, a  $15^{\circ} 36'$  de latitude Sul e  $43^{\circ} 42'$  de longitude Oeste, com altitude de 460m. A evapotranspiração de referência foi calculada utilizando a equação de Penman-Monteith FAO 56 para dados horários obtidos da estação automática do INMET. Os valores de  $K_I$  obtidos foram 0,42, 0,69, 0,85, 1,07, 1,34 e 1,61 para alturas dos níveis de água do evaporatório iguais a 1, 2, 3, 4, 5 e 6 cm, respectivamente, resultando na equação  $K_I=0,232h + 0,185$ , com  $R^2=0,994$ . A eficiência de aplicação da água de irrigação foi de 59% no período diurno, resultando na aplicação de 660mm de água durante o cultivo e 95% no período noturno, aplicando-se um total de 447mm. Não houve diferença significativa entre a produtividade do girassol irrigado no período diurno, com média de  $6,1 \text{ t ha}^{-1}$  e irrigado no período noturno, com média  $6,3 \text{ t ha}^{-1}$ .

## ABSTRACT

PAULA, André Leonardo Tavares, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2009. **Irrigâmetro and intermittent valve technologies applied on the Jaíba Irrigation Perimeter.** Adviser: Rubens Alves de Oliveira. Co-Advisers: Gilberto Chohaku Sedyama, Mauro Aparecido Martinez and Paulo Roberto Cecon.

The North region of Minas Gerais has a dry and hot weather which demands efforts towards rational use of water to allow irrigated agriculture. Two new technologies were developed to simplify the irrigation called Irrigâmetro and the Intermittent Valve for Sprinklers (IVS). The Irrigâmetro makes the management of irrigation easier and the IVS besides to allow the use of irrigation by aspersion in low water and energy resources. Were aimed to determine the Irrigâmetro coefficient ( $K_I$ ) as well as evaluate water application efficiency and the productive rate of sunflower using a special aspersion irrigation system with Intermittent Valve, during diurnal e nocturnal periods. All the experiments took place at Jaiba Irrigated Perimeter placed at  $15^{\circ} 36'$  South latitude and  $43^{\circ} 42'$  West longitude, with an elevation of 460m. The evapotranspiration reference rates were calculated by Penman-Monteith FAO 56 equation considering different timetable from INMET automatic station. The  $K_I$  values were 0.42, 0.69, 0.85, 1.07, 1.34 and 1.61 for water levels of 1, 2, 3, 4, 5 and 6 cm, respectively, resulting on equation  $K_I = 0,232h + 0,185$  with  $R^2 = 0,994$ . The efficiency of water application was 59% with 660mm of applied water at diurnal period and 95% with 447mm of applied water at nocturnal period of irrigation system use. There was no significant difference between irrigated sunflower production at diurnal period, and nocturnal period, mean  $6.1 \text{ t ha}^{-1}$  and  $6.3 \text{ t ha}^{-1}$ , respectively.

## **1. INTRODUÇÃO**

A Lei 9433/97 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, considerando o uso múltiplo dos recursos hídricos. A outorga e a cobrança pelo uso da água são os instrumentos desta lei que mais se relacionam com o uso racional da água de irrigação, o setor que mais demanda água no Brasil. A outorga pelo uso da água limita a quantidade de água a ser captada e induz ao melhor controle da irrigação. O valor econômico atribuído à água aumenta o custo de produção, promovendo o melhor controle da irrigação. Em casos em que nenhum dos dois instrumentos são aplicados, o uso eficiente da água na irrigação apresenta maior importância para reduzir o custo de energia elétrica, evitar doenças por umidade excessiva ou mesmo a lixiviação de nutrientes.

Na maioria dos casos, o agricultor está mais empenhado nos tratamentos culturais e na comercialização dos produtos, pois estas atividades costumam influenciar mais na rentabilidade dos empreendimentos agrícolas. A economia de água e de energia não se apresenta como uma tarefa simples e o seu controle tende a ser feito com métodos empíricos. Para ter uma boa aceitação por parte do agricultor o método de manejo da irrigação deve ser adequado às condições operacionais do empreendimento rural.

Na região norte de Minas Gerais o clima quente e seco com reduzido índice pluviométrico faz com que a água seja utilizada intensamente para a irrigação. A energia elétrica gasta com a irrigação tem grande representatividade no custo de produção, principalmente no perímetro irrigado do Jaíba, onde também é cobrada a água devido ao seu custo de distribuição. Esta situação aumenta a importância do uso racional da água para viabilizar economicamente a agricultura irrigada.

Para aumentar a eficiência de aplicação da água de irrigação pode-se optar por irrigar no período noturno, quando as condições meteorológicas tendem a aumentar a

eficiência de aplicação da água. Neste período também existe a possibilidade de redução na tarifa de energia elétrica quando alterado o contrato com a concessionária. O aproveitamento destas vantagens é dificultado quando existe a necessidade do agricultor acompanhar a irrigação, pois existem dificuldades operacionais em se trabalhar à noite. Este é o caso de grande parte dos lotes de assentamento do perímetro irrigado do Jaíba, uma vez que predomina o sistema de aspersão convencional móvel com várias posições a serem irrigadas por dia (DIJ, 2008).

A possibilidade de redução na tarifa de energia elétrica gerou uma tendência para automação dos sistemas de irrigação. O solo predominantemente arenoso demanda uma intensa movimentação da tubulação para que o sistema de irrigação por aspersão convencional seja utilizado em todo o lote, sendo este um dos principais fatores que ocasionam a sub-utilização dos lotes. Entre os 9.346 hectares irrigáveis destinados ao assentamento de pequenos produtores rurais, apenas 29% estão ocupados com cultivos irrigados (DIJ, 2008). Muitos lotes foram abandonados ou tornaram-se pastagem de sequeiro.

As entidades envolvidas no Perímetro Irrigado do Jaíba estão fazendo um grande esforço para aumentar a taxa de ocupação, que é insuficiente para suprir os custos de manutenção da estrutura de uso comum. A principal atitude tomada pelas entidades atuantes no projeto é a redução nos custos de água e de energia elétrica, além da substituição de assentados.

Um projeto de eficiência energética financiado pela ANEEL através da CEMIG está sendo implementado no Perímetro Irrigado do Jaíba para favorecer o uso da irrigação no período noturno. Neste projeto pretende-se instalar sistemas de irrigação semi-fixos e automatizados em 9.346 hectares, no valor total aproximado de R\$ 13 milhões conforme divulgação do escritório da Emater responsável pelo Perímetro Irrigado do Jaíba.

Uma opção mais econômica para facilitar o uso da irrigação no período noturno consiste na adição de válvulas intermitentes ao sistema de irrigação por aspersão móvel. A válvula intermitente adicionada ao aspersor mantém o alcance do jato quando a vazão que chega ao aspersor é reduzida. Com esta tecnologia pode-se aumentar o setor irrigado mantendo-se a vazão e de projeto e adicionando tubulação com menor diâmetro. O uso desta técnica pode gerar uma economia de mais de 50% em projetos semelhantes ao citado no parágrafo anterior realizado no perímetro irrigado do Jaíba.

Entretanto, somente a melhoria do sistema de irrigação não garante o uso eficiente da água, pois é preciso conhecer a quantidade de água necessária. O controle

da irrigação mais comum no Perímetro Irrigado do Jaíba é a percepção visual dos produtores quanto à murcha das plantas, sem um gerenciamento técnico da irrigação.

Com finalidade de simplificar o manejo da irrigação, Oliveira et al (2007) desenvolveram o Irrigâmetro, o qual simplifica a interpretação das informações envolvidas no manejo da irrigação e não envolve cálculos em sua operação.

Por serem inovadoras e recentes, existem poucas informações sobre estas tecnologias. O coeficiente do Irrigâmetro ( $K_I$ ), utilizado para ajustar o aparelho às necessidades hídricas das culturas agrícolas, deve ser determinado para regiões com diferentes condições climáticas. A válvula intermitente reduz a intensidade de aplicação de água do aspersor e aumenta o tempo necessário para a irrigação. Estas características acarretam em um aumento da quantidade de água evaporada diretamente da planta durante a irrigação, principalmente no período diurno. A irrigação realizada neste período pode influenciar a produtividade de forma diferente da irrigação realizada no período noturno, tanto pelo aumento da evaporação da água antes de infiltrar no solo, quanto pela alteração do micro-clima. (Taiz e Zeiger, 2004 e Leitão, 2000).

Na busca de parâmetros técnicos para aplicação destas tecnologias no Perímetro Irrigado do Jaíba, objetivou-se determinar o coeficiente do Irrigâmetro ( $K_I$ ) com base na  $ET_0$  estimada com dados da estação meteorológica do INMET em Jaíba, assim como avaliar a eficiência de aplicação de água e a produtividade do girassol utilizando um sistema de irrigação por aspersão dotado de válvula intermitente, operando nos períodos diurno e noturno.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Perímetro irrigado do Jaíba

O Perímetro Irrigado do Jaíba é uma referência internacional em projetos de irrigação, no que diz respeito ao porte das estruturas de engenharia. Segundo publicado em DIJ (2008), o projeto inicial envolve quatro etapas, das quais somente a primeira está finalizada.

A estrutura fundiária do Perímetro está ilustrada na Figura 1 (DIJ, 2008). Os lotes de assentamento para pequenos produtores representam a maior parcela, com 38% da área total.

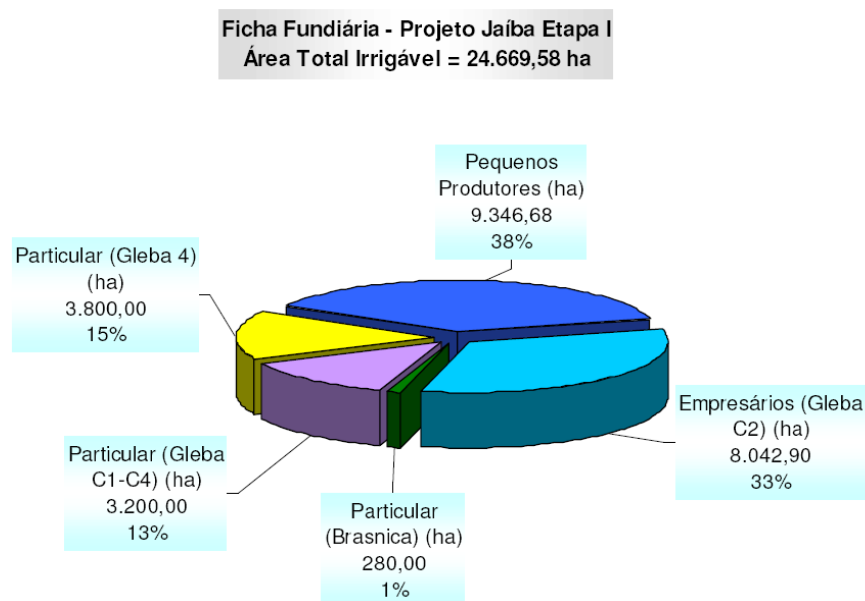


Figura 1. Estrutura fundiária do Perímetro Irrigado do Jaíba.

Infelizmente, o retorno sócio-econômico está muito aquém do esperado, considerando-se o montante de recursos investidos. A iniciativa privada tem se destacado como forte impulsionadora do desenvolvimento local.

É perceptível na região a descrença por parte dos primeiros agricultores assentados, em parte devido às dívidas contraídas da agricultura. Esta situação leva à venda do direito ao lote ou à sub-utilização do mesmo. A principal justificativa para o insucesso dessa parcela foi a falta de sintonia entre os produtores assentados, a assistência técnica, os agentes financiadores e o mercado consumidor. O principal insucesso dos pioneiros foi o cultivo de bananeiras de porte alto em solo arenoso em uma região de vento muito forte, o que acarretou tombamento das plantas. Segundo DIJ (2008), apenas 29% da área útil está ocupada com cultivos irrigados. A ociosidade dos lotes aumenta muito os custos fixos com a estrutura de uso comum.

A maior parte dos lotes do assentamento possui solo arenoso. A baixa capacidade de retenção de água deste tipo de solo acarreta um turno de rega pequeno, normalmente diário. O padrão de irrigação instalado pela CODEVASF é o sistema por aspersão convencional. A vazão máxima para cada lote é de  $26 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , o que resulta em 16 horas de trabalho diário para aplicar uma lâmina de 7 mm por dia na área de cinco hectares.

O aumento da área irrigada depende da redução do custo operacional da irrigação. Muitos agricultores investiram no sistema de microaspersão, irrigando durante o período de desconto tarifário de energia, entre 21:30 e 6:00. Entretanto, a irrigação por aspersão é importante por ser mais adequada para cultivos adensados como milho, feijão e mandioca, comuns na região.

Simões (2007) trabalhou com microaspersão no cultivo de lima ácida Taiti, em Jaíba, e identificou maiores taxas de transpiração e maior tamanho dos frutos com o aumento da área molhada.

Além de molhar a área total, o método de irrigação por aspersão tem um custo menor em relação à irrigação localizada. O molhamento foliar causado pela aspersão pode reduzir a incidência de insetos que atacam a planta e aumentar a fotossíntese devido à limpeza das folhas. A alteração do micro clima pode ser positiva quando diminui o déficit de pressão de vapor entre a planta e o ar e a temperatura do ar, mas pode ser negativa em cultivos mais susceptíveis a doenças.

Soares et al (2008) avaliou a irrigação por aspersão em 37 lotes de assentamento do Perímetro Irrigado do Jaíba, obtendo o valor médio de 28% para as perdas por

evaporação e arraste pelo vento e 77% para o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, sendo os testes realizados no período diurno.

## **2.2 Manejo da irrigação**

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. A decisão sobre o horário da irrigação considera o preço da energia elétrica, a disponibilidade de mão de obra e a eficiência de aplicação da água. A importância de se manejar a irrigação adequadamente envolve mais vantagens do que a economia de água. A água transporta os nutrientes e seu excesso provoca a lixiviação, afastando-os das raízes. O aumento da frequência de irrigação também pode atuar no micro-clima e favorecer o desenvolvimento de pragas e doenças na planta, assim como alterar a concentração de sais na superfície do solo.

A evapotranspiração inclui a evaporação, proveniente da água do solo e da superfície das folhas, e a transpiração da planta, que influi diretamente na produtividade porque favorece o fluxo de nutrientes pelas raízes. Entretanto, a evaporação da água na superfície do solo e da planta após a irrigação também influenciam na turgescência da folha, favorecendo a troca de gases pelos estômatos. Portanto, é necessário conhecer a interação da água com a planta para maximizar sua eficiência na produção agrícola.

Em 1990 especialistas da FAO adotaram o método Penman-Monteith como padrão para estimativa da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), uma variável teórica dependente da associação dos elementos climáticos (Allen et al, 1998). Esta equação é baseada em princípios físicos sobre troca de energia e fluxo de calor. Para estimar a evapotranspiração da cultura agrícola ( $ET_c$ ) adotou-se o coeficiente da cultura ( $K_c$ ), a ser multiplicado pelo valor da  $ET_0$ . Este coeficiente reflete as diferenças morfofisiológicas entre a cultura agrícola de interesse e a cultura hipotética considerada nos cálculos da  $ET_0$ .

Quando as condições de campo diferem das condições padronizadas por Allen et al (1998), coeficientes de correção são necessários para o ajuste da  $ET_c$ , tais como o coeficiente de déficit de umidade no solo ( $k_s$ ) e o de localização da irrigação ( $k_L$ ).

Doorembos & Pruitt (1977) propuseram quatro estádios de desenvolvimento para as culturas:

I. Estádio inicial: começa no plantio e se estende até a cobertura de 10% da superfície do solo pela planta;

II. Estádio de crescimento: inicia-se no final do primeiro estágio até completar a cobertura do solo;

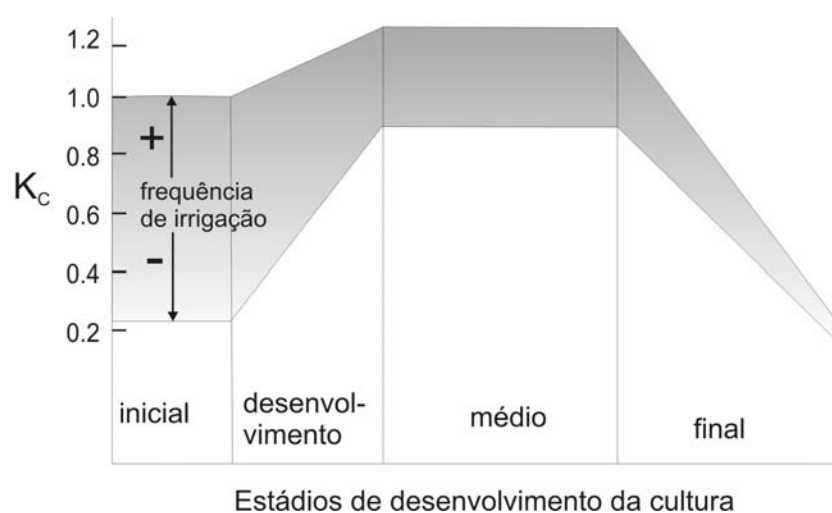
III. Estádio intermediário: ocorre da cobertura completa ao início da maturação; e

IV. Estádio final: que compreende o período desde o início da maturação até a colheita ou senescência.

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

Segundo Medeiros et al. (2004), o  $k_c$  é um parâmetro relacionado aos fatores climáticos e fisiológicos das plantas devendo, preferencialmente, ser determinado para as condições locais nas quais será utilizado.

A frequência e o horário da irrigação influenciam na evapotranspiração. Allen et al (1998) propõe o uso de um coeficiente específico para a evaporação, que depende da frequência de irrigação, da lâmina aplicada e do solo. Soares et al (2001) simulou e identificou o efeito da frequência de irrigação sobre o coeficiente da cultura no estágio inicial ( $k_{cini}$ ), seguindo o modelo de Ritchie. A Figura 2, extraída de Allen et al (1998), ilustra o aumento no valor do coeficiente da cultura ( $k_c$ ) com o aumento da frequência da irrigação. Nota-se que a frequência é mais influente no estágio inicial, uma vez que mantém a superfície do solo mais úmida. Com irrigações mais espaçadas a superfície do solo seca e o transporte da água para a superfície fica dificultado. Na condição de maior cobertura da área pela planta esta mantém a disponibilidade de água para evaporação, mesmo com a condição de irrigação menos frequente.



Fonte: Allen et al (1998)

Figura 2. Ilustração da faixa de valores de  $k_c$  influenciada pela frequência de irrigação.

O aumento do  $k_c$  devido à alta frequência da irrigação não significa diretamente um desperdício de água. A água evaporada do solo e da superfície foliar reduz o déficit de pressão de vapor entre a planta e a atmosfera. A planta tenderá a permanecer túrgida, favorecendo a troca de gases da fotossíntese.

O método do Tanque Classe A mede o efeito integrado da radiação, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa sobre a evaporação de uma superfície de água-livre. Entretanto, o calor acumulado na água do tanque apresenta influência na medição do próximo dia. Segundo Bernardo et al (2006), a utilização de metal não recomendado pode proporcionar um erro de até 30% na estimativa da evapotranspiração de referência.



Figura 3. Tanque Classe A.

A operação do Tanque Classe A é bastante simples e a variação do nível da água é medida com uma ponta em forma de gancho, assentada num poço tranquilizador, sendo a precisão da medida de cerca de 0,02 mm. A diferença entre leituras no nível da água resulta no valor da evaporação no período.

Doorenbos e Pruitt (1994) propuseram coeficientes específicos ( $k_t$ ) para a conversão da evaporação no tanque em evapotranspiração de referência:

$$ET_0 = k_t E_v \quad (1)$$

em que,

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

$k_t$  = coeficiente do tanque, adimensional;

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

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

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

em que,

$U^2$  = velocidade do vento à 2 m de altura,  $\text{m s}^{-1}$ ;

URmed = umidade relativa média, %;

Bordadura = faixa de grama que envolve o Tanque Classe A, m.

Em consequência da equação de ajuste do  $k_t$ , o agricultor necessita monitorar a umidade relativa e a velocidade do vento para garantir a precisão do método. Conceitualmente, o tanque não considera a resistência aerodinâmica e estomática da planta, os quais são considerados na equação de Penman-Monteith. O seu uso para o manejo da irrigação necessita da manutenção do nível da água no equipamento, de outras informações meteorológicas e de cálculos para estimar o  $k_t$ .

Visando simplificar o manejo da irrigação, Oliveira et al (2007) desenvolveram o Irrigâmetro. Este aparelho reúne visualmente as informações associadas ao manejo da irrigação com base nas características do solo, da planta e do sistema de irrigação, considerando o efeito integrado dos elementos meteorológicos sobre a evaporação de uma superfície de água exposta à atmosfera.

O manejo da irrigação conduzido com o Irrigâmetro torna-se visual e com didática simples. O custo operacional da tomada de decisão reduz muito, pois a informação pode ser obtida diretamente por quem lida com o equipamento de irrigação. O método está sujeito às mesmas imprecisões do Tanque Classe A porque não considera a resistência estomática da planta.

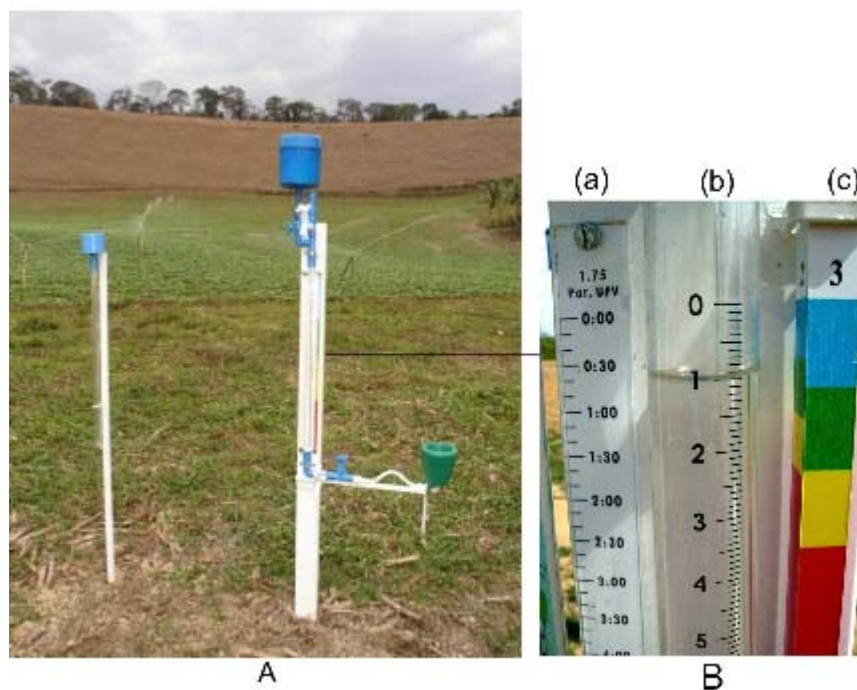


Figura 4. Irrigâmetro (A) e detalhe das escalas (B): (a) tempo de irrigação, (b) lâmina evapotranspirada e (c) indicação da necessidade de irrigação

O Irrigâmetro possui três escalas (Figura 4B): (a) Régua Temporal ou Percentual – indica o tempo de funcionamento ou a velocidade de deslocamento do sistema de irrigação a fim de repor a água evapotranspirada pela cultura; (b) Tubo de Alimentação - indica a lâmina de água evapotranspirada; e (c) Régua de Manejo - sem graduação, possui quatro faces e em cada uma delas, quatro faixas verticais de cores: azul, verde, amarela e vermelha, indicando a necessidade de irrigação.

O momento adequado para irrigar a cultura é indicado na Régua de Manejo, bastando observar o nível de água no Tubo de Alimentação em relação às faixas coloridas. Se o nível da água estiver na direção da faixa azul, não se deve irrigar porque o teor de água no solo está próximo da capacidade de campo. Se o nível da água estiver na direção da faixa verde, deve-se aumentar a atenção para observar o equipamento, mas ainda não é necessário irrigar. Quando o nível da água descer a ponto de atingir o início da faixa amarela é um alerta do momento de irrigar. Caso o nível da água abaixe a ponto de atingir a faixa vermelha, o Irrigâmetro estará indicando baixa disponibilidade de água no solo, mostrando ao irrigante que o momento de realizar a irrigação já passou (Oliveira e Ramos, 2008).

A evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro é ajustada pela altura do nível da água no evaporatório. Abaixando o evaporatório, o nível da água no seu interior aumenta pelo princípio dos vasos comunicantes. Devido ao formato cônico do evaporatório, a superfície da água exposta à atmosfera aumenta em proporção

quadrática à variação no nível da água. A relação entre a lâmina evaporada no evaporatório e a altura do mesmo é determinada pelo coeficiente do Irrigâmetro  $K_I$ .

O Irrigâmetro dispensa cálculo, e as únicas operações no aparelho são realizadas com quatro válvulas, que permitem o abastecimento e o ajuste do nível de água no interior do Tubo de Alimentação. A compensação da chuva é realizada descontando-se a lâmina de água medida num pluviômetro.

O Irrigâmetro foi avaliado experimentalmente na Universidade Federal de Viçosa, em trabalho desenvolvido por Tagliaferre (2006). Este autor obteve a Equação 3 com a análise de regressão entre  $K_I$  e o nível da água no evaporatório ( $h$ ), considerando todos os pares ordenados  $K_I, h$  para períodos diários.

$$K_I = 0,4551 e^{0,1615 h} \quad (3)$$

em que,

$K_I$  = coeficiente do Irrigâmetro, adimensional; e

$h$  = nível de água no evaporatório, cm.

Duas observações podem ser feitas na metodologia utilizada por Tagliaferre (2006). Primeiramente, a análise de regressão realizada não diferencia os valores de  $h$  na determinação do  $R^2$ . Além disso, pode-se melhorar a estatística para ponderar o coeficiente do Irrigâmetro atribuindo peso proporcional aos valores da evapotranspiração da cultura. Neste caso, um valor de  $K_I$  obtido em um dia ensolarado teria um peso maior do que o obtido em um dia nublado.

Considerando a importância de reduzir o custo operacional do manejo da irrigação, programas computacionais e tabelas simplificadas têm sido desenvolvidos. O uso dos softwares é ideal para administrar um número grande de informações, sejam referentes à variabilidade nos cultivos, custo de energia elétrica ou planejamento da fertirrigação.

Contin (2008) avaliou o uso de dois programas computacionais, REF-ET e Irriplus, juntamente com o Irrigâmetro e o Tanque Classe A, para estimar a evapotranspiração da cultura do feijoeiro plantado em Viçosa-MG. Esse autor concluiu que as lâminas médias recomendadas por estas metodologias não diferiram estatisticamente da lâmina média aplicada na irrigação, calculada com base no método padrão de estufa. Entretanto, a metodologia utilizada por este autor não considerou a ordem de ocorrência das irrigações, fazendo com que super-estimativas possam ser

anuladas por sub-estimativas posteriores, não representando os fenômenos de percolação e déficit hídrico em cada irrigação.

A evapotranspiração também pode ser influenciada pelo horário da irrigação. A Figura 5 mostra a diferença na coloração do solo da área experimental, em Jaíba-MG. Observa-se que a área escura apresenta maior umidade que a área clara. Leitão et AL (2000) analisaram a influência da irrigação sobre o albedo, tendo encontrado diferenças significativas para os diversos horários da irrigação (Tabela 1).



Figura 5. Efeito da umidade na coloração do solo.

Tabela 1. Alteração no valor do albedo diário para diferentes horários de irrigação

Horário da Irrigação	Alteração no albedo em valores absolutos (%)	
	Dia da Irrigação	Dia Seguinte
06 às 10 h	- 6,4	- 0,7
10 às 14 h	- 4,8	- 0,9
14 às 16 h	- 1,1	- 1,5
Após às 16h	+ 0,9	- 1,5

Os valores da Tabela 1 demonstram que a irrigação no período da manhã diminuiu o albedo em 7,3% em relação à irrigação realizada após as 16:00 h considerando o dia da irrigação. Leitão et al. (2000) observaram também que, no momento das irrigações realizadas entre as 10:00 h e 14:00 h, o valor médio do albedo reduziu de 24% para 16%, retomando o valor de 25% no final do dia. Esta redução na

reflexão da luz solar deve-se ao fato do índice de reflexão da água ser menor do que o do solo seco, ou seja, o solo fica mais escuro e opaco.

A importância das informações da Tabela 1 não se restringe ao ajuste do valor utilizado para o albedo. Trata-se de uma informação importante para a tomada de decisão sobre o horário da irrigação. A irrigação no final da tarde pode apresentar economia de água devido ao aumento do albedo quando comparada à irrigação no início da manhã.

O período de irrigação também pode influenciar a fisiologia das plantas, resultando em alterações na produtividade. O resfriamento causado pela irrigação tende a reduzir a respiração da planta e, com isso, aumentar a produtividade. Enquanto apenas os tecidos verdes fotossintetizam, todos os tecidos respiram, e o fazem 24 horas por dia. Os estômatos das plantas podem responder fortemente à demanda evaporativa da atmosfera, via decréscimos da condutância estomática na medida em que o ar se torna mais seco, restringindo também o influxo de CO<sub>2</sub> necessário à fotossíntese (Taiz e Zeiger, 2004).

### **2.3 Válvula intermitente para aspersor**

A válvula intermitente para aspersor tem a função de aumentar a potência hidráulica, acumulando a água pressurizada e descarregando-a em um pulso de maior vazão.

Segundo PAULA (2006), a válvula é composta de 2 partes principais, um acumulador elástico e um gatilho interno (Figura 6). A pressão acumulada depende da espessura do acumulador elástico e de suas propriedades mecânicas. O volume descarregado em cada pulso é ajustado no gatilho, que funciona automaticamente com o alongamento do acumulador elástico. O intervalo entre pulsos depende da vazão de entrada, responsável por inflar o acumulador.

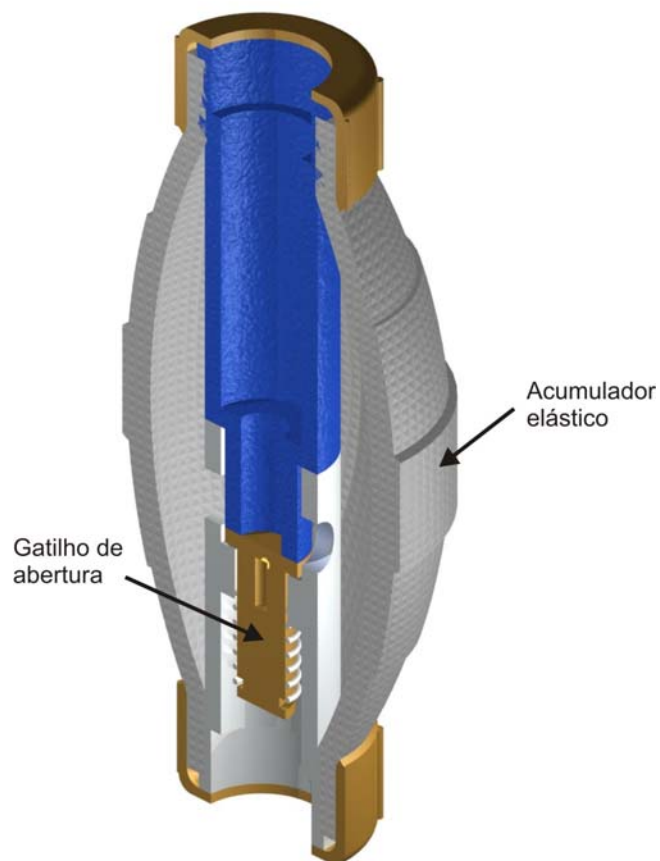


Figura 6. Componentes da Válvula Intermitente.

A aplicação da válvula em sistema de irrigação por aspersão (Figura 7), permite reduzir a intensidade de aplicação, na mesma proporção em que aumenta o número de aspersores em funcionamento e o tempo de irrigação.



Figura 7. Funcionamento da Válvula Intermitente com aspersor de  $2.400 \text{ L h}^{-1}$ , utilizando-se tubulação de 16 mm de diâmetro.

O uso de válvulas intermitentes em sistemas de irrigação por aspersão permite reduzir o diâmetro das tubulações, como mostrado na Figura 7. Esta figura ilustra o funcionamento de um aspersor com vazão nominal de  $2.400 \text{ L h}^{-1}$  com vazão real de  $500 \text{ L h}^{-1}$ , utilizando-se uma tubulação de 16 mm de diâmetro. O sistema fixo com válvula intermitente permite ajustar a intensidade de aplicação e variar o tempo de irrigação conforme necessário.

O principal produto comercial proveniente desta tecnologia é um conjunto de irrigação portátil para  $5.000 \text{ m}^2$ , caracterizado pela versatilidade obtida com a associação de uma bomba vibratória submersível de 450 w. Com o uso das válvulas intermitentes aumenta-se a quantidade de aspersores que funcionam simultaneamente. No caso de uso desta bomba, que funciona com vazão de  $1200 \text{ L h}^{-1}$  para a pressão de 30 mca, é possível funcionar 7 aspersores de  $1800 \text{ L h}^{-1}$ . Neste caso, a válvula intermitente permitiu a redução da vazão necessária para o aspersor de  $1800 \text{ L h}^{-1}$  para  $170 \text{ L h}^{-1}$ . A intensidade de aplicação é obtida pela razão entre a vazão da bomba e a área irrigada simultaneamente, resultando em  $0,3 \text{ mm h}^{-1}$ . A área irrigada próxima à 0,5 ha está associada à um mercado com dificuldades de realizar a irrigação por aspersão devido ao custo fixo envolvido com a infra-estrutura básica para fornecimento de água e energia. O produto é inovador por se auto-ajustar a desníveis de até 20 metros, utilizar bomba de baixa potência e vazão considerada insignificante para projetos de outorga de uso da água.

## **2.4 A cultura do girassol**

O girassol é uma planta rústica que se adapta bem a vários tipos de solo. O ciclo vegetativo varia entre 90 a 130 dias. O florescimento ocorre, em média, 60 dias após a semeadura. No beneficiamento de uma tonelada de grãos obtêm-se, em média, 300 quilos de torta com 48 a 50% de proteína, que pode ser utilizada na alimentação de aves, suínos e no confinamento e semiconfinamento do gado, especialmente na temporada seca, quando falta pastagem (EMBRAPA, 2005).

A espécie mais importante é o girassol comum (*Helianthus annuus* L.), que está entre as cinco maiores culturas oleaginosas produtoras de óleo vegetal comestível.

O girassol apresenta características desejáveis do ponto de vista agrônômico como ciclo curto e alta qualidade e quantidade de óleo produzido, antevendo-se uma boa e nova opção de renda aos produtores brasileiros. Esta possibilidade deverá ser aumentada com a recente decisão do governo federal em se utilizar o biodiesel na matriz energética nacional, por meio de sua adição ao óleo diesel comercial.

Ungaro (2000) comprovou a alta sensibilidade da cultura do girassol à deficiência de boro, mas não há ainda um padrão para esta adubação. Embrapa (2005) recomenda a aplicação do boro no período de floração. Empresas fornecedoras de sementes têm como recomendação técnica a aplicação de 2kg de boro por hectare na adubação de plantio, considerando a baixa mobilidade do boro no solo e na planta.

Silva et al (2007) avaliaram a produtividade do girassol para diferentes lâminas aplicadas por gotejamento, alcançando o valor máximo a 130% da ETc. Observa-se nos gráficos da Figura 8 que a lâmina de água influenciou positivamente a altura da planta (Ap) e a produtividade de grãos (Pg), mas não interferiu na mesma magnitude no diâmetro do capítulo (Dc), parte circular que envolve as flores do girassol. Nota-se que o percentual da área fecundada (Af) reduziu com o aumento da lâmina.

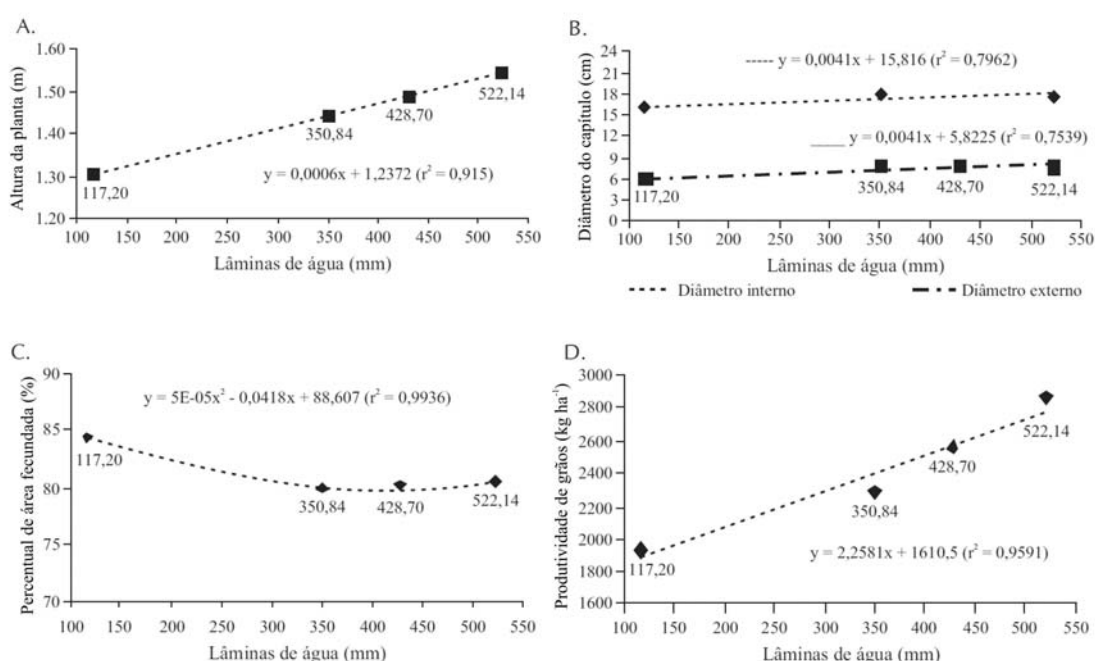


Figura 8. Dados sobre o cultivo do girassol obtidos por Silva et al (2007). A. Altura da planta (Ap), B. Diâmetro do capítulo (Dc), C. Percentual de área fecundada (Af) e D. Produtividade de grãos (Pg).

A quantidade de água consumida varia com o estágio da cultura até o florescimento, quando a superfície foliar é máxima. A resistência à difusão da água pelos estômatos é baixa; os estômatos são grandes, numerosos e densos, principalmente na face inferior do limbo (MERRIEN, 1992). Embrapa (2005) relata um aumento de 20% na eficiência do uso da água pelo girassol quando é cultivado sob estresse hídrico controlado.

Em períodos de estresse hídrico, os órgãos da planta do girassol apresentam uma diminuição de turgescência. As raízes perdem a maior quantidade de água (74%), seguidas pelas folhas (18%) e pelas hastes (8%). A área foliar se ajusta à disponibilidade de água para a planta. Se o estresse hídrico ocorre no início do cultivo, o desenvolvimento foliar é moderado; observa-se uma redução do vigor da planta e do número total de folhas. Se ocorre após o desenvolvimento, observa-se uma redução da área foliar, como decorrência da aceleração na senescência das folhas (MERRIEN, 1992).

Segundo Steduto et al. (2009), para a cultura de girassol, a porcentagem total média de água usada nos diferentes períodos de crescimento, situa-se por volta de 20% durante o estágio vegetativo, 55% durante o florescimento, restando 25% para o enchimento de grãos. O coeficiente da cultura (kc) é de 0,3 a 0,4 durante o estágio inicial (20 a 25 dias), 0,7 a 0,8 durante o estágio vegetativo (35 a 40 dias), 1,05 a 1,2 durante o florescimento (40 a 50 dias), 0,7 a 0,8 durante o enchimento de grãos (25 a 30 dias) e 0,4 na maturação fisiológica.

Bona et al. (2000), citado por Gomes (2005), relatam que o girassol é tolerante ao estresse hídrico comparado a outras culturas devido a características morfológicas e fisiológicas, ao sistema radicular profundo e também a algumas modificações metabólicas induzidas pela redução da disponibilidade da água no solo. A taxa de transpiração pode ser utilizada como um indicador do metabolismo, que está intimamente ligada ao processo fisiológico da planta. Eles verificaram, sob condições de clima temperado, que um dos efeitos morfológicos causados pelo estresse hídrico é a redução da área foliar e conseqüente redução do potencial fotossintético. A redução do crescimento foliar foi observada antes da redução da transpiração; isto demonstra que o girassol é hábil para tolerar o estresse hídrico pela limitação do crescimento foliar sem decréscimo da transpiração, mantendo a funcionalidade fisiológica. Além disso, a planta submetida a um estresse progressivo tende a se adaptar e ser mais eficiente que aquela com estresse tardio.

Connor & Hall (1997) relatam que as raízes do girassol são excepcionais, pois exploram o solo até grandes profundidades, podendo alcançar dois metros ou mais de profundidade, mais do que outras culturas anuais como trigo e sorgo, porém, com menor densidade de raízes. Sob condições irrigadas as raízes se concentram nos primeiros 20 cm de profundidade enquanto na cultura sob condições não irrigadas elas se distribuem pelo perfil do solo.

Há uma forte concentração de radículas, cerca de 80 a 90%, situadas nos primeiros 10 cm de profundidade; entre esta zona de radículas e a coifa da raiz principal pivotante existe uma interrupção de radículas. O sistema radicular do girassol é agressivo e pode colonizar bem o solo, porém é muito sensível à compactação do solo. As raízes têm um crescimento maior no início do ciclo, sendo mais importante do que o sistema aéreo; sua biomassa nesta fase representa cerca de 20 a 25% da biomassa total, reduzindo progressivamente sua influência com o crescimento da cultura até 15% (MERRIEN & MILAN, 1992).

Gomes (2005) estudou o efeito da irrigação sobre diversos parâmetros do girassol em Limeira-SP. Embora ele tenha observado que a profundidade da raiz aumentou em resposta ao estresse hídrico (Figura 9), a profundidade efetiva não apresentou alteração significativa (Tabela 2).



Figura 9. Diferença entre o sistema radicular do girassol sob os tratamentos Sem Irrigação (esquerda) e Irrigado (direita).

Tabela 2. Profundidade radicular efetiva obtida por Gomes (2005)

Tratamentos	Profundidade Efetiva (cm)	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )
Irigado	17,3	1.732
Sem Irrigação	17,8	1.121

Na planta sob déficit hídrico (Tratamento Sem Irrigação) o eixo radicular pivotante se pronuncia e se estende para zonas mais profundas em busca de água; quando a planta se encontra sob condições ótimas de disponibilidade de água, o sistema

radicular principal desenvolve raízes laterais, formando uma massa extensamente ramificada e superficial (Tratamento Irrigado).

Gomes (2005) também determinou o kc do girassol para as condições de Limeira-SP, utilizando um lisímetro de nível constante (Tabela 3). Observa-se que, no ano de 2003, os valores dos coeficientes da cultura foram maiores em comparação aos outros anos. Para o autor, este aumento no Kc pode ter sido causado pelas melhores condições de solo no experimento em 2003.

Tabela 3. Valores de kc para o girassol obtidos por Gomes (2005) e pela FAO (2004)

Dias após o plantio	2001	2002	2003	FAO (2004)
1 a 20	0,30	0,30	0,40	0,3 – 0,4
21 a 45	0,70	0,70	0,75	0,7 – 0,8
46 a 70	1,06	0,95	1,10	1,05 – 1,20
71 a 93	0,75	0,65	0,80	0,7 – 0,8
94 a 115		0,50	0,60	0,4

Um importante estudo sobre o girassol foi realizado pela EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais) em Janaúba, região Norte de Minas Gerais. Neste trabalho, Rezende et al (2006) avaliaram alguns genótipos de girassol no período das chuvas, com irrigação complementar. A Tabela 4 lista a produtividade para cada genótipo estudado. A aplicação do teste de Tukey mostrou que não houve diferença estatística para a produtividade ao nível de 5% de probabilidade. O valor médio obtido foi de 3.680 kg ha<sup>-1</sup>, 112% a mais do que o obtido por Gomes (2005) (Tabela 2) e 30% a mais do que o obtido por Silva et al (2007) (Figura 8).

Tabela 4. Produtividades obtidas por Rezende et al (2006) para diferentes genótipos do girassol

Genótipos	Helio 250	Helio 251	Helio 358	Helio 360	Epmg 01	Epmg 02
Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	3.943	4.176	3.927	3.775	3.276	2.983

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Área experimental**

O experimento foi conduzido no lote 72, área D do Perímetro Irrigado do Jaíba, próximo ao núcleo habitacional de Mocambinho, situada a 15° 36' de latitude Sul e 43° 42' de longitude Oeste, com altitude de 460 m. O lote agrícola é de propriedade da CODEVASF, a qual desenvolve no local um projeto para treinamento de jovens agricultores com apoio da Emater-MG. O solo é classificado como Neossolo Quartzarênico, com baixa capacidade de retenção de água. Os valores de capacidade de campo e de ponto de murcha permanente foram 5% e 3%, com densidade do solo igual a 1,70 g cm<sup>-3</sup>.

#### **3.2 Evapotranspiração de referência**

A evapotranspiração de referência foi calculada com base nos dados da estação automática do INMET, localizada a uma distância de 1,5 km da área experimental. Foi utilizada a equação de Penman-Monteith para dados horários, conforme as recomendações de Allen et al (1998), que mantém constante o valor de 0,34 que considera a resistência aerodinâmica e estomática da planta, embora o mesmo autor tenha proposto posteriormente uma variação para estes valores ao longo do dia. Os dados horários sobre os elementos climáticos foram obtidos pela Internet, transferidos para o software Excel, no qual foi calculada a ET<sub>0</sub> referente à cada hora (Equação 4). Os valores resultantes foram somados a cada 24 horas, a partir das 7:00, horário de leitura dos Irrigômetros.

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{37}{T_{hr} + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (4)$$

em que,

- $ET_0$  = evapotranspiração de referência, mm h<sup>-1</sup>;
- $R_n$  = saldo de radiação na superfície da cultura, MJ m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>;
- $G$  = fluxo de calor do solo, MJ m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>;
- $T_{hr}$  = temperatura do ar média horária, °C;
- $u_2$  = velocidade do vento a 2 m de altura, m s<sup>-1</sup>;
- $e_s$  = pressão de vapor de saturação, kPa;
- $e_a$  = pressão parcial de vapor, kPa;
- $e_s - e_a$  = déficit de pressão de vapor de saturação, kPa;
- $\Delta$  = declividade da curva de pressão de vapor, kPa °C<sup>-1</sup>; e
- $\gamma$  = coeficiente psicrométrico, kPa °C<sup>-1</sup>.

Para os cálculos utilizando dados horários foram realizados os ajustes propostos por Allen et al. (1998). O ajuste do fluxo de calor no solo (G) foi realizado atribuindo-se o valor de 0,1 R<sub>n</sub> no período diurno e -0,5 R<sub>n</sub> no período noturno. A pressão de vapor foi calculada pela equação 5.

$$e_a = e_s(T_{hr}) \frac{RH_{hr}}{100} \quad (5)$$

em que,

- $e_a$  = média da pressão de vapor horária, kPa;
- $e_s(T_{hr})$  = pressão do vapor de saturação à temperatura do ar T<sub>hr</sub>, kPa; e
- $RH_{hr}$  = média da umidade relativa horária, %.

Para fins comparativos foi calculada a ET<sub>0</sub> com dados médios diários, com base na equação 6.

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0,34u_2)} \quad (6)$$

A principal diferença entre os métodos com dados horários e diários está no cálculo do saldo de radiação de onda longa ( $R_{nl}$ ). Neste passo, a temperatura é elevada a quarta potência, ampliando as diferenças entre os cálculos envolvendo a temperatura média horária e as temperaturas máxima e mínima diárias (Equação 7). O método de estimativa da razão  $R_s/R_{s0}$  também é uma fonte de imprecisão no cálculo da  $ET_0$ . A relação entre radiação solar ( $R_s$ ) e radiação solar para o céu claro ( $R_{s0}$ ) foi estimada para o período noturno mantendo-se o valor obtido às 15:00, três horas antes do por do sol.

$$R_{nl} = \sigma \left[ \frac{T_{\max,K}^4 + T_{\min,K}^4}{2} \right] (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \left( 1,35 \frac{R_s}{R_{s0}} - 0,35 \right) \quad (7)$$

em que,

$R_{nl}$  = saldo de radiação de onda longa,  $MJ m^{-2} d^{-1}$ ;

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzman,  $4,903 \cdot 10^{-9} MJ K^{-4} m^{-2} d^{-1}$ ;

$T_{\max,K}$  = temperatura absoluta máxima durante o período de 24h, K;

$T_{\min,K}$  = temperatura absoluta mínima durante o período de 24h, K;

$R_s/R_{s0}$  = radiação relativa de onda curta, adimensional;

$R_s$  = radiação solar medida,  $MJ m^{-2} d^{-1}$ ; e

$R_{s0}$  = radiação de céu claro calculada,  $MJ m^{-2} d^{-1}$ .

Para cálculo com dados horários, Allen et al (1998) recomendam substituir na Equação 7, as temperaturas máxima e mínima diárias pela temperatura média horária (Equação 8). A constante de Stefan-Boltzman passa a ser  $2,043 \times 10^{-10} MJ m^{-2} h^{-1}$ .

$$R_{nl} = \sigma Thr^4 (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \left( 1,35 \frac{R_s}{R_{s0}} - 0,35 \right) \quad (8)$$

Foram comparados os valores obtidos para a  $ET_0$  com base em dados diários e dados horários. A metodologia com dados horários tende a ser mais precisa por considerar a interação entre os elementos climáticos. Uma justificativa para a maior precisão é a possibilidade de variação da velocidade do vento ao longo do dia

combinando com valores de umidade relativa diferentes. A amplitude e o horário destas variações são ignorados na metodologia com dados diários. Entretanto, quando a metodologia estudada utiliza valores médios diários é mais coerente compará-la com a  $ET_0$  calculada com base em dados diários.

### 3.3 Coeficiente do Irrigâmetro

Para este experimento foram usados seis Irrigômetros instalados numa área cercada com tela (Figura 10). O evaporatório de cada Irrigômetro foi ajustado numa altura diferente, de tal forma que os níveis da água no seu interior foram de 1, 2, 3, 4, 5, e 6 cm, aproximando a superfície da água à borda do evaporatório e aumentando seu valor devido ao formato cônico do evaporatório.

As evapotranspirações estimadas pelos Irrigômetros iniciaram no dia 6 de Junho de 2008 e terminaram no dia 4 de agosto do mesmo ano, totalizando 59 dias de observação. As medições foram realizadas diariamente às 7:00 h, zerando-se o aparelho em seguida. O período de 2 meses de medições é curto para se determinar adequadamente um coeficiente do Irrigômetro válido para todo o ano. Este período está compreendido na estação de inverno, apresentando valores menores de temperatura do ar e maiores de umidade relativa do ar, em relação às outras estações do ano.



Figura 10. Irrigômetros instalados na área experimental.

Neste trabalho foi proposto uma alteração na metodologia utilizada por Tagliaferre (2006) para cálculo do  $K_L$ , determinado diariamente pela razão entre a estimativa da evapotranspiração da cultura medida no Irrigômetro ( $ET_{c1}$ ) e a

evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ). Neste trabalho, foi atribuído ao  $K_I$  o valor do coeficiente angular ( $\beta_1$ ) da regressão linear entre o total dos valores de  $ET_{CI}$  e  $ET_0$  obtidos durante o experimento. Neste método estatístico o coeficiente linear ( $\beta_0$ ) é igual a zero. Para isso utilizou-se o software Excel o qual calculou o coeficiente linear conforme a equação 9.

$$K_I = \frac{\sum ET_0 ET_{CI} - \frac{(\sum ET_0)(\sum ET_{CI})}{n}}{\sum ET_0^2 - \frac{(\sum ET_0)^2}{n}} \quad (9)$$

em que,

$K_I$  = coeficiente do Irrigâmetro, adimensional;

$ET_{CI}$  = estimativa da evaporação da cultura no Irrigâmetro,  $mm\ d^{-1}$ ;

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

$n$  = número de pares de dados, adimensional.

Os valores obtidos com esta metodologia foram comparados com os valores obtidos pela metodologia utilizada por Tagliaferre (2006). A precisão nas medidas dos Irrigômetros foi dada pelo coeficiente de determinação ( $r^2$ ) para cada um dos níveis de água no evaporatório.

Para estudo da relação entre a altura do nível da água no evaporatório e o coeficiente do Irrigâmetro utilizou-se uma equação do segundo grau (equação 10) e uma equação linear (Equação 11), para comparação entre as duas. Tagliaferre (2006) utilizou uma equação exponencial, uma vez que esta resultou em maior  $r^2$ .

$$K_I = ah^2 + bh + c \quad (10)$$

em que,

$a, b$  e  $c$  = parâmetros da equação, adimensionais; e

$h$  = altura da lâmina de água no evaporatório, cm.

$$K_I = ah + b \quad (11)$$

### **3.4 Eficiência de aplicação da água e produtividade do girassol utilizando um sistema de irrigação por aspersão dotado de válvula intermitente, operando nos períodos diurno e noturno.**

A intensidade, a uniformidade e a eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação intermitente foram determinadas nos períodos diurno e noturno, com três testes em dias diferentes ao longo do experimento. O aspersor utilizado foi o Excel Wobler, da marca Senninger, com vazão de  $540 \text{ L h}^{-1}$ . Este modelo de aspersor foi selecionado por apresentar boa distribuição de água sem sobreposição de aspersores, além de apresentar gotas de maior diâmetro do que aspersores de impacto, contribuindo para diminuir a deriva pelo vento. O aspersor foi avaliado isoladamente, sem sobreposição. A malha de coletores foi montada em uma parcela quadrada de 6 m, representativa de cada aspersor, onde foram instalados 36 coletores espaçados de 1 m (Figura 11).



Figura 11. Coletores distribuídos em volta do aspersor utilizado no experimento.

Para verificar a relação entre o horário de irrigação e a produtividade da cultura do girassol foram diferenciadas 20 parcelas experimentais, 10 irrigadas no período diurno e 10 irrigadas no período noturno. O turno de rega foi diário, considerando-se a baixa capacidade de retenção de água do solo e a profundidade radicular efetiva.

Para separar as parcelas em dois períodos de irrigação foram instaladas duas linhas principais, uma pressurizada no período diurno e outra no período noturno, conforme Figura 12. O sistema de irrigação foi montado de forma a aplicar uma lâmina de  $1,1 \text{ mm h}^{-1}$  simultaneamente nas parcelas submetidas ao mesmo tratamento.



Figura 12. Montagem da irrigação com um setor para cada tratamento.

Em cada linha principal foi instalada uma válvula de gaveta para irrigar cada setor separadamente nos períodos diurno e noturno. Ao longo das linhas principais foram conectadas as tubulações dos aspersores de cada parcela, distribuídas ao acaso.

As parcelas tiveram 6 m de lado e foram espaçadas de 15 m, de forma a evitar que a água do aspersor de uma parcela atingisse a outra (Figura 13). A área entre as parcelas não foi cultivada e não recebeu água, resultando em um saldo extra de energia causando um efeito oásis de forma semelhante em todas as parcelas. Em trabalhos posteriores recomenda-se cultivar toda a área para amenizar este efeito oásis.

Cada parcela experimental foi composta de 12 linhas de plantio com média de 15 plantas em cada linha, resultando em aproximadamente 180 plantas de girassol por parcela.



Figura 13. Vista das parcelas experimentais no campo.

O solo foi preparado para o plantio com o uso de arado de disco, grade aradora e grade niveladora. A germinação de sementes de plantas daninhas presentes no solo foi promovida com a aplicação de 4 mm de irrigação diária, no período noturno, durante sete dias antecedentes ao plantio. Para o controle das plantas daninhas que emergiram foi aplicado glifosato na dose de 2 L ha<sup>-1</sup>. Embora o controle tenha sido significativo, esta aplicação não foi eficaz no controle das plantas Trapoeraba (*Commelina benghalensis*) e Leiteiro (*Euphorbia heterophylla*), causando apenas o efeito de retardo no seu desenvolvimento. As plantas que permaneceram foram controladas com capina aos 30 dias após o plantio.

O plantio foi realizado no dia 12 de junho com espaçamento de 0,5 m entre linhas e 0,4 m entre covas. Utilizou-se uma plantadora/adubadora manual, ajustada para semear entre duas e quatro sementes por cova. A adubação de plantio foi realizada com adubo NPK 4-30-10 na dosagem de 200 kg ha<sup>-1</sup>.

A adubação de cobertura ocorreu aos 30 dias após a emergência, juntamente com a capina e o desbaste das plantas de girassol, de maneira a estabelecer uma densidade de 50.000 plantas por hectare. Na adubação foram aplicados sulfato de amônio, na proporção de 40 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, e cloreto de potássio, na proporção de 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

A adubação com boro foi realizada via irrigação, aplicando-se adubo foliar na dosagem de 0,65 kg ha<sup>-1</sup>. A aplicação de boro foi parcelada em duas vezes, sendo que metade da dose foi aplicada no momento da adubação de cobertura e a outra metade no

início do florescimento, diluído na água de irrigação no período noturno para todas as parcelas.

Os valores do coeficiente de cultura foram de 1,1 para as fases inicial e de desenvolvimento, e de 0,4 para a fase final, de acordo com as recomendações de Allen et al (1998). O ciclo da cultura foi estimado em 90 dias. Não houve ocorrência de chuva durante o cultivo.

Visando uniformizar a germinação, aplicou-se uma lâmina diária de 7 mm, entre 18:00 e 01:00 h, nos três primeiros dias subseqüentes ao plantio. A partir do quarto dia, no cálculo do tempo de irrigação considerou-se a Equação 11 e o Kc recomendado no boletim FAO 56.

$$T_i = \frac{ET_0 \cdot K_c}{E_d E_a I_a} \quad (11)$$

em que,

$T_i$  = tempo de irrigação, h;

$K_c$  = coeficiente da cultura do girassol, adimensional;

$E_d$  = eficiência de distribuição, adimensional;

$E_a$  = eficiência de aplicação, adimensional; e

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

O cálculo da eficiência de aplicação foi realizado conforme a equação 12 e somou a lâmina evaporada durante o teste com a lâmina coletada. Atribuiu-se o valor do coeficiente de uniformidade de Christiansen para a eficiência de distribuição objetivando uma área adequadamente irrigada de 80%. No início dos testes foi adicionada uma lâmina de 10 mm em cada coletor da parcela e em um coletor de referência para evaporação, colocado fora da área abrangida pelo aspersor. A lâmina de água evaporada no coletor de referência foi somada às lâminas de água coletadas.

$$E_a = \frac{(L_c - L_{ini} + L_e)}{L_{ap}} \quad (12)$$

em que,

$L_c$  = lâmina de água coletada, mm;

$L_{ini}$  = lâmina de água inicial do coletor, mm;

$L_e$  = lâmina de água evaporada no coletor de referência, mm;

$L_{ap}$  = lâmina de água aplicada pelo aspersor, mm.

A colheita foi feita em 30 plantas de cada parcela, escolhendo-se três fileiras de plantas. Não foram colhidas plantas periféricas nem plantas adjacentes ao aspersor.

Após a colheita, os capítulos foram debulhados manualmente, peneirados e pesados. No peneiramento foram retirados também os grãos chochos. A umidade da amostra de grãos de cada parcela foi determinada pelo método padrão de estufa (24 h, a 105°C). No cálculo da produtividade considerou-se ajuste do peso para a umidade de 12% em base seca.

A função de produção do cultivo do girassol foi determinada para confirmar sua sensibilidade a diferentes valores de lâmina de irrigação. Os testes foram realizados em uma parcela exclusiva cultivada da mesma forma que o experimento principal com aplicação de um gradiente na lâmina de água da irrigação tipo “point source”. Foram avaliadas três fileiras de plantas. A fileira central foi disposta radialmente ao aspersor, com duas outras fileiras em paralelo, espaçadas de 0,5 m entre linhas e entre coletores (Figura 14). As lâminas de irrigação foram coletadas em duas fileiras de 12 coletores instalados em cada lado da fileira central. As lâminas de irrigação foram reduzindo conforme o aumento da distância entre as plantas e o aspersor, formando um “point source”. Para o valor de cada lâmina considerou-se a média dos dois coletores adjacentes à planta central. Na estimativa da produtividade considerou-se três plantas alinhadas aos coletores, obtendo-se 12 valores médios. A área de contorno foi cultivada de forma semelhante para prover o efeito de bordadura.



Figura 14. Arranjo dos coletores para obtenção da função de produção do girassol

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Elementos climáticos

As variações dos valores médios diários dos elementos climáticos estão ilustradas nas Figuras 15 e 16. Os dados foram coletados entre 6 de Junho e 16 de Agosto de 2008.

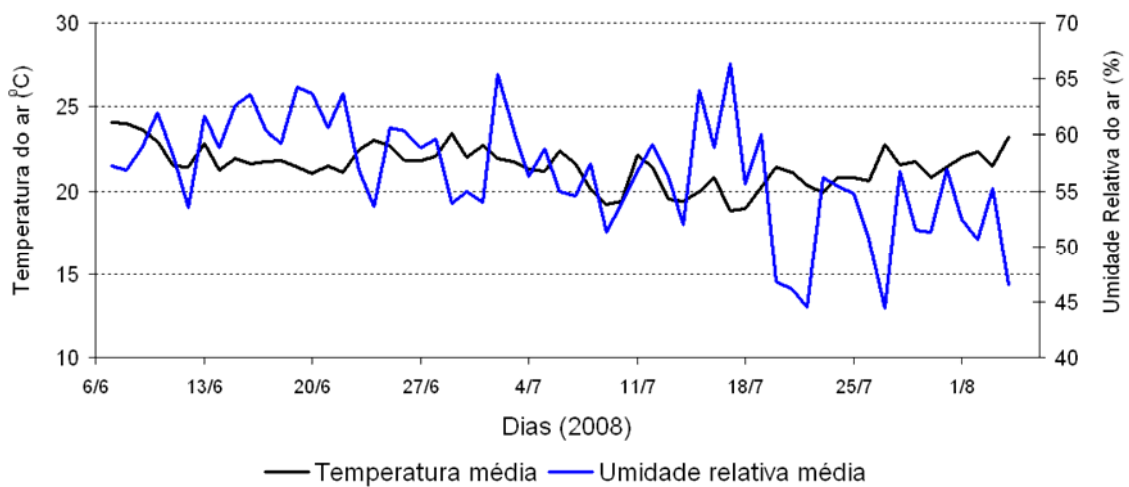


Figura 15. Variação diária da temperatura e da umidade relativa do ar durante o período experimental.

A temperatura média diária se manteve entre 20°C e 25°C na maior parte do tempo. Notam-se valores muito baixos de umidade relativa nos meses de julho e agosto. No dia 21 de Julho, a umidade relativa mínima foi de 16% no horário de 15 horas, associada a uma velocidade do vento horária de  $3,5 \text{ m s}^{-1}$ , enquanto que o valor de umidade relativa média para este dia foi de 42%. Esta amplitude de valores refletiu nas variações da eficiência de aplicação ao longo do dia.

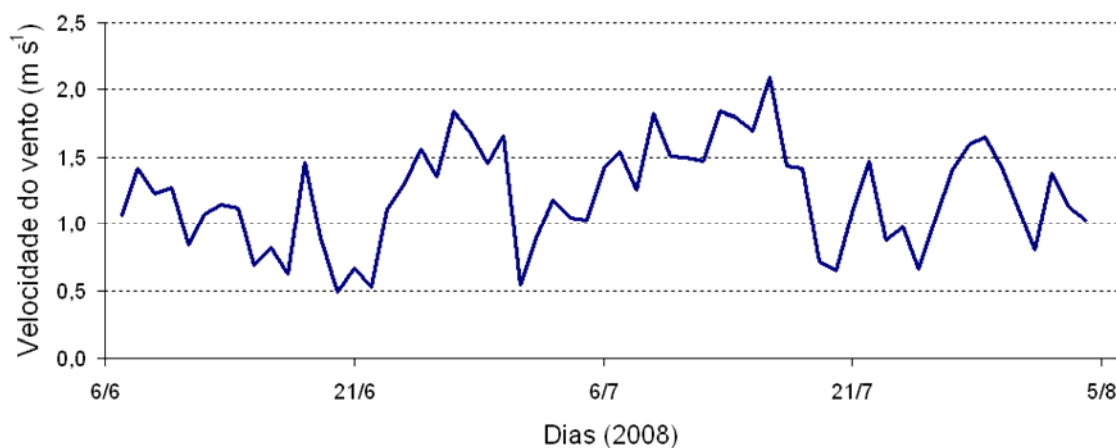


Figura 16. Valores médios diários de velocidade do vento ao longo do período experimental.

A velocidade do vento afeta a uniformidade de aplicação e a perda de água por arraste. Foi verificada uma grande amplitude nos valores da velocidade do vento nos testes de avaliação da eficiência de aplicação da irrigação. A Figura 16 mostra que no dia 15 de julho a velocidade média do vento atingiu  $2,2 \text{ m s}^{-1}$ , mas o valor máximo horário foi de  $4,4 \text{ m s}^{-1}$ , ocorrido às 10 horas, enquanto que entre meia noite e 5 da manhã, a velocidade do vento horária se manteve próxima de zero. Não houve precipitação pluvial durante o período experimental.

#### 4.2 Evapotranspiração de referência

Na Figura 17 são apresentados valores de  $ET_0$  durante o período experimental, calculados com a equação de Penman-Monteith FAO 56 utilizando dados horários e dados médios diários. O cálculo da  $ET_0$  com dados horários foi realizado aplicando-se os dois métodos de estimativa da razão  $R_s/R_{so}$  propostos por Allen et al (1998). Um método mantém o valor obtido de  $R_s/R_{so}$  às 15 horas para o restante da noite e o outro atribui o valor desta razão igual a 0,8 a partir das 17 horas.

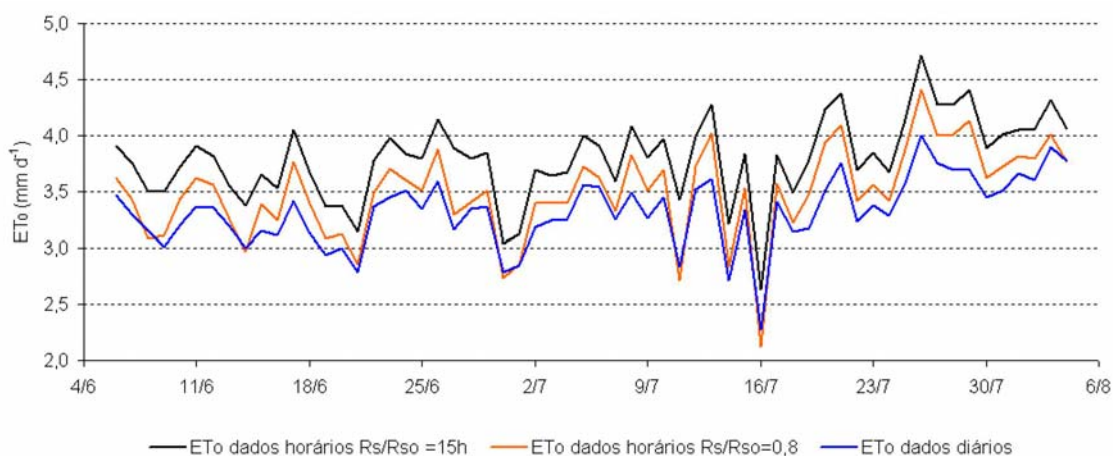


Figura 17. Variação da  $ET_0$  ao longo do período experimental, calculada pelos três métodos propostos por Allen et al (1998).

A metodologia com dados horários tende a ser mais precisa por considerar a interação entre os elementos climáticos. Uma justificativa para a maior precisão é a possibilidade de variação da velocidade do vento ao longo do dia combinando com valores de umidade relativa diferentes. A amplitude e o horário destas variações são ignoradas na metodologia com dados diários. A permanência do valor de  $Rs/R_{so}$  obtido 3 horas antes do por do sol tende a ser mais próxima da realidade por considerar um valor real, em relação ao valor de 0,8 atribuído às regiões de clima seco em geral. A  $ET_0$  estimada com a manutenção do valor de  $RS/R_{so}$  às 15 horas foi maior do que com o valor atribuído de 0,8, de forma coerente com a predominância de céu claro durante à noite, observada durante o período experimental.

O valor médio da  $ET_0$  calculada com base em dados diários foi 8% inferior ao obtido no cálculo com dados horários mantendo o valor obtido de  $Rs/R_{so}$  às 15 horas para o restante da noite. Diferença semelhante de ordem inversa foi percebida no balanço de ondas longas ( $R_{nl}$ ), com aumento no valor calculado com médias diárias (Figura 18). Neste caso, o  $R_{nl}$  foi calculado com base na média entre os valores de temperatura máxima e mínima das 24 horas. No caso de dados horários, o  $R_{nl}$  foi calculado com períodos de uma hora e somados os resultados das 24 horas. As diferenças entre estes métodos de cálculo são ampliadas à quarta potência no cálculo do  $R_{nl}$ . Diferença semelhante não foi perceptível nos outros elementos climáticos componentes do  $R_{nl}$ .

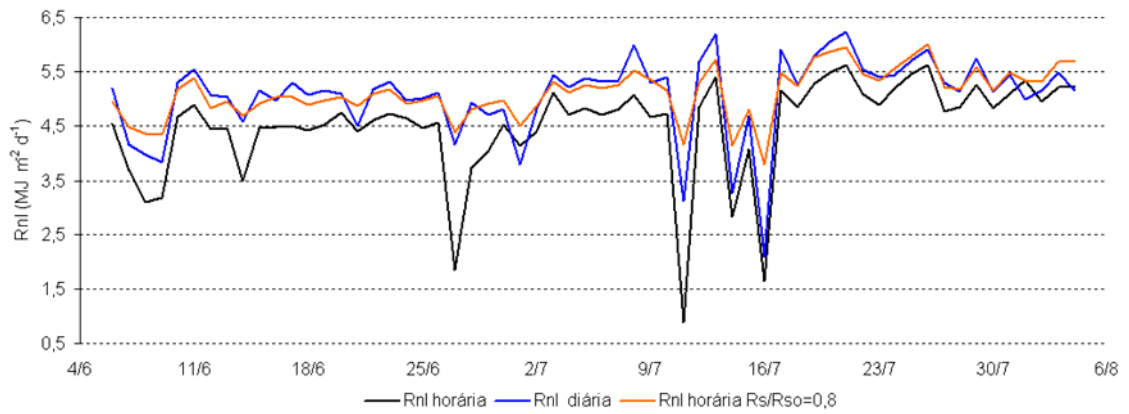


Figura 18. Valores de Rnl obtidos em três métodos de cálculo.

### 4.3 Coeficiente do Irrigâmetro

Os dados apresentados na Figura 19 foram obtidos no período entre 6 de Junho a 6 de Agosto, no qual os Irrigômetros foram zerados diariamente. As equações de regressão estabelecem a relação entre os valores de evapotranspiração estimados por cada Irrigâmetro ( $ET_{CI}$ ) e a  $ET_0$ , com valor nulo  $\beta_0$ . Assim, o valor de  $K_I$  corresponde ao valor do coeficiente angular  $\beta_1$ . Os valores de  $K_I$  obtidos foram 0,42, 0,69, 0,85, 1,07, 1,34 e 1,61 para os Irrigômetros com níveis de água no evaporatório de 1, 2, 3, 4, 5 e 6 cm respectivamente. Estes valores se aproximaram dos valores obtidos utilizando o método proposto por Tagliaferre (2006), diferenciando-se na segunda casa decimal. Desta forma não se identificou vantagem no uso da metodologia proposta. A diferença entre as metodologias pode ser melhor identificada em estudos mais longos com maiores amplitudes climáticas.

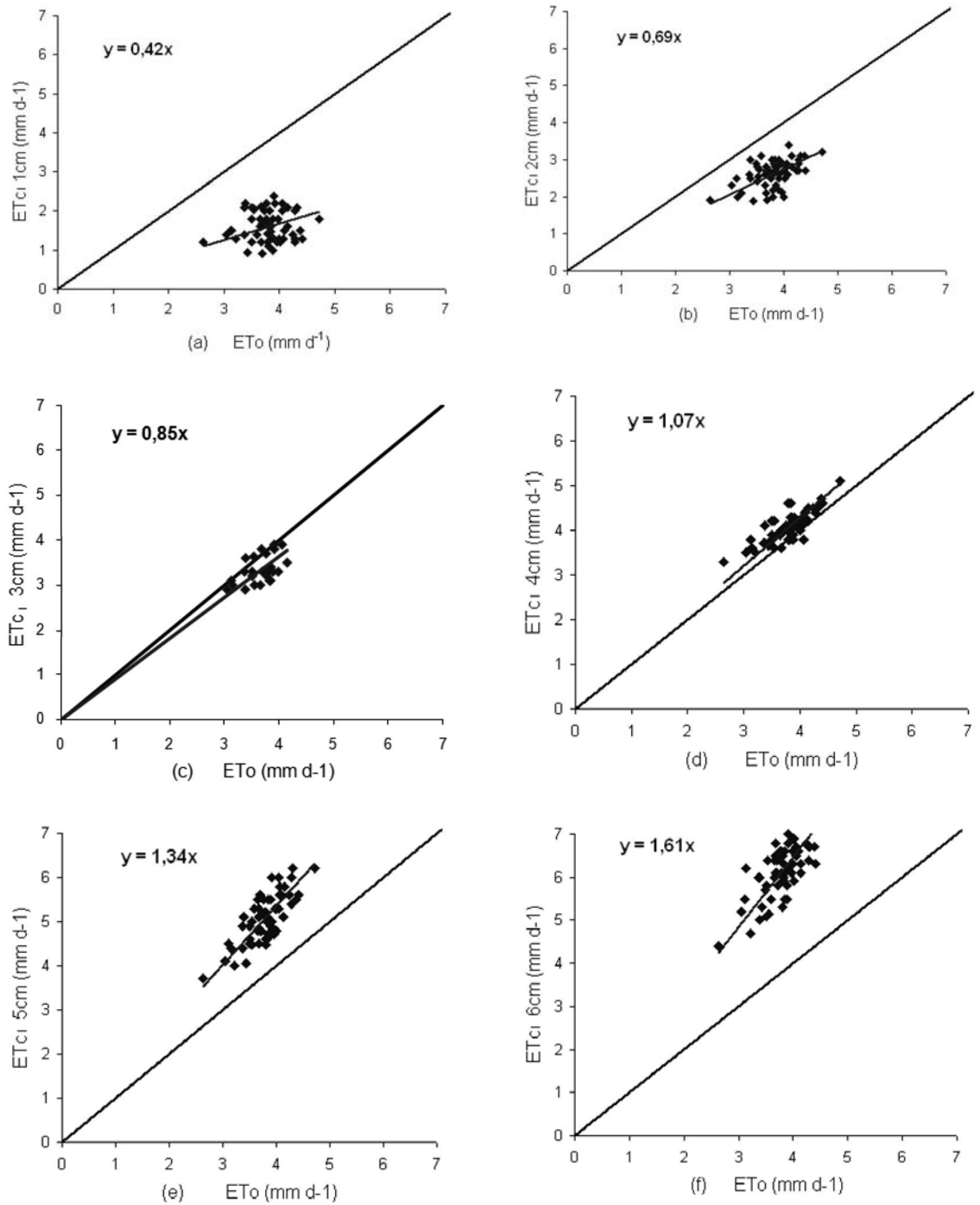


Figura 19. Evapotranspiração da cultura estimada pelo Irrigâmetro ( $ET_{CI}$ ) nos níveis de água iguais a 1cm (a), 2cm (b), 3cm (c), 4cm (d), 5cm (e) e 6cm (f) no evaporatório, em comparação com os valores de  $ET_0$  determinados pelo método padrão, para períodos diários, com  $\beta_0 = 0$  e  $\beta_1 = K_I$ .

A equação de regressão  $K_I = 0,008h^2 + 0,177h + 0,258$  relaciona os valores do coeficiente do Irrigâmetro ( $K_I$ ) associados aos níveis de água no evaporatório ( $h$ ), com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,996, ou seja, mais de 99% dos valores obtidos foram explicados pela equação; entretanto, o valor de 0,008 não é significativo pelo teste t, refletindo que a relação entre as duas grandezas está próxima da linearidade. A

regressão linear resulta na equação  $K_I = 0,232h + 0,184$  com um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 0,994.

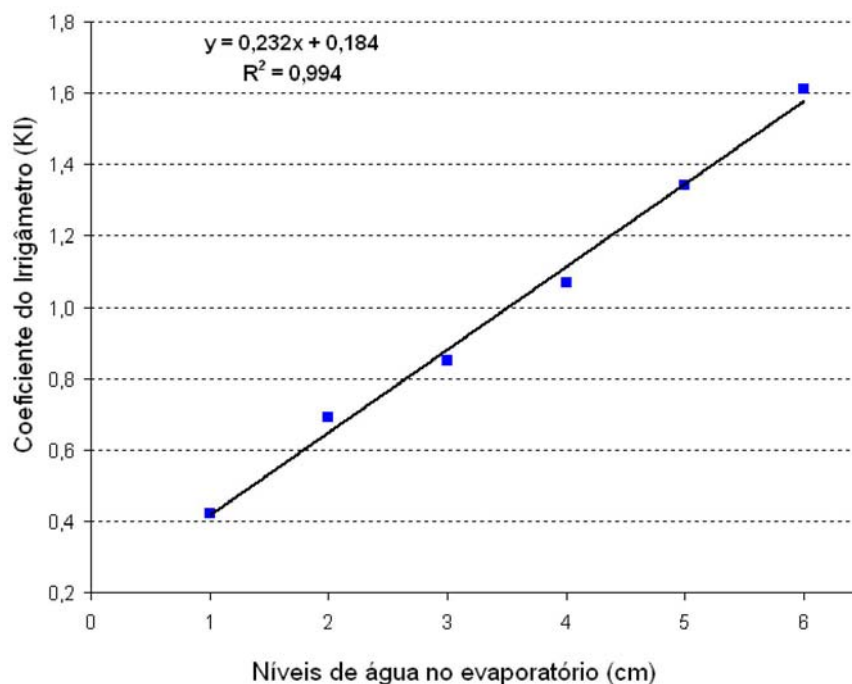


Figura 20. Valores do coeficiente do Irrigâmetro ( $K_I$ ) para as diferentes alturas do nível de água no evaporatório (h).

A evaporação no evaporatório foi menor do que a esperada considerando a sua relação com a superfície da água exposta à atmosfera. Uma justificativa para esta redução é o aumento do volume de água acumulada no reservatório com o aumento do seu nível, retardando o seu aquecimento e a sua evaporação.

Caso o Irrigâmetro seja usado para estimar a  $ET_0$  no período estudado, recomenda-se que o nível de água no evaporatório seja mantido em 3,7 cm, valor correspondente ao  $K_I = 1$ .

As estimativas de evapotranspiração da cultura obtidas no Irrigâmetro ajustado no nível de 4 cm, acompanharam as mudanças nos valores da  $ET_0$  ao longo do período de medição (Figura 22). O valor máximo da  $ET_0$  foi de 4,7  $\text{mm d}^{-1}$  e ocorreu no dia 26 de Julho. O valor mínimo da  $ET_0$  foi de 2,6  $\text{mm d}^{-1}$  e ocorreu no dia 16 de Julho.

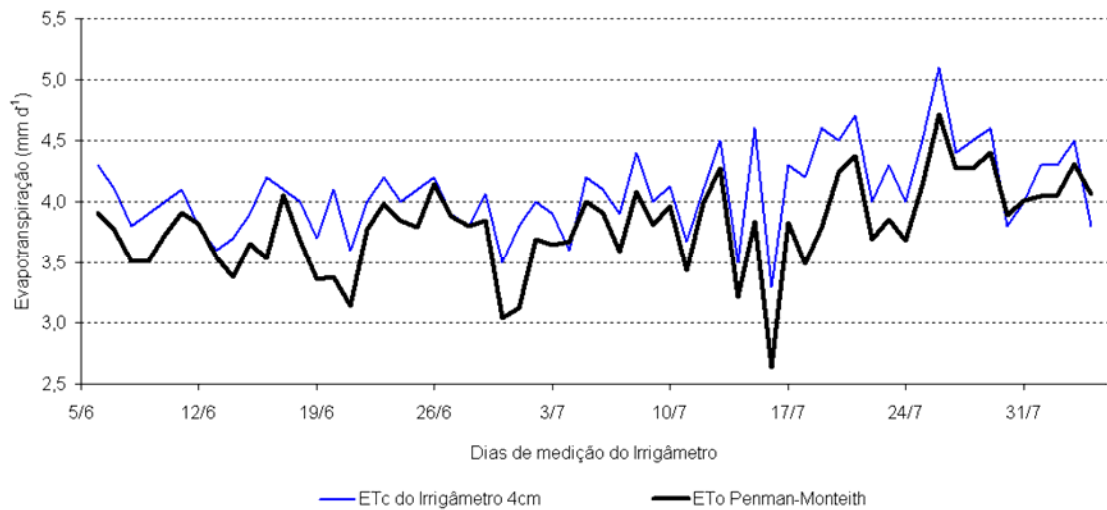


Figura 22. Valores de ETC estimada pelo Irrigâmetro com nível de 4cm da água no evaporatório ( $K_I=1,07$ ) e da  $ET_0$ , ao longo do período de medição.

#### 4.4 Eficiência de aplicação da água e produtividade do girassol utilizando um sistema de irrigação por aspersão dotado de válvula intermitente, operando nos períodos diurno e noturno.

##### 4.4.1 Eficiência e uniformidade de aplicação de água.

Na Tabela 5 tem-se os resultados obtidos nas avaliações do aspersor Excel Wobbler. Segundo informações presentes no catálogo do fabricante, este aspersor apresenta vazão de  $0,684 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  operando com pressão de serviço de 200 kPa, diâmetro de alcance de 14,3 m e intensidade de aplicação média de  $4,3 \text{ mm h}^{-1}$ . O uso da válvula intermitente permitiu reduzir a intensidade de aplicação para  $1,1 \text{ mm h}^{-1}$  uma vez que reduz a vazão para  $0,175 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . Esta redução na vazão ocorreu pelo fato das válvulas pulsarem com frequência proporcional à vazão da bomba.

Tabela 5. Resultados da avaliação da eficiência e da uniformidade de aplicação de água

Período	Data	Horário	Eficiência de aplicação (%)	CUC
Diurno	12-Jun	7:00 - 12:00	63	93
	9-Aug	7:00 - 14:45	61	98
	24-Sep	7:00 - 11:00	52	97
Noturno	12-Jun	18:00 - 23:00	94	97
	9-Aug	18:00 - 23:00	95	97
	24-Sep	18:00 - 20:00	95	93

Houve variação acentuada na eficiência de aplicação entre os períodos diurno e noturno, mas a uniformidade se manteve muito elevada em ambos os tratamentos. Os valores de eficiência de aplicação foram semelhantes aos encontrados por Soares (2008) na mesma região e inferiores às estimadas por Keller (1984). Esta redução pode ter sido ocasionada pela baixa umidade relativa, com valores próximos de 15%. Outro motivo provável foi o arranjo experimental, o qual permitiu áreas intercaladas de solo seco, formando um efeito oásis.

Considerando os valores obtidos para eficiência e uniformidade de aplicação, foram aplicadas as lâminas de irrigação apresentados na Figura 23. A lâmina de irrigação total aplicada no período noturno foi de 447 mm, representando uma economia de 32% comparativamente aos 660 mm aplicados no período diurno.

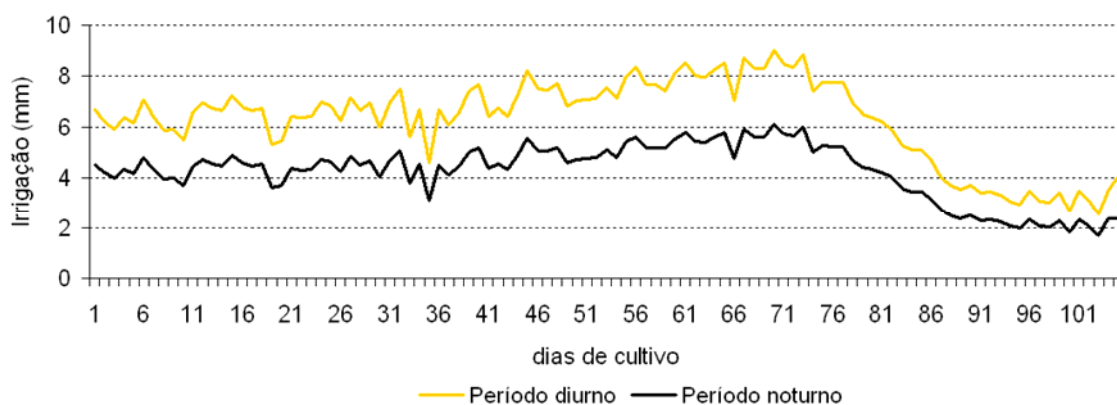


Figura 23. Lâminas de irrigação aplicadas nos dois tratamentos.

O Kc inicial recomendado por Allen et al (1998) foi alto, influenciado pela frequência de irrigação, coincidindo com o valor 1,1 recomendado para o estágio 3. Após o enchimento de grãos (estádio 3), o Kc foi gradualmente reduzido de 1,1 para 0,4, considerando 15 dias para o estágio final, segundo previsão da empresa Helianthus

do Brasil, fornecedora das sementes. A irrigação foi suspensa quando se verificou o endurecimento das sementes. Houve um atraso de 14 dias na colheita de acordo com o esperado para o híbrido utilizado, provavelmente devido às baixas temperaturas verificadas durante o período de desenvolvimento.

#### **4.4.2 Produtividade do girassol**

A produtividade média para a irrigação no período diurno foi de  $6,1 \text{ t ha}^{-1}$  e para o período noturno foi de  $6,3 \text{ t ha}^{-1}$ . A aplicação do teste t entre as médias de produtividade mostrou que estas não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade.

A baixa intensidade de aplicação da água associada à alta taxa de evapotranspiração no período diurno ocasionou uma evaporação de parte da água de irrigação. Esta lâmina de água evaporada diretamente das folhas da planta durante a irrigação não foi descontada do valor de água aplicada, resultando no valor de produtividade semelhante ao período noturno. Ou seja, o acréscimo de evaporação da água causado pelo uso da válvula intermitente no período diurno não reduziu a produtividade.

A média de  $6,2 \text{ t ha}^{-1}$  foi 100% superior à obtida por Embrapa (2005) e Resende (2006) para o mesmo genótipo, na mesma região e em solo semelhante. A metodologia utilizada neste trabalho difere na aplicação do boro e na frequência de irrigação. No experimento realizado por Resende (2006) o boro foi aplicado no solo por ocasião do plantio e foram realizadas somente três irrigações durante o cultivo do girassol. Considerando a semelhança nas condições da região e de genótipos entre estes cultivos do girassol, o aumento de produtividade observado no presente trabalho pode ter sido causado pelo manejo da irrigação adequado ao solo. A manutenção da umidade do solo próximo à capacidade de campo facilita o transporte de nutrientes. O molhamento foliar freqüente tende a atuar positivamente na produtividade porque reduz o déficit de pressão de vapor entre a folha da planta e o ar no período diurno, e também por reduzir a temperatura e o metabolismo no período noturno. Estas ações proporcionaram um bom desenvolvimento do capítulo (Figura 24). Os espaços de solo seco entre as parcelas experimentais representam outro fator que atuou positivamente para a produtividade, pois acrescentou mais energia solar ao micro clima.



Figura 24. Capítulo bem desenvolvido com alta taxa de fecundação e 42cm de diâmetro.

#### 4.4.3 Função de produção

Na Figura 25 tem-se valores de produtividade da cultura do girassol em função da lâmina de água aplicada na irrigação no período noturno, expressa em percentagem da  $ET_0$ . Esta função de produção demonstra a sensibilidade da cultura à variação na quantidade de água aplicada e reforça a validade das conclusões deste trabalho. De acordo com a função de produção ajustada, a produtividade máxima é de  $6.108 \text{ kg ha}^{-1}$ , correspondente à aplicação de uma lâmina equivalente a 135% da  $ET_0$ .

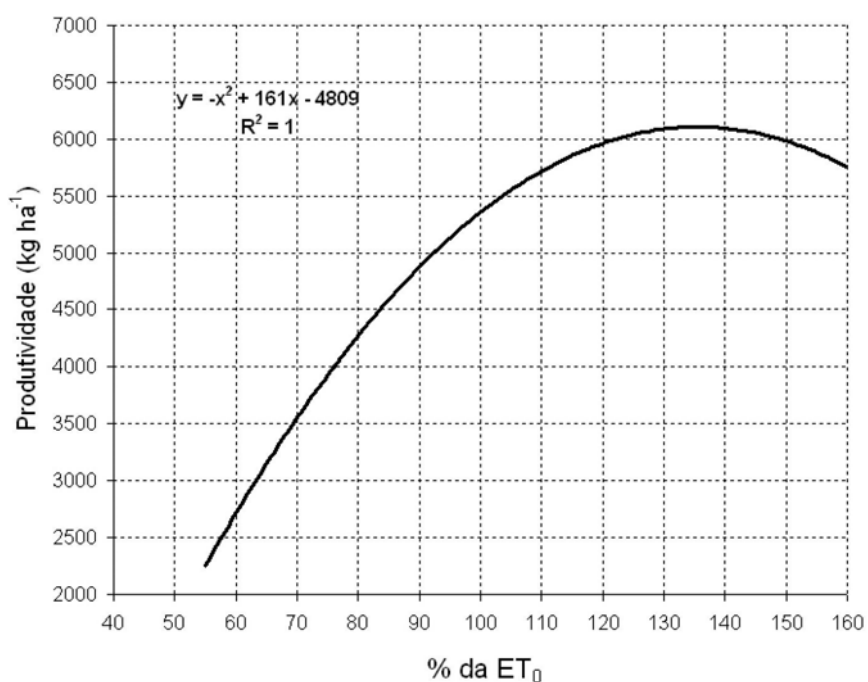


Figura 25. Função de produção para o girassol cultivado no Perímetro Irrigado do Jaíba, em Jaíba-MG.

## 5. CONCLUSÕES

1. Os valores de  $K_1$  obtidos foram de 0,42, 0,69, 0,85, 1,07, 1,34 e 1,61 para alturas do nível de água do evaporatório iguais a 1, 2, 3, 4, 5 e 6 cm, respectivamente.
2. Os valores médios de eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação dotado de válvula intermitente para aspersor foram de 59% no período diurno e de 95% no período noturno, resultando, neste período, em economia de água de 32% com produtividades equivalentes de  $6.143 \text{ kg ha}^{-1}$  para as parcelas irrigadas no período diurno e de  $6.281 \text{ kg ha}^{-1}$  para as parcelas irrigadas no período noturno.
3. O uso da válvula intermitente para aspersor gerou uma baixa intensidade de aplicação, causando a evaporação de grande parte da água aplicada nas plantas de girassol durante a irrigação no período diurno devido ao clima quente e seco. Esta parcela da água foi contabilizada positivamente e a produtividade se manteve como esperado, caracterizando que a válvula intermitente também pode ser utilizada no período diurno em clima com altas demandas evapotranspirométricas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O. **Reference evapotranspiration factors**. Journal of Irrigation e Drainage Engineering. New York, v. 117, n. 5, p. 758-772, 1991.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO (Irrigation and drainage Paper, 56) 310p, 1998.
- CONTIN, F. S **Tecnologia do irrigômetro aplicada no manejo da irrigação do feijoeiro**. Viçosa, UFV, 2008. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV. Imprensa Universitária. 2006. 625 p.
- BONA, S.; MOSCA, G.; CANTELE, A.; VAMERALI, T. **Response of sunflower to progressive water stress**. In: International Sunflower Conference, 15, 2000, Toulouse, Paris: International Sunflower Association, 2000. vol. I, p.D58-D63.
- CONNOR D. J. & HALL A. J. **Sunflower physiology. Sunflower technology and production**. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. 1997. p. 113-182
- DIJ, Distrito de Irrigação do Jaíba, **Panorama geral** Disponível na Internet <http://www.projetoJaiba.com.br>, 2008
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO,1977. 179 p. (Irrigation and Drainage Paper, 24)
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Recomendações técnicas para o cultivo de girassol**. Disponível na Internet. <http://www.cnpso.embrapa.br>, 10 Fev. 2005.
- STEDUTO, P et al. FAO. **Crop water management . Sunflower**. Disponível na Internet. [http://www.fao.org/nr/water/cropinfo\\_sunflower.html](http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_sunflower.html), 2009.

GOMES, E. M. **Parâmetros básicos para a irrigação sistemática do girassol (*Helianthus annuus* L.)** Campinas, FEC, UNICAMP, 2005. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2005.

LEITÃO, M.M.V.B.R.; OLIVEIRA G.M. **Influência da irrigação sobre o albedo. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.2, p.214-218, 2000.

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

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

MERRIEN, A. & MILAN M. J. **Physiologie du tournesol.** Paris. Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains, 1992. Racines et feuilles. p. 21-27

OLIVEIRA, R.A. et al. **Irrigâmetro (PI0502488-9).** Revista da Propriedade Industrial n. 1883 p. 73, 2007.

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

PAULA, A.L.T. **Capacitor de fluxo (PI0403542-9).** Revista da Propriedade Industrial n. 1838 p. 126, 2006.

RESENDE, J. C. F. de **Características de híbridos de girassol no norte de Minas Gerais.** EPAMIG – Centro Tecnológico do Norte de Minas, Caixa Postal 12, 39440-000 Janaúba, MG, 2006.

SILVA, M. L. O. et al. **Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de água.** Campina Grande, PB Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.11, n.5, p.482–488, 2007.

SILVEIRA, P. M.; STONE L. F. **Irrigação.** Informe Agropecuário, EPAMIG, v.5, n.223, p.74-82, 2004.

SIMÕES W. L. **Influência de diferentes sistemas de microaspersão na distribuição de água no solo e nas respostas morfofisiológicas do *citrus latifolia* tanaka sobre o porta-enxerto *Citrus limonia* OSBECK.** Viçosa, UFV, 2007. Tese Doutorado, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa.

SOARES W. R., Sedyama G.C., Ribeiro A. Costa, M. N. **Influência da frequência de irrigação no coeficiente de cultura no estágio inicial de desenvolvimento ( $K_{cini}$ ), em três tipos de solos.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 67-74, 2001.

SOARES A. A. et al. **Avaliação e diagnóstico dos sistemas de irrigação do perímetro irrigado do Jaíba** Jaíba MG, Relatório Técnico disponível na CODEVASF 1ª SR, 2008

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

TAIZ, L., ZEIGER, E., 2004. **Fisiologia vegetal.** 3rd ed. Porto Alegre: Artmed, 719 p.

UNGARO, M. R. G. **Cultura de girassol.** Boletim Técnico, 188. Instituto Agronômico, Campinas. 2000. 36p.

## **ANEXOS**

### ANEXO 1: Dados da avaliação do aspersor

Teste realizado dia 12/06 entre 7:00 e 12:00							
Lâmina inicial (mm)	10						
Lâmina final (mm)	7	Lâminas coletadas (mm)					
Lâmina evaporada (mm)	3						
Tempo (h)	5,0	9,8	10,2	10,5	10,9	11,7	12
Lâmina coletada (mm)	10,5	10	10,4	10,7	11,5	12,5	11,4
L coletada - L final	3,5	10,2	10	11,5	13,2	12	11,5
CUC (%)	93	9,6	9,5	11	12	11	10,5
Intensidade de aplicação	1,1	9,2	9,6	10,3	10,7	10,7	10,7
Eficiência de aplicação (%)	63	8,7	9	9,4	9,8	10,2	10,4
Eto durante o dia (mm)	4						
Eto durante o teste (mm)	2						
Etc durante o dia (mm)	Plantio						
Velocidade do vento (m/s)	1,5						

Teste realizado dia 12/06 entre 18:00 e 23:00							
Lâmina inicial (mm)	10						
Lâmina final (mm)	9,5	Lâminas coletadas (mm)					
Lâmina evaporada (mm)	0,5						
Tempo (h)	5,0	14,3	14,3	14,3	14,3	14,5	14,3
Lâmina coletada (mm)	14,7	14,4	14,4	14,9	15,9	14,4	14,4
L coletada - L final	5,2	14,4	14,9	22,8	26,1	16,2	14,6
CUC (%)	97	14,4	14,9	20,2	24,1	15,9	14,6
Intensidade de aplicação	1,1	14,6	14,3	14,9	15,3	14,6	14,7
Eficiência de aplicação (%)	94	14,3	14,3	14,4	14,4	14,3	14,3
Eto durante o dia (mm)	4						
Eto durante o teste (mm)	0,2						
Etc durante o dia (mm)	Plantio						
Velocidade do vento (m/s)	0,5						

Teste realizado dia 09/08 entre 7:00 e 14:45							
Lâmina inicial (mm)	10						
Lâmina final (mm)	4,2	Lâminas coletadas (mm)					
Lâmina evaporada (mm)	5,8						
Tempo (h)	7,75	9,2	9,2	9,5	9,3	9,2	9
Lâmina coletada (mm)	9,4	9,2	9,4	9,7	9,7	9,3	8,8
L coletada - L final	5,2	9,4	9,7	10,5	11,6	9,4	9,1
CUC (%)	98	9,3	9,6	10	11	9,7	9,5
Intensidade de aplicação	1,1	9,2	9,5	9,7	9,7	9,7	9,7
Eficiência de aplicação (%)	61	9,2	9,2	9,5	9,5	9,7	9,4
Eto durante o dia (mm)	5,2						
Eto durante o teste (mm)	3,9						
Etc durante o dia (mm)	4,5						
Velocidade do vento (m/s)	1,9						

---

Teste realizado dia 09/08 entre 18:00 e 22:30

---

Lâmina inicial (mm)	10						
Lâmina final (mm)	9	Lâminas coletadas (mm)					
Lâmina evaporada (mm)	1						
Tempo (h)	4,50	13,3	13,3	13,4	14,0	14,0	13,5
Lâmina coletada (mm)	13,7	13,2	14,0	14,5	14,8	14,7	14,0
L coletada - L final	4,7	13,2	13,7	20,1	20,6	15,0	14,0
CUC (%)	96	13,0	13,5	20,2	22,3	14,5	14,0
Intensidade de aplicação	1,1	13,0	13,5	13,8	14,0	14,2	13,7
Eficiência de aplicação (%)	95	12,5	13,0	13,0	13,4	13,5	13,5
Eto durante o dia (mm)	4						
Eto durante o teste (mm)	0						
Etc durante o dia (mm)	4,5						
Velocidade do vento (m/s)	0,7						

---

Teste realizado dia 24/09 entre 7:00 e 11:00

---

Lâmina inicial (mm)	10						
Lâmina final (mm)	7,7	Lâminas coletadas (mm)					
Lâmina evaporada (mm)	2,3						
Tempo (h)	4	9,8	9,8	10,3	9,3	9,8	9,5
Lâmina coletada (mm)	10,0	9,8	9,8	10,3	10,3	10	9,3
L coletada - L final	2,3	9,8	10,3	11,6	13,3	10,3	9,4
CUC (%)	97	9,8	9,8	10,5	11	10,3	10,1
Intensidade de aplicação	1,1	9,8	10,1	10,3	10,3	10,3	10,3
Eficiência de aplicação (%)	52	9,8	9,8	10,1	10,6	10,3	10,3
Eto durante o dia (mm)	5,2						
Eto durante o teste (mm)	1,8						
Etc durante o dia (mm)	2,1						
Velocidade do vento (m/s)	2,3						

---

Teste realizado dia 24/09 entre 18:00 e 20:00

---

Lâmina inicial (mm)	10						
Lâmina final (mm)	9,5	Lâminas coletadas (mm)					
Lâmina evaporada (mm)	0,5						
Tempo (h)	2,00	10,5	10,5	11,2	12,5	13,0	12,5
Lâmina coletada (mm)	11,6	10,8	11,3	11,8	13,0	13,0	12,8
L coletada - L final	2,1	10,5	11,5	20,0	21,0	13,0	12,5
CUC (%)	93	10,5	11,3	17,1	20,2	13,3	12,0
Intensidade de aplicação	1,1	10,7	11,0	11,0	11,5	12,0	11,6
Eficiência de aplicação (%)	95	10,5	10,5	10,8	11,0	11,2	11,3
Eto durante o dia (mm)	5						
Eto durante o teste (mm)	0,3						
Etc durante o dia (mm)	2,1						
Velocidade do vento (m/s)	2,7						

---

## ANEXO 2: Dados do cálculo da produtividade

Os dados relacionados com o cálculo da produtividade estão listados abaixo. Os grãos apresentaram valores baixos de umidade. O peso de 1.000 sementes apresenta valores semelhantes aos encontrados por Gomes (2005) e Silva (2007). A Tabela 8 mostra que umidade dos grãos das parcelas irrigadas no período diurno (média 7,6%) foi ligeiramente inferior à umidade dos grãos nas parcelas irrigadas no período noturno (média 9,4).

Tabela A2. Valores relacionados com o cálculo da produtividade em cada parcela.

Parcela	M30(kg)	P (kg ha <sup>-1</sup> )	Tr (g)	Pu (g)	Ps (g)	U (%)	P12 (kg ha <sup>-1</sup> )	P1000 (g)
D1	3.225	5.375	40.30	119.83	114.42	7	5.610	65.7
D2	3.510	5.850	38.43	123.76	117.80	8	6.094	65.0
D3	2.945	4.908	37.15	134.38	128.29	7	5.153	65.1
D4	3.330	5.550	35.90	123.97	116.85	9	5.713	62.6
D5	3.670	6.117	36.56	117.44	111.15	8	6.318	63.7
D6	3.670	6.117	45.67	157.12	148.57	8	6.325	64.2
D7	4.090	6.817	46.01	161.74	153.70	7	7.104	69.0
D8	3.915	6.525	44.76	162.54	154.23	8	6.792	67.2
D9	3.825	6.375	46.87	159.56	151.56	8	6.633	65.9
D10	3.250	5.417	46.02	165.34	157.85	7	5.686	61.9

Parcela	M30(kg)	P (kg ha <sup>-1</sup> )	Tr (g)	Pu (g)	Ps (g)	U (%)	P12 (kg ha <sup>-1</sup> )	P1000 (g)
N1	3,515	5.858	29.74	110.59	105.09	7	6.115	68.9
N2	3,410	5.683	30.65	98.54	92.67	9	5.815	64.3
N3	3,815	6.358	37.4	86.03	82.25	8	6.568	63.2
N4	4,155	6.925	38.53	85.67	81.76	9	7.113	70.6
N5	4,040	6.733	43.28	148.63	138.65	10	6.827	66.3
N6	3,755	6.258	44.23	145.78	136.82	10	6.391	65.8
N7	3,545	5.908	39.81	130.43	121.94	10	5.997	63.2
N8	4,035	6.725	42.51	142.47	132.64	11	6.791	67.7
N9	3,410	5.683	36.37	84.56	80.29	10	5.801	65.3
N10	3,145	5.242	32.27	85.92	81.53	9	5.390	62.6

### ANEXO 3: Dados do cálculo da função de produção

Tabela A3. Valores envolvidos no cálculo da produtividade. Raio – distância do coletor ao aspersor, Lc – Lâmina coletada, % ETc – Taxa de aplicação em relação à ETc, P3 – peso dos grãos colhidos em 3 plantas, Tr - Tara do recipiente de secagem, Pu – Peso do recipiente com grãos úmidos, Ps – Peso do recipiente com grãos secos, U(%) – Umidade dos grãos em base seca, P12 – conversão do peso dos grãos colhidos em 3 plantas para umidade de 12%, P – Produtividade.

Raio	Lc	% ETc	P3 (g)	Tr (g)	Pu (g)	Ps (g)	U(%)	P12 (g)	P (t ha <sup>-1</sup> )
1.0	10.0	250	233.10	39.58	108.38	87.45	44	182	3.03
1.5	7.0	175	281.48	40.55	99.59	85.93	30	242	4.04
2.0	6.0	150	296.52	38.68	107.66	94.82	23	270	4.50
2.5	5.0	125	548.84	36.86	117.62	102.15	24	497	8.28
3.0	4.0	100	391.19	36.99	103.76	90.79	24	353	5.88
3.5	3.5	88	284.05	28.13	89.70	83.19	12	284	4.74
4.0	3.0	75	246.18	26.89	86.01	77.40	17	236	3.93
4.5	3.0	75	276.62	41.14	110.35	97.91	22	254	4.24
5.0	3.0	75	217.33	31.02	93.89	82.11	23	198	3.30
5.5	2.0	50	186.75	35.67	102.40	92.65	17	179	2.98
6.0	2.0	50	153.77	39.66	99.40	92.87	12	153	2.56
6.5	1.5	38	118.36	31.50	87.27	84.33	6	126	2.09

#### ANEXO 4: Análise química do solo

Tabela A4. Análise química do solo de amostras retiradas da camada de 0 a 20cm de profundidade na área experimental, utilizada para cálculo de adubação.

Composição química	Nível no solo	Unidade	Classificação
pH	6,6	-	Alto
MO	0,9	dag kg <sup>-1</sup>	Baixo
P	12,3	mg dm <sup>-3</sup>	Baixo
P rem	12,9	mg L <sup>-1</sup>	Baixo
K	91	mg dm <sup>-3</sup>	Bom
Ca	2,0	Cmol dm <sup>-3</sup>	Médio
Mg	0,6	Cmol dm <sup>-3</sup>	Médio
Al	0,0	Cmol dm <sup>-3</sup>	Muito baixo
H+Al	0,9	Cmol dm <sup>-3</sup>	Muito baixo
SB	2,9	Cmol dm <sup>-3</sup>	Médio
t	2,9	Cmol dm <sup>-3</sup>	Médio
T	3,8	Cmol dm <sup>-3</sup>	Baixo
V	76	%	Muito bom
m	0,0	%	Muito baixo
B	0,3	mg dm <sup>-3</sup>	Baixo
Cu	0,4	mg dm <sup>-3</sup>	Baixo
Fe	4,4	mg dm <sup>-3</sup>	Muito baixo
Mn	40,1	mg dm <sup>-3</sup>	Alto
Zn	2,2	mg dm <sup>-3</sup>	Bom

Tabela A5. Análise química do solo de amostras retiradas da camada de 20 a 40cm de profundidade na área experimental, utilizada para cálculo de adubação.

Composição química	Nível no solo	Unidade	Classificação
pH	6,6	-	Alto
MO	0,3	dag kg <sup>-1</sup>	Muito baixo
P	4,9	mg dm <sup>-3</sup>	Muito baixo
P rem	38,2	mg L <sup>-1</sup>	Muito baixo
K	91	mg dm <sup>-3</sup>	Bom
Ca	1,4	Cmol dm <sup>-3</sup>	Médio
Mg	0,3	Cmol dm <sup>-3</sup>	Baixo
Al	0,0	Cmol dm <sup>-3</sup>	Muito baixo
H+Al	0,9	Cmol dm <sup>-3</sup>	Muito baixo
SB	1,9	Cmol dm <sup>-3</sup>	Médio
t	1,9	Cmol dm <sup>-3</sup>	Baixo
T	2,8	Cmol dm <sup>-3</sup>	Baixo
V	68	%	Bom
m	0,0	%	Muito baixo
B	0,2	mg dm <sup>-3</sup>	Baixo
Cu	0,4	mg dm <sup>-3</sup>	Baixo
Fe	6,3	mg dm <sup>-3</sup>	Muito baixo
Mn	20,2	mg dm <sup>-3</sup>	Alto
Zn	0,8	mg dm <sup>-3</sup>	Baixo