



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**CONSUMO HÍDRICO DA CULTURA DO GIRASSOL IRRIGADA NA REGIÃO
DA CHAPADA DO APODI - RN**

JEANINE FALCONI ACOSTA

Campina Grande – Paraíba

Fevereiro de 2009

JEANINE FALCONI ACOSTA

**CONSUMO HÍDRICO DA CULTURA DO GIRASSOL IRRIGADA NA REGIÃO
DA CHAPADA DO APODI - RN**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de mestre.

Área de concentração: Agrometeorologia

Subárea: Necessidades Hídricas de Culturas

Orientador: Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo

Campina Grande – Paraíba

Fevereiro de 2009

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA
CENTRAL DA UFCG**

A168c

2009

Acosta, Jeanine Falconi.

Consumo hídrico da cultura do girassol irrigada na região da Chapada do Apodi - RN / Jeanine Falconi Acosta. — Campina Grande, 2009.

56f. : il.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo.

1. Evapotranspiração de Referência. 2. Evapotranspiração da Cultura. 3. Coeficiente de Cultivo. 4. Balanço de Energia. I. Título.

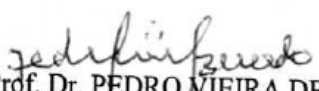
CDU- 551.5:631(043)


JEANINE FALCONI ACOSTA


CONSUMO HÍDRICO DA CULTURA DO GIRASSOL IRRIGADA NA REGIÃO DA
CHAPADA DO APODI - RN

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 05/02/2009

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. JOSÉ RENATO CÔRTEZ BEZERRA
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Algodão

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais, Carmen e Marsolis,
com carinho e gratidão.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Carmen Acosta e Marsolis Acosta, pelo carinho, confiança e incentivo na realização desse trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo, pelos conhecimentos transmitidos, apoio e incentivo nessa etapa da minha vida acadêmica.

Ao Dr. José Renato Cortez Bezerra, pela amizade e dedicação, além de sua enorme contribuição na realização do experimento de campo.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de estudo oferecida durante o curso.

À coordenação do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, principalmente à Divanete Cruz Rocha Farias (secretária), pela competência de seus serviços e dedicação aos alunos.

A todos os professores que direta ou indiretamente contribuíram para o meu aprendizado.

Aos meus amigos, que mesmo distantes me apoiaram na concretização desse sonho.

Ao grande amigo Rafael da Costa Ferreira, presente em minha vida durante os dois anos de realização desse curso.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS.....	i
LISTA DE EQUAÇÕES.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vi
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1 – INTRODUÇÃO.....	1
2 – REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 - Cultura de Girassol.....	4
2.1.1 - Características morfológicas do Girassol.....	6
2.1.2 - Exigências climáticas, hídricas e de solo.....	7
2.2 - Evapotranspiração da Cultura.....	10
2.3 - Evapotranspiração de Referência.....	12
2.4 - Coeficiente de Cultura.....	15
2.5 – Balanço de energia.....	18
3 – MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1 – Área Experimental.....	22
3.2 – Cultura Utilizada.....	24
3.3 – Instrumentação.....	26
3.3.1 – Instrumentos utilizados na determinação da ET_o	26
3.3.2 – Instrumentação utilizada.....	27
3.3.3 – Irrigação.....	29
3.4 – Evapotranspiração de Referência.....	30
3.5 – Balanço de Energia sobre Cultura e Evapotranspiração.....	34
3.6 – Coeficiente da Cultura.....	37
4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
4.1 – Ciclo do girassol.....	38
4.2 - Balanço de Energia sobre Cultura.....	40
4.3 – Evapotranspiração de Referência.....	42
4.4 – Evapotranspiração da Cultura.....	43

4.5 – Lâmina de água aplicada e consumo hídrico.....	45
4.6 – Coeficiente de cultivo.....	46
4.7 - Rendimento de grãos.....	48
5 – CONCLUSÕES.....	49
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

GREGOS

β – razão de Bowen.

γ - coeficiente psicrométrico.

δ – declinação solar.

Δ - declividade da curva de pressão de vapor no ponto de T.

ε - razão entre as massas moleculares da água e do ar seco.

π – número trigonométrico.

σ - constante de Stefan-Boltzmann.

φ – latitude local.

ω_s – ângulo horário.

LATINOS

arc cos – função trigonométrica.

BE – balanço de energia.

cos – função trigonométrica.

C_p - calor específico do ar seco à pressão constante.

CATI - Coordenação de Assistência Técnica Integral.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento.

d_r – inverso da distância relativa Terra-Sol.

e - pressão de vapor d'água.

e_a - pressão de vapor d'água média diária.

e_s - pressão de saturação do vapor d'água média diária.

$e^0(T_{\min})$ - pressão de saturação do vapor d'água para a temperatura mínima.

$e^0(T_{\max})$ – pressão de saturação do vapor d'água para a temperatura máxima.

ECA - evaporação de água do tanque Classe A.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

EMPARN - Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte.

ET – evapotranspiração.

ET_c - evapotranspiração da cultura.

ET_m - evapotranspiração máxima da cultura.

ET_o - evapotranspiração de referência diária.

FAO – Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação.

G - fluxo diário de calor no solo.

G_{sc} – constante solar.

H – fluxo diário de calor sensível.

IAF – índice de área foliar.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

J - dia Juliano.

K_c - coeficiente da cultura.

K_h - coeficiente de difusão turbulenta de calor sensível.

K_p - coeficiente do tanque Classe A.

K_w - coeficiente de difusão turbulenta de calor latente.

L - calor latente de vaporização da água.

LE - fluxo diário de calor latente.

MG – Estado de Minas Gerais.

P - energia utilizada no processo fotossintético.

PE – Estado de Pernambuco.

P_p - período do dia em que o saldo de radiação é positivo.

p_o - pressão atmosférica média local.

q - umidade específica do ar.

R_a – radiação extraterrestre.

R_n - saldo diário de radiação.

R_{nl} - balanço de radiação de ondas longas.

R_{ns} - balanço de radiação de ondas curtas.

R_r - radiação refletida pela cultura.

R_s - radiação solar incidente.

R_{so} - radiação solar para dias de céu claro.

RJ – Estado do Rio de Janeiro.

RN – Estado do Rio Grande do Norte.

S - energia armazenada na copa das árvores.

SP – Estado de São Paulo.

sen - função trigonométrica.

T - temperatura média diária do ar.

T_{max} - temperatura máxima do ar diária.

T_{\min} – temperatura mínima do ar diária.

$T_{\max,K}$ – temperatura máxima do ar em Kelvin.

$T_{\min,K}$ – temperatura mínima do ar em Kelvin.

T_s temperatura do ar do bulbo seco.

T_u - temperatura do ar do bulbo úmido.

u_2 - velocidade média diária do vento a 2 m de altura.

u_{10} - velocidade média diária do vento a 10 m de altura.

U - velocidade do vento.

UR_{\max} - umidade relativa máxima.

UR_{\min} - umidades relativa mínima.

USDA - Departamento de Agricultura dos Estados Unidos.

z - altitude local.

Δe - diferença de pressão real de vapor d'água em dois níveis acima da superfície vegetada.

ΔT - diferença de temperatura do ar em dois níveis acima da superfície vegetada.

LISTA DE EQUAÇÕES

	Pág.
Equação 3.1 - Evapotranspiração de referência diária (ET_o).....	30
Equação 3.2 - Inclinação da curva de pressão de vapor (Δ).....	31
Equação 3.3 - Temperatura média diária do ar (T).....	31
Equação 3.4 - Constante psicrométrica (γ).....	31
Equação 3.5 - Pressão atmosférica média local (p_o).....	31
Equação 3.6 - Velocidade média diária do vento a 2 m de altura (u_2).....	32
Equação 3.7 - Pressão de saturação do vapor d'água média diária (e_s).....	32
Equação 3.8 - Pressão de saturação do vapor d'água (e_s).....	32
Equação 3.9 - Pressão de vapor média diária (e_a).....	32
Equação 3.10 - Saldo diário de radiação (R_n).....	32
Equação 3.11 - Balanço de radiação de ondas curtas (R_{ns}).....	32
Equação 3.12 - Balanço de radiação de ondas longas (R_{nl}).....	33
Equação 3.13 - Radiação solar para dias de céu claro (R_{so}).....	33
Equação 3.14 - Radiação extraterrestre (R_a).....	33
Equação 3.15 - Inverso da distância relativa Terra-Sol (d_r).....	33
Equação 3.16 - Declinação solar (δ).....	33
Equação 3.17 - Ângulo horário (ω_s).....	34
Equação 3.18 - Balanço de energia (BE).....	34
Equação 3.19 - Equação simplificada do balanço de energia (BE).....	34
Equação 3.20 - Razão de Bowen (β).....	34
Equação 3.21 - Fluxo de calor sensível (H).....	35
Equação 3.22 - Fluxo de calor latente (LE).....	35
Equação 3.23 - Umidade específica do ar (q).....	35
Equação 3.25 - Pressão de vapor d'água (e) em dois níveis acima da superfície vegetada.....	36
Equação 3.27 - Razão de Bowen (β) em função das diferenças da temperatura do ar e da pressão real de vapor d'água em dois níveis acima da superfície vegetada.....	36
Equação 3.28 - Fluxo de calor latente (LE) em função da razão de Bowen.....	37
Equação 3.29 - Evapotranspiração da cultura (ET_c).....	37
Equação 3.31 - Coeficiente de cultivo (K_c).....	37

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 3.1 - Localização da Fazenda Experimental da EMPARN. A) No Globo Terrestre; B) No município de Apodi-RN.....	22
Figura 3.2 - Cultivar Catissol I na fase inicial da floração.....	24
Figura 3.3 - Estação Meteorológica de Observação de Superfície.....	26
Figura 3.4 - Torre micrometeorológica e abrigo meteorológico.....	27
Figura 3.5 - Instrumentos instalados na torre micrometeorológica.....	28
Figura 3.6 - Sistema automático de aquisição de dados (datalogger 21X).....	29
Figura 3.7 - Aspersor utilizado na irrigação.....	30
Figura 4.1 - Altura (m) do girassol ao longo do ciclo vegetativo.....	40
Figura 4.2 - Balanço de energia diário para o ciclo do girassol.....	41
Figura 4.3 - Comportamento diário da evapotranspiração de referência.....	43
Figura 4.4 - Comportamento diário da evapotranspiração da cultura.....	45
Figura 4.5 - Lâmina total de água aplicada em cada fase do ciclo de cultivo.....	46
Figura 4.6 - Comportamento diário do coeficiente de cultivo.....	48

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 4.1: Duração das fases fenológicas do ciclo do girassol, cultivar Catissol I, cultivado na região da Chapada do Apodí-RN.....	38
Tabela 4.2 - Altura da cultura do girassol no início de cada fase fenológica e na data de conclusão da plena maturação fisiológica.....	39
Tabela 4.3 - Valores médios do saldo de radiação e seus componentes durante as fases do ciclo do girassol.....	41
Tabela 4.4 - Valores médios de ET_o diária e total para cada fase do ciclo do girassol.	42
Tabela 4.5 - Valores médios de ET_c diária e total para cada fase do ciclo do girassol.	44
Tabela 4.6 - Valores da lâmina de água aplicada ao girassol e do seu efetivo consumo.....	46
Tabela 4.7 - Valores médios de K_c obtidos no experimento.....	47

RESUMO

Dados de experimento de campo conduzido na Fazenda Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte – EMPARN, localizada no município de Apodi – RN, foram utilizados na determinação do consumo hídrico da cultura do girassol irrigada nas condições climáticas da região da Chapada do Apodi – RN, para cada fase de desenvolvimento fenológico e ao longo do ciclo de produção da cultura. Para tal, foram utilizados os métodos: Penman-Monteith para estimar a evapotranspiração de referência (ET_0), balanço de energia baseado na razão de Bowen para estimar a ET_c e a relação ET_c/ET_0 para determinar o coeficiente de cultivo (K_c). O experimento foi realizado numa parcela experimental de 1,01 ha de girassol, cultivar Catissol I, com uma densidade populacional de 40.000 plantas/ha, aproximadamente. A cultura foi irrigada por aspersão, considerando uma eficiência de 75%, o que totalizou uma lâmina de irrigação de 626,4 mm ao final do ciclo da cultura. Em média, os componentes do balanço de energia distribuíram-se em 86,5% para o fluxo de calor latente de evaporação (LE), 8,9% para o fluxo de calor sensível (H) e 4,6% para o fluxo de calor no solo. O ciclo de cultivo do girassol compreendeu 91 dias, distribuídos em 16, 25, 25 e 25 dias nas fases inicial (Fase I), de desenvolvimento vegetativo (Fase II), floração (Fase III) e maturação fisiológica (Fase IV), respectivamente. O consumo hídrico médio diário para cada fase fenológica e para todo o ciclo de desenvolvimento da cultura foi de 4,3; 6,8; 6,7; 5,9 mm.dia⁻¹ e 554.1 mm, respectivamente. O coeficiente de cultivo (K_c) apresentou valores médios de 0,61; 0,87; 0,83 e 0,77 para as fases: inicial, desenvolvimento vegetativo, floração e maturação fisiológica, respectivamente.

Palavras-chave: Evapotranspiração de referência e da cultura, coeficiente de cultivo, balanço de energia.

ABSTRACT

Data of field experiment conducted in the Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte – EMPARN, located in the borough of Apodi – RN for determining the water use of the sun-flower crop grown in the climatic conditions of the Apodi-Rn region, for each phenological phase and for the whole grown cycle. For that, Penman-Monteith, Bowen-ratio energy balance and the rate of crop to reference evapotranspiration were used to estimate E_{To} , E_{Tp} and K_c , respectively. The experiment was conducted in an experimental plot of 1.01 ha grown with sun-flower, cultivar Catissol with 40,000 plants per hectare, approximately. The crop was irrigated by a sprinkler irrigation system, considering an irrigation efficiency of 75% given a total irrigation depth of 624.4 mm for the crop growing cycle. On the average, the components of the energy balance were distributed as 86,5% for latent heat flux (LE), 8.9% for sensible heat flux and 4.6% for soil heat flux. The sun-flower growing cycle was completed in 91 days being 16, 25, 25 and 25 days for the initial (phase I), vegetative development (phase II), flowering (phase III) and physiological maturation (phase IV), respectively. The average daily evapotranspiration for each phenological phase and the water use for the whole crop growing cycle were 4.3, 6.8, 6.7, 5.9 mm day⁻¹ and 626.5 mm, respectively. The crop coefficient showed mean values of 0.61, 0.87, 0.83 and 0.77 for the initial, vegetative development, flowering and phenological maturation phases, respectively.

Key-words: reference and crop Evapotranspiration, crop coefficient, energy balance.

1 – INTRODUÇÃO

As paisagens rurais brasileiras estão apresentando notáveis mudanças, onde antes apenas viam-se plantações de milho, feijão e soja, já podem ser observadas algumas plantações de girassol. Em parte, esse aumento do cultivo de girassol é devido ao Programa Nacional do Biodiesel, que a partir de 2008 prevê a obrigatoriedade de 2% de biodiesel nos motores a diesel.

De acordo com vários estudos científicos, o óleo de girassol possui uma ótima qualidade nutricional e organoléptica (aroma e sabor), sendo essencial na prevenção de diferentes doenças cardiovasculares e no controle do nível de colesterol no sangue. Além disso, entre os óleos vegetais comestíveis, o óleo de girassol possui o maior teor percentual de ácidos graxos poliinsaturados, principalmente o ácido linoléico, essencial ao organismo humano e não sintetizado pelo mesmo, devendo ser ingerido através dos alimentos.

Além do uso como biodiesel e do consumo humano, o óleo de girassol possui outras vantagens. A cultura do girassol é também utilizada na apicultura, sendo possível a produção de 20 a 30 kg de excelente mel por hectare plantado. Cabe também salientar o uso do girassol em misturas com outras fontes de proteínas no preparo de ração

para animais. Isto é devido ao fato de que, em média, são produzidos 350 kg de torta com 50% de proteína bruta, para cada tonelada de grão.

O girassol é uma das oleaginosas de características agrônômicas mais importantes, visto que apresenta maior resistência à seca, ao frio e ao calor do que a maioria das espécies normalmente cultivadas no Brasil. Por possuir um ciclo vegetativo relativamente curto, elevada adaptabilidade às diferentes condições edafoclimáticas e por não ter seu rendimento afetado por parâmetros como latitude, longitude e foto-período, seu cultivo torna-se uma opção nos sistemas de rotação e sucessão de culturas em regiões produtoras de grãos.

A região semi-árida do Nordeste brasileiro é caracterizada por um regime irregular de precipitações, o que torna indispensável o conhecimento das necessidades hídricas das culturas, isto é, a quantidade de água que a cultura necessita para crescer e produzir em seu potencial. A irrigação é uma prática agrícola de aplicação artificial de água ao solo, com o intuito de manter um suprimento regular de água para as plantas, que associada às demais práticas agrícolas (fertilização, mecanização, controle de pragas e doenças, etc.), garante maior produtividade e maiores lucros aos cultivos. Contudo, a irrigação é a atividade humana mais consumidora de água potável, acarretando grandes custos com energia, além da concorrência por estes recursos hídricos e energéticos entre os setores industrial, urbano e agrícola.

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação - FAO (2002), a porcentagem total média de água usada nos diferentes períodos de crescimento da cultura do girassol é de aproximadamente 20% durante o período vegetativo e de 55% durante o florescimento, restando 25% para o período de enchimento de grãos. Suas necessidades hídricas não estão bem definidas, havendo informações desde menos de 200 mm até mais de 900 mm por ciclo. Usualmente, tem-se

admitido uma faixa entre 500 mm e 700 mm de água, bem distribuídos ao longo do ciclo, que tem resultado em rendimentos próximos ao máximo. Sua necessidade hídrica vai aumentando com o desenvolvimento da planta, partindo de valores ao redor de 0,5 a 1 mm/dia durante a fase de semeadura à emergência, atingindo um máximo de 6 a 7 mm/dia na floração e enchimento de grãos e decrescendo após este período. Geralmente, a fase mais crítica ao déficit hídrico é o período entre 10 a 15 dias antes do início do florescimento e 10 a 15 dias após o final da floração.

Com base na evapotranspiração de referência e no coeficiente da cultura, pode-se determinar a quantidade de água a ser aplicada nos cultivos. Para tal, existem diversas metodologias, baseadas em métodos diretos (dados medidos) ou indiretos (dados estimados). Assim, o presente trabalho terá como objetivos:

Geral: determinar o consumo hídrico da cultura do girassol irrigada nas condições climáticas da região da Chapada do Apodi no Rio Grande do Norte.

Específicos:

- Estimativa da evapotranspiração para cada fase de desenvolvimento e ao longo do ciclo de produção da cultura;
- Determinar o coeficiente de cultivo ao longo do ciclo de produção da cultura.

2 – REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - Cultura de Girassol

Planta originária das Américas, o girassol (*Helianthus annuus L*) foi levado à Europa pelos colonizadores espanhóis e portugueses, passando a ser cultivado como planta ornamental. As propriedades oleaginosas dos frutos foram descobertas na Rússia, sendo então reintroduzido na América do Norte, via Canadá (Gonçalves et al., 1999).

O girassol também é conhecido como “flor do sol” devido à sua intrigante rotação sempre voltada para o Sol (heliotropismo). É a quinta oleaginosa em produção de grãos e a quarta em produção de óleo no mundo, ficando atrás apenas do dendê, soja, e canola (USDA, 2005).

Atualmente, o girassol é cultivado em todos os continentes, abrangendo uma área de 18 milhões de hectares, totalizando aproximadamente 20 milhões de toneladas anuais de grãos. Seus maiores produtores, com base na safra 2005/2006, são Rússia, Ucrânia, Argentina, União Européia e Índia (USDA, 2006).

No Brasil, é notável o crescimento do cultivo de girassol. Dados da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB mostram que no ano de 2001 havia

52,6 mil hectares de área cultivada com girassol no Brasil. Já no ano de 2005, essa área era de 100 mil hectares, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, distribuídos nos Estados de Goiás (37%), Mato Grosso do Sul (18%), São Paulo (16%), Mato Grosso (11%), Rio Grande do Sul (9%) e Paraná (6%). No período de 1999 a 2004, a Região Centro-Oeste apresentou um aumento de área cultivada com girassol de 3,1% ao ano, sendo semeado em “janelas de cultivo”, principalmente na safrinha (fevereiro). Além do Centro Oeste, o girassol é semeado em fevereiro no norte do Paraná, Minas Gerais e São Paulo. Já no Rio Grande do Sul, a semeadura ocorre de julho a setembro. No Paraná e São Paulo, a semeadura pode ocorrer também nos meses de agosto a outubro (Castro et al., 1996 a).

Em média, além de 400 kg de óleo de excelente qualidade, para cada tonelada de grão, a cultura do girassol produz 250 kg de casca e 350 kg de torta, com 45% a 50% de proteína bruta.

Além dos usos anteriormente citados, como: consumo humano, apicultura, biodiesel e ração animal, o óleo de girassol pode também ser utilizado nas indústrias farmacêutica, de cosméticos, de tintas e de limpeza. Suas sementes podem ser torradas e usadas como aperitivo, na composição de barras de cereais, biscoitos, papas de bebês, alimento de pássaros e ração para cães e gatos. O girassol também pode servir de adubação verde, além de que suas cascas podem ser prensadas na forma de aglomerado para a indústria de móveis, e o caule pode ser utilizado na construção civil como isolante térmico e acústico. Nos países eslavos, as sementes de girassol são torradas, moídas e utilizadas como sucedâneo do café. Na área de floricultura e ornamentação, sua utilização pode ser ampliada com a criação de girassóis coloridos (Vieira, 2005).

Tendo em vista à alta demanda dos produtos e finalidades derivados do cultivo de girassol, esse continua em expansão em nosso país, já tendo despertado o interesse inclusive dos estados da Região Nordeste.

2.1.1 - Características morfológicas do girassol

Origem: Continente norte-americano;
Dicotiledônea anual;
Ordem: Synandrales;
Família: Compositae;
Gênero: Helianthus;
Espécie: Helianthus annuus.

A planta de girassol apresenta porte alto, raízes profundas e uma grande diversificação de características fenotípicas. Apresenta caule robusto e ereto, com ou sem pêlos, geralmente sem ramificações e com diâmetros variando entre 15 e 90 mm. Quanto à altura, são observadas variações de 0,5 a 4,0 m (Castiglioni et al.,1994), usualmente oscilando entre 1,0 m e 2,5 m. Suas folhas são alternadas e pecioladas, com comprimentos de 8 a 50 cm e com um número de folhas por caule variando entre 8 e 70, mas geralmente este número fica entre 20 e 40. Além disso, as folhas de girassol podem ter diversos formatos e tamanhos (Frank e Szabo, 1989, appud Castiglioni et al., 1994).

A inflorescência é um capítulo, onde se desenvolvem os grãos, denominados aquênios. A inflorescência pode ter formação plana, convexa ou côncava, com flores que se desenvolvem do exterior para o interior do capítulo, dando origem aos frutos (Castro et al., 1996 a). Os capítulos têm diâmetros de 6 a 50 cm, contendo de 100 a 8000 flores, sendo mais freqüente um número de flores variando entre 800 e 1700 por capítulo. O caule e o capítulo são os componentes de maior participação na produção de massa do girassol.

As sementes são constituídas pelo pericarpo (casca) e pela semente propriamente dita (amêndoas), de tamanho, cor e teor de óleo variáveis, 30 a 48% de óleo, dependendo do cultivar (Kakida et al., 1981). Frequentemente, o número de aquênios fica em torno de 800 a 1.700 por capítulo (Castro et al., 1996 b), sendo que o peso de mil aquênios pode variar de 30 a 60g.

A cultura do girassol apresenta sistema radicular pivotante (Castiglioni et al., 1994) e bastante ramificado, mas com baixa capacidade de penetração. Contudo, na ausência de impedimentos químicos ou físicos (obstáculos, solos compactados, etc.), pode atingir profundidades superiores a um metro, absorvendo água e nutrientes onde outras plantas normalmente não alcançam, conferindo-lhe assim, maior reciclagem de nutrientes (Castro et al., 1996 a) e maior resistência à seca e ao tombamento (Kakida et al., 1981).

Apresenta polinização cruzada, feita basicamente por entomofilia, pela ação de abelhas e outros insetos (Kakida et al., 1981). Atualmente, alguns cultivares têm alto grau de autocompatibilidade, reproduzindo-se mesmo na ausência de insetos.

A duração do ciclo vegetativo pode variar de 90 a 130 dias, dependendo do cultivar, da data de semeadura e das condições ambientais características de cada região e ano. Características da planta, como altura, tamanho do capítulo e circunferência do caule, variam segundo o genótipo e as condições edafoclimáticas (Castiglioni et al., 1994), além da época de semeadura (Mello et al., 2006).

2.1.2 - Exigências climáticas, hídricas e de solo

Uma importante característica do girassol é a sua resistência à amplitude térmica, compreendida na faixa entre 8 e 34 °C, sendo possível a sua adaptação em lugares

de dias quentes e noites frias. Temperaturas baixas acarretam um aumento do ciclo da cultura, atrasando a floração e a maturação, além de que se ocorrerem após o início da floração, podem afetar significativamente o rendimento. Pode suportar temperaturas baixas por curto período, principalmente nos estádios iniciais. Porém, temperaturas extremamente baixas durante o desenvolvimento inicial podem causar deformação das folhas e danificar o ápice da planta, provocando algumas anomalias, como ramificação do caule. Também é sensível à geada, que danifica sua folhagem e provoca chochamento de grãos quando ocorre na época do florescimento. Temperaturas do solo inferiores a 4°C inibem a germinação, sendo satisfatórios valores entre 8 e 10°C. Além disso, temperaturas baixas durante a germinação retardam a emergência e induzem a formação de plântulas pequenas. Por outro lado, elevadas temperaturas também podem prejudicar o desenvolvimento da planta, principalmente se houver pouca disponibilidade hídrica. Tais temperaturas, durante a formação dos grãos, afetam seriamente a composição de ácidos graxos e, temperaturas superiores a 35°C, reduzem o teor de óleo. De posse dessas informações, pesquisas mostram que a temperatura ideal para o cultivo de girassol fica em torno de 27 e 28°C. A radiação solar pode prejudicar o girassol quando apresentar valores muito altos. Segundo Mota (1983), o girassol pode suportar grande intensidade luminosa devido à sua alta saturação e, com umidade suficientemente disponível, ainda tolera temperaturas acima de 40°C.

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação - FAO (2002), a porcentagem total média de água usada nos diferentes períodos de crescimento da cultura do girassol é de aproximadamente 20% durante o período vegetativo e de 55% durante o florescimento, restando 25% para o período de enchimento de grãos. Suas necessidades hídricas não estão bem definidas, havendo informações desde menos de 200 mm até mais de 900 mm por ciclo. Usualmente, tem-se

admitido uma faixa entre 500 mm e 700 mm de água, bem distribuídos ao longo do ciclo, que tem resultado em rendimentos próximos ao máximo. Sua necessidade hídrica vai aumentando com o desenvolvimento da planta, partindo de valores ao redor de 0,5 a 1 mm/dia durante a fase de semeadura à emergência, atingindo um máximo de 6 a 7 mm/dia na floração e enchimento de grãos e decrescendo após este período. Geralmente, a fase mais crítica ao déficit hídrico é o período entre 10 a 15 dias antes do início do florescimento e 10 a 15 dias após o final da floração.

Essa cultura tem uma capacidade aproximada de 92% de extrair a água disponível da camada de solo compreendida da superfície até dois metros de profundidade, contra 64% do sorgo (Bremner et al., 1986), dando-lhe a propriedade de resistir a curtos períodos de estresse hídrico. Possui baixa eficiência no uso da água, sendo que cada litro de água consumido produz menos de dois gramas de matéria seca. Porém, em condições de déficit hídrico, essa eficiência aumenta em torno de 20% a 50%. Sionit et al. (1973) salientam a importância da umidade do solo no desenvolvimento e rendimento do girassol, e que o rendimento máximo é alcançado quando o solo encontra-se em capacidade de campo, evidenciando a importância da época de semeadura sobre o rendimento das culturas.

Por mais que o girassol tenha facilidade de adaptação em vários tipos de solo, o ideal é a utilização de solos corrigidos, com pH entre 5,2 e 6,4, a fim de se evitar sintomas de toxidez. Além disso, solos profundos, de textura média, férteis, planos e bem drenados, favorecem o bom desenvolvimento do sistema radicular. Essas características dão maior resistência à seca e ao tombamento, proporcionando maior absorção de água e nutrientes e, conseqüentemente, maior rendimento. Solos leves ou pesados também podem ser usados se não houver impedimento para o desenvolvimento do sistema radicular.

2.2 - Evapotranspiração da Cultura

Através da evapotranspiração, definida como o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e da vegetação úmida e por transpiração das plantas, pode ser definida a quantidade de água a ser aplicada nos cultivos. Existe várias metodologias para a sua determinação, podendo ser separadas em dois grandes grupos: determinação direta e determinação indireta (Burman et al.,1983).

No grupo de determinação direta da evapotranspiração (ET) estão os lisímetros ou evapotranspirômetros (de pesagem, drenagem, lençol freático constante), balanço hídrico e controle de umidade no solo. No segundo grupo, correspondente à determinação indireta, a evapotranspiração é estimada por fórmulas empíricas, baseadas em dados meteorológicos. A escolha do método depende de sua área de aplicação e das necessidades de precisão e duração dos períodos de cálculo (Tanner, 1967).

Como o uso da correta lâmina de água na irrigação é de extrema importância, é imprescindível o conhecimento da evapotranspiração das culturas para diversas condições climáticas. Várias pesquisas sobre as necessidades hídricas e questões a respeito de quantidade e período de irrigação têm sido realizadas por diversos profissionais da área: Silva et al. (2007) com o objetivo de avaliar a produtividade de grãos e de óleo, além de outras características agronômicas do girassol (híbridos H250 e H251), utilizaram lâminas de irrigação referentes a 75% (L1), 100% (L2) e 130% (L3) da evapotranspiração estimada para a cultura, além de uma parcela experimental sem irrigação (L0), em uma pesquisa realizada na Universidade Federal de Lavras – MG. Os valores de lâminas de água aplicados corresponderam a 117,20; 350,84; 428,70 e 522,14 mm para os tratamentos L0, L1, L2 e L3, respectivamente. A irrigação proporcionou aumento na produtividade de grãos, de óleo e na altura das plantas de girassol, sendo que a lâmina de 522,14 mm (L3)

apresentou melhores respostas, com produtividades de grãos de girassol igual a 2863,12 kg.ha⁻¹, de óleo dos grãos de 675,57 kg.ha⁻¹ e altura das plantas de 1,51 m. Experimentos realizados por Castiglioni et al. (1993) e por Gomes et al. (2003) também constataram que o aumento no suprimento de água incrementa a altura do girassol. Já Catronga et al. (2006) em um estudo realizado em Beja, Portugal, adotaram lâminas de irrigação referentes a 30% (parcela B) e 50% (parcela A) da evapotranspiração do girassol, que ao final do ciclo totalizou 850 mm. Os melhores resultados obtidos corresponderam à parcela A, com uma lâmina de água aplicada igual a 260 mm, cujas produtividades de grãos foi de 1777 kg.ha⁻¹, de óleo dos grãos de 0,75 ton.ha⁻¹ e altura das plantas equivalente a 1,32 m. Os autores concluíram que o aumento da irrigação levou ao acréscimo de parâmetros como altura, matéria seca, capítulo e peso das sementes, porém salientam que uma maior aplicação de água não corresponde à uma alteração no valor nutricional da cultura.

Outro estudo que pode ser citado é o realizado por Matzenauer et al. (2007) na região de Passo Fundo - RS, cuja finalidade foi estimar as necessidades hídricas do girassol em diferentes sub-períodos, utilizando os coeficientes de cultura obtidos regionalmente, a partir da relação entre a evapotranspiração máxima da cultura (ET_m) e a evapotranspiração de referência calculada pelo método de Penman (ET_o). A evapotranspiração real variou entre 258 e 508 mm e os valores mais elevados de deficiência hídrica ocorreram durante a floração e enchimento de grãos.

A falta e/ou o excesso de água numa cultura são prejudiciais ao desenvolvimento da planta (Doorenbos & Kassam, 1979). A determinação das necessidades hídricas de culturas, em seus diferentes estádios de desenvolvimento, é uma etapa importante para o manejo de irrigação (Amorim Neto et al., 1996). Por isso, em todo o Brasil, estão sendo realizados zoneamentos agrícolas para o cultivo de girassol, com o intuito de identificar, quantificar e mapear as áreas mais favoráveis ao seu plantio.

Paralelamente a esses estudos, são realizadas pesquisas por vários profissionais da área, sempre em busca da melhor relação custo-benefício.

2.3 - Evapotranspiração de Referência

Dentre as várias definições de evapotranspiração de referência (ET_0) existentes na literatura, Doorenbos e Pruitt (1977) afirmam que a evapotranspiração de referência (ET_0) consiste na evapotranspiração de uma extensa superfície vegetada com vegetação rasteira (normalmente gramado), em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo, com altura entre 8 e 15 cm ($IAF \sim 3$), sem restrição hídrica e com ampla área de bordadura para evitar a advecção de calor sensível (H) de áreas adjacentes. Nesta superfície, são feitas as medições meteorológicas para obtenção de um conjunto consistente de dados de coeficientes de cultura, para serem utilizados na determinação da evapotranspiração (ET) de outras culturas agrícolas.

Como mencionado anteriormente, a evapotranspiração de referência pode ser determinada diretamente, através de lisímetros, balanço hídrico e controle de umidade no solo. Já na determinação indireta, são utilizados dados meteorológicos através de fórmulas empíricas que, posteriormente, são correlacionados com a evapotranspiração da cultura (ET_c) por meio do coeficiente da cultura (K_c). Na literatura existem inúmeros métodos para a realização dessa estimativa, baseados em sistemas de medições que utilizam o princípio da conservação de massa e de energia na camada limite acima do dossel vegetativo da planta. Algumas metodologias que podem ser citadas são: Thornthwaite (utiliza apenas a temperatura média do ar), Thornthwaite – Camargo (usa a temperatura efetiva ao invés da temperatura média do ar), Camargo (dados de temperatura

média e irradiância solar), Hargreaves e Samani (temperatura média e amplitude térmica), Priestley – Taylor dentre outros.

No manual 24 da FAO (1977) há quatro metodologias de cálculo da ET_0 . A primeira é o Método de Blaney – Criddle, baseado apenas na temperatura do ar e no percentual médio diário anual de horas de brilho solar. Esse método é inadequado para regiões equatoriais, pequenas ilhas e lugares de elevada altitude. O segundo método é o da radiação, que necessita dos dados meteorológicos de insolação ou nebulosidade ou radiação e temperatura do ar. Por utilizar essas variáveis, tal método é mais confiável do que o anterior, inclusive nas regiões restritas ao outro método. Em regiões onde há a disponibilidade de dados de temperatura, umidade, vento, insolação ou radiação, é sugerido por este manual o terceiro método, correspondente ao método de Penman Modificado. Por fim, o método do tanque classe A (ETA), baseado na proporcionalidade existente entre a evaporação de água do tanque (ECA) e a evapotranspiração de referência (ET_0), visto que ambas dependem exclusivamente das condições meteorológicas. A conversão de ECA em ET_0 depende de um coeficiente de proporcionalidade, denominado coeficiente do tanque (K_p). O K_p pode ser tabelado ou calculado, sendo dependente de alguns fatores como tamanho da bordadura, umidade relativa e velocidade do vento. Todos esses métodos são estritamente climatológicos, representando o potencial atmosférico para o processo de evapotranspiração e, por conseqüência, de pouca precisão. Além do mais, esses métodos de estimativa da evapotranspiração são utilizados para condições climáticas e agronômicas muito diferentes das quais foram inicialmente concebidas (Doorenbos e Pruitt, 1977). Portanto, é de extrema importância avaliar o grau de exatidão desses métodos antes de utilizá-los sob as novas condições.

Em 1990, os métodos recomendados pela FAO em 1977, foram submetidos a uma revisão feita por especialistas, chegando-se à conclusão de que o método de

Penman-Monteith parametrizado para grama, com 12 cm de altura, resistência aerodinâmica da superfície de 70 s/m e albedo de 0,23, apresentava melhores resultados, passando a ser recomendado pela FAO como método padrão para estimativa da ET_0 (Smith et al., 1990).

Allen et al. (1989) afirmam existir uma relação entre a ET_0 medida em lisímetros e a estimada pelos diferentes métodos existentes, especialmente, aquelas provenientes de métodos combinados como o de Penman. Vescove e Turco (2005) realizaram a comparação dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência Radiação Solar, Makkink e Tanque Classe A, em relação ao considerado padrão pela FAO (Penman-Monteith), para a região de Araraquara – SP. Os autores concluíram que os resultados obtidos pelo método Makkink subestimaram os valores de Penman-Monteith, enquanto que os outros dois métodos superestimaram a metodologia Penman-Monteith.

Oliveira et al. (2001) também fizeram este tipo de comparação em relação ao método padrão da FAO, porém com os métodos Penman, Hargreaves e de Radiação, para algumas localidades do Estado de Goiás e Brasília. Já neste estudo, os autores verificaram que todos os modelos apresentaram alta significância com o de Penman - Monteith, sendo que o método de Penman foi o que mais se aproximou do padrão, seguido pelos métodos de Hargreaves e Radiação, concordando com os resultados encontrados na literatura. Utilizando esses mesmos métodos para a comparação de estimativas de ET_0 , Faria et al. (2000) realizou pesquisas no norte do Estado de Minas Gerais, utilizando dados de 9 estações climatológicas, com o intuito de analisar a influência do método de estimativa da ET_0 na demanda de irrigação suplementar para o cultivo de milho. Foi concluído que não foram observadas diferenças expressivas na demanda suplementar de irrigação no ciclo da cultura do milho quando se utilizou a evapotranspiração de referência estimada por esses 3 métodos, quando comparados ao padrão.

Em uma análise mais extensa, Mendonça et al. (2003) compararam os valores de ET_0 obtidos em lisímetro de pesagem com grama com os valores resultantes dos métodos de Penman-Monteith parametrizado pela FAO, Radiação Solar, Makkink, Linacre, Jensen-Haise, Hargreaves-Samani, Tanque Classe “A” e Atmômetro SEEI modificado. O experimento foi realizado em Campos dos Goytacazes – RJ, numa área de 900 m² cultivada com grama tipo Batatais (*P. notatum L.*). Foi constatado pelos autores que os métodos de Penman-Monteith FAO, Radiação Solar, Linacre, Jensen-Haise, Hargreaves-Samani e Tanque Classe “A”, apresentaram tendências de superestimar a ET_0 na região, porém todos os métodos, exceto o Atmômetro SEEI modificado, atenderam satisfatoriamente à estimativa da ET_0 na região norte fluminense.

Atualmente, a utilização de estações meteorológicas automáticas auxilia na determinação da evapotranspiração de referência, diminuindo-se os erros na lâmina de água a ser aplicada na cultura. Quando programadas, estas estações podem utilizar o método Penman - Monteith para a determinação da ET_0 .

2.4 - Coeficiente de Cultura

O coeficiente de cultura (K_c) é um índice adimensional que representa a razão entre a evapotranspiração de uma cultura específica (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_0). Geralmente, os valores de ET_0 podem ser obtidos em estações experimentais ou podem ser calculados por meio de equações, tornando prático o uso deste índice.

O K_c representa a integração dos efeitos de três características que distinguem a ET_c da ET_0 : 1) a altura da cultura, que afeta a rugosidade e a resistência

aerodinâmica; 2) a resistência da superfície relativa ao par cultura-solo, que é afetada pela área foliar, pela fração de cobertura do solo pela vegetação, pela idade e condição das folhas e pelo teor de umidade à superfície do solo; 3) o albedo da superfície cultura-solo, que é influenciado pela fração de cobertura do solo pela vegetação e pela umidade à superfície do solo (Pereira e Allen, 1997).

Os valores do coeficiente de cultura variam com a cultura e com seu estágio de desenvolvimento, sendo apresentados em tabelas por Doorenbos e Pruitt (1977) e descritos para diferentes culturas por Doorenbos e Kassam (1994). Além disso, esses diferentes valores para K_c são influenciados pelas características da cultura, datas de semeadura e plantio, ritmo de desenvolvimento, duração do período vegetativo, condições edafoclimáticas e variedade utilizada. Sedyama et al. (1998) salientam ainda que o K_c pode variar com a textura e o teor de água do solo e com a profundidade e a densidade do sistema radicular.

Doorenbos e Pruitt (1977) e Allen et al. (1998) apresentaram uma metodologia para estabelecer os valores de K_c para culturas anuais. Tal metodologia divide o ciclo da cultura em quatro fases de desenvolvimento: 1) fase inicial, correspondente à germinação e ao crescimento inicial (cobertura do solo atingindo cerca de 10%); 2) fase de desenvolvimento, compreendido entre o final da fase inicial e efetiva cobertura do solo pela cultura (cerca de 70% a 80%); 3) fase de meia-estação ou reprodutivo (floração); inicia-se quando a cultura atinge plena cobertura até a maturação, como no caso de feijão, indicado pela descoloração das folhas, ou em algodão, quando as folhas começam a cair. Em algumas culturas, essa fase pode se estender até próximo à colheita; 4) fase final, referente ao final do estágio anterior até a plena maturação e colheita.

Segundo essa divisão do ciclo da cultura, geralmente no estágio inicial (germinação), o coeficiente de cultura apresenta valores baixos ($K_c < 1$), visto que ET_c é

bem menor que ET_o , pois a área foliar é muito pequena e cobre apenas uma pequena porcentagem do terreno. Durante o estágio de desenvolvimento vegetativo, a diferença entre a evapotranspiração da cultura e a de referência diminui devido ao aumento crescente da área foliar, acarretando num acréscimo dos valores de K_c ($K_c < 1$). Ao chegar à terceira fase do ciclo, em muitos casos, o valor da ET_c ultrapassa o da ET_o ($K_c > 1$), permanecendo assim até o término da fase de enchimento de grãos. Finalmente, na última fase (maturação), os valores de K_c decrescem até o final do ciclo da cultura ($K_c < 1$).

De acordo com a FAO (2002), o coeficiente da cultura de girassol varia em torno de 0,3 a 0,4 durante o estágio inicial (20 a 25 dias), de 0,7 a 0,8 durante o estágio vegetativo (35 a 40 dias), de 1,05 a 1,2 durante o florescimento (40 a 50 dias), de 0,7 a 0,8 durante o enchimento de grãos (25 a 30 dias) e de 0,4 na maturação fisiológica.

Gomes (2005) realizou uma pesquisa no município de Limeira - SP com o intuito de analisar o comportamento do girassol sob diferentes condições de suplementação hídrica em condições de clima subtropical. Os resultados obtidos mostraram valores de K_c entre 0,3 a 0,4 no estágio inicial (20 dias), de 0,7 a 0,75 no estágio vegetativo (45 dias), de 0,95 a 1,1 no estágio de florescimento (70 dias), de 0,65 a 0,8 no estágio de enchimento de grãos (93 dias) e de 0,5 a 0,6 aos 115 dias após o plantio (maturação fisiológica). Tyagi et al. (2000) determinaram para 2 anos de pesquisas (1994 e 1995) a evapotranspiração e o coeficiente das culturas de arroz e girassol, em Karnal – Índia. A cultura do girassol apresentou um ciclo de 105 dias, divididos em 20, 35, 30 e 20 dias, com coeficientes de cultura equivalentes a 0,63; 1,09; 1,29 e 0,40 nas fases inicial, desenvolvimento vegetativo, floração e maturação fisiológica, respectivamente. Já a cultura do arroz dividiu seu ciclo de 119 dias em 21 dias na fase inicial, com coeficiente de cultura de 1,15; 35 dias na fase de desenvolvimento vegetativo, com $K_c = 1,23$; 42 dias na floração, com $K_c = 1,14$ e 21 dias

na fase de maturação fisiológica, com $K_c = 1,02$. A evapotranspiração para a cultura do girassol registrada foi de 664,2 mm e, para a cultura de arroz, igual a 646,4 mm.

A determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c) e do coeficiente de cultura (K_c) são extremamente úteis na quantificação das necessidades hídricas das culturas, tanto em termos de manejo de água de irrigação quanto no planejamento de sistemas hidroagrícolas. A FAO possui estes parâmetros tabelados para diversas culturas em várias partes do mundo, tornando importante estes estudos regionalmente, visto que tais valores são influenciados por diversas características já mencionadas.

2.5 - Balanço de energia

Embora o uso de lisímetros seja o método mais preciso na quantificação da evapotranspiração de uma cultura, sua instalação e manejo consistem de uma técnica difícil e de altos custos; por isso, tem-se recorrido a outros métodos de estimativas, como o de balanço de energia. De acordo com Villa Nova (1973), esse método é um processo racional de estimativa de evapotranspiração de uma superfície, medindo a energia disponível em um sistema natural e separando as frações usadas nos diferentes processos, obtendo-se, assim, bons resultados.

O balanço de energia tem sido empregado por vários pesquisadores (Gay, 1986; Oliver e Sene, 1992; Prueger et al., 1997; Tood et al., 2000; Casa et al., 2000; Rana e Katerji, 2000; Lopes et al., 2001; Teixeira et al., 2003, Azevedo et al., 2005; Moura, 2005; entre outros), porém Steduto e Hsiao (1998) salientam que esta técnica deve ser usada com cautela, pois não reflete a natureza turbulenta do processo de evapotranspiração. É baseado no princípio de conservação de energia (Teixeira, 2001; Wang e Bras, 2001), sendo que o

balanço dos fluxos de entrada e saída de energia na área vegetada, permite a determinação da energia utilizada pela cultura no processo de transferência de água para a atmosfera, na forma de vapor.

Moura (2005) afirma que o saldo de radiação é o resultado das trocas de energia radiativa estabelecidas na interface solo-planta-atmosfera. Esse autor ainda relata que, do ponto de vista energético, o saldo de radiação pode ser considerado como a energia utilizada para transferir água da superfície do solo úmido e do interior das plantas para a atmosfera, sob a forma de vapor, podendo então, nesse caso, a evapotranspiração ser chamada de calor latente e ser expressa na forma de densidade de fluxo de energia ($W.m^{-2}$). O conhecimento da evapotranspiração ou do fluxo convectivo de calor latente contribui para o correto uso de água nos cultivos, já que suas fases críticas de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo são limitadas pelo fator hídrico.

Bowen (1926) foi o pioneiro nos estudos do balanço de energia sobre uma superfície natural, determinando a razão entre os fluxos de calor sensível e latente emitidos por uma superfície de água, durante o processo de evaporação, em função dos gradientes de pressão de vapor e de temperatura observados sobre a superfície. Esta expressão, denominada razão de Bowen (β), tornou-se um método indireto de determinação da evapotranspiração das culturas (ET_c) e, de acordo com muitos pesquisadores, é um método prático e simples, capaz de determinar de forma prática e precisa a evapotranspiração de diversas culturas em diferentes ambientes.

O fluxo de calor sensível (H) representa o aquecimento do ar atmosférico e o fluxo de calor latente (LE), a evaporação da água do sistema solo-planta para a atmosfera. Estes fluxos (LE e H) são considerados negativos quando ocorrem da superfície para o ar (para cima) e positivos, no sentido contrário (para baixo). É sabido que o sentido do fluxo de calor latente é sempre negativo (para cima). Sendo assim, o sinal da razão de

Bowen (β) é inversamente proporcional ao sinal do fluxo de calor sensível (H), isto é, valores negativos do fluxo de calor sensível implicam em uma razão de Bowen positiva, e vice-versa.

Heilman e Brittin (1989) afirmam que, ao contrário de outros métodos de estimativa da evapotranspiração, na realização do balanço de energia não há a necessidade de dados de velocidade do vento, nem das propriedades aerodinâmicas da superfície vegetada.

A metodologia do balanço de energia considera que há ausência de advecção de calor sensível e que a atmosfera está em condições de neutralidade (Rosenberg et al., 1983). Com essas considerações, os valores dos coeficientes de difusão turbulenta de calor sensível (K_h) e de vapor d'água (K_w) são aproximadamente iguais (Verma et al., 1978). Esse método também sugere que as medições dos gradientes de temperatura e umidade devem ser realizadas dentro da camada limite do fluxo de ar, implicando na necessidade de um “fetch” com extensão mínima de 100 vezes a altura da cultura (Angus e Watts, 1984). De acordo com Rosenberg (1983), isso só é possível na presença de uma extensa bordadura (fetch).

Silva et al. (2007) quantificaram a partição da energia solar disponível e a evapotranspiração de maracujazeiros em Piracicaba – SP. O cultivo foi realizado em duas áreas com diferentes orientações de plantio (linhas de cultivo norte-sul e leste-oeste), empregando-se o método da razão de Bowen. Os autores observaram que o saldo de radiação (R_n) apresentou valor equivalente a 60% da radiação global e que o cultivo não foi influenciado pela orientação de plantio norte-sul ou leste-oeste. O fluxo de calor sensível (H) teve participação mínima no balanço de energia, enquanto o fluxo de calor latente de evaporação (LE) apresentou maior contribuição, utilizando aproximadamente 100% da energia disponível.

Frisina e Escobedo (1999) efetuaram os balanços de radiação e de energia da cultura de alface em estufa de polietileno (tipo túnel alto) na localidade de Botucatu – SP. Entre as conclusões, os autores relatam que o fluxo de calor latente de evaporação (LE) foi maior no meio externo em relação ao interior da estufa, enquanto os fluxos de calor no solo (G) e sensível (H) foram maiores no interior da estufa.

Em Petrolina – PE, Teixeira (2001) conduziu um experimento com o objetivo de quantificar e analisar a partição da energia solar disponível ao cultivo de bananeira, no seu primeiro ciclo de produção, e da demanda evaporativa da atmosfera. Neste estudo, o saldo de radiação sobre esta cultura foi utilizado, em média, como 87% no fluxo de calor latente de evaporação (LE), 11% no fluxo de calor no solo (G) e 2% no fluxo de calor sensível (H). Também utilizando o método da razão de Bowen, Heilman et al. (1994) realizaram o balanço de energia na cultura da videira, em Lamesa -TX. O saldo de radiação variou de 12,5 a 18,9 MJ m⁻² d⁻¹. Sob condições de instabilidade acima das plantas, a partição desse saldo foi de 17-28% para fluxo de calor sensível (H), 11-29% para fluxo de calor no solo (G) e entre 46 e 61% para fluxo de calor latente (LE). Já Cunha et al. (1996) verificaram, ao efetuarem o balanço de energia na cultura do milho, no Rio de Janeiro, que o saldo de radiação foi fracionado em 80% para o fluxo de calor latente (LE), 14% para o fluxo de calor sensível (H) e em 6% para o fluxo de calor no solo (G). Resultados semelhantes foram encontrados por Teixeira et al. (1997) com a cultura da videira, em que 82% do saldo de radiação foi de fluxo de calor latente (LE), 13% em fluxo de calor sensível (H) e 5% em fluxo de calor no solo (G).

3 – MATERIAL E MÉTODOS

3.1 – Área Experimental

O experimento de campo foi realizado na Fazenda Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte - EMPARN, localizada no município de Apodi - RN, com coordenadas geográficas de $5^{\circ} 39'51''$ S de latitude, $37^{\circ} 47'56''$ W de longitude e altitude de 150 m (Figura 3.1).

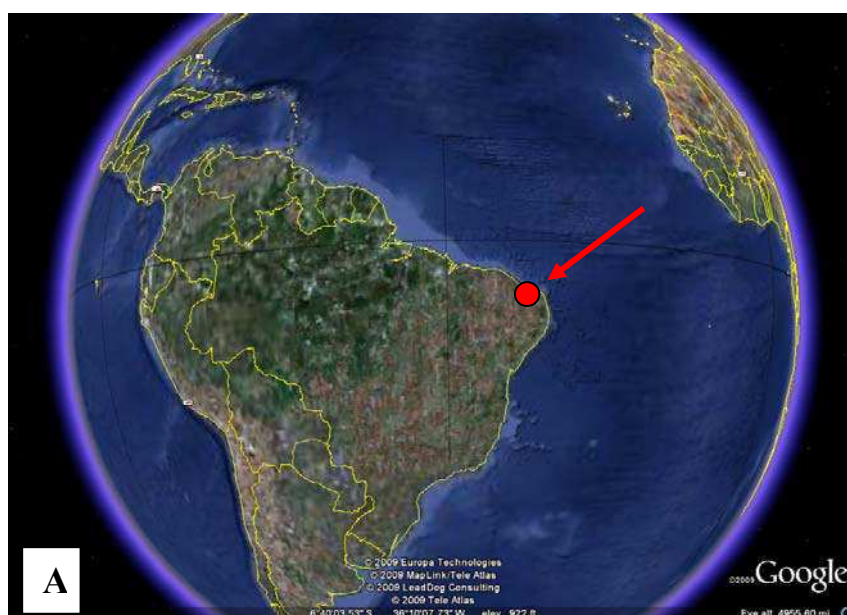




Figura 3.1: Localização da Fazenda Experimental da EMPARN. A) No Globo Terrestre; B) No município de Apodi-RN.

A região da Chapada do Apodi é caracterizada por um clima muito quente e semi-árido, segundo a classificação climática de Köpper. Possui, de acordo com o Departamento Nacional de Meteorologia (1992), os seguintes valores médios anuais de normais climatológicas para o período de 1961 – 1990: pressão atmosférica = 1002,9 hPa, temperatura média = 26,9 °C, temperatura máxima = 33,8 °C, temperatura mínima = 22,9 °C, precipitação pluviométrica = 920,4 mm, evaporação = 2.145,9 mm, umidade relativa = 66,8%, insolação total = 3.000,7 horas e décimos e nebulosidade = 5,4.

Quanto ao solo, esta localidade é composta por Cambissolo de textura franco-argilosa.

3.2 – Cultura Utilizada

A cultura utilizada foi o girassol, cultivar Catissol I (Figura 3.2), criada e comercializada pela Coordenação de Assistência Técnica Integral (CATI), da Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo. Essa cultivar caracteriza-se por apresentar um ciclo precoce, 100 – 110 dias quando sua finalidade for a produção de grãos e 80 – 90 dias quando for utilizada para silagem. Com uma altura média de 1,70 m, em condições de sequeiro possui um potencial médio de produção de grãos equivalente a 1500 kg/ha e um teor médio de óleo de 40%.



Figura 3.2: Vista da cultivar Catissol I na fase inicial da floração.

A parcela experimental compreendeu uma área de 1,01 ha, sendo que a semeadura ocorreu em um espaçamento de 90 cm entre linhas por 30 cm entre plantas.

Após o desbaste foi deixada uma planta por cova, proporcionando uma densidade populacional de 40.000 plantas/ha, aproximadamente. As sementes foram colocadas entre 3 e 5 cm de profundidade no sulco.

O preparo do solo consistiu de uma subsolagem até a profundidade de 40 cm, seguida de gradagem com grade niveladora.

A adubação de fundação foi realizada no fundo do sulco de plantio, em uma dose de 0-60-10 kg.ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, utilizando-se como fonte de nutriente o superfosfato triplo e cloreto de potássio. Já a adubação de cobertura foi efetuada aos 30 dias após a emergência, aplicando-se em cada ocasião 60 kg.ha⁻¹ de N, sob a forma de uréia. O controle de plantas daninhas ocorreu com a aplicação da mistura de herbicidas (metaloclor + trifluralina) na dosagem de 0,8 e 4,0 l/ha, respectivamente, aplicados em pré-emergência, para manter a lavoura livre de plantas daninhas, pelo menos durante os primeiros quarenta dias após a emergência.

Foi utilizado o manejo integrado de pragas recomendado pela EMBRAPA, que consiste na amostragem das pragas a cada 5 dias, a partir da emergência das plantas até o final do ciclo da cultura, efetuando-se o combate às pragas sempre que se alcançar o nível de controle.

As irrigações foram calculadas para aplicar água até uma profundidade de 60 cm, correspondente ao perfil atingido pelo sistema radicular da cultura para levar o solo à capacidade de campo. Para repor o consumo da cultura baseado na razão de Bowen, as reposições foram efetuadas a partir de duas irrigações semanais antes do solo atingir 60% da água disponível, considerando a capacidade de armazenamento de água no solo.

A colheita foi feita manualmente, tendo iniciado quando a umidade dos aquênios encontrava-se entre 14% e 16%. Nessa fase, as folhas estavam totalmente secas, o caule e o capítulo apresentavam coloração variando de castanho escuro à marrom.

3.3 – Instrumentação

3.3.1 – Instrumentos utilizados na determinação da ET_0

Na estimativa da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) foram utilizados dados obtidos pela Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática (Apodi – A340), pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (Figura 3.3).



Figura 3.3: Estação Meteorológica de Observação de Superfície.

Localizada na Fazenda Experimental da EMPARN, essa estação é composta de uma unidade de memória central (datalogger) conectado à sensores de temperaturas do ar e do ponto de orvalho, umidade relativa, pressão atmosférica, condições do vento à 10m

de altura, radiação solar global e precipitação. O datalogger realizou a leitura dos sinais analógicos a cada 5 segundos, armazenando suas médias em intervalos horários.

3.3.2 – Instrumentação utilizada

Para a quantificação da energia solar disponível e evapotranspiração da cultura, no interior da parcela experimental foi instalada uma “torre” micrometeorológica, de aproximadamente 3 m de altura, e um abrigo meteorológico (Figura 3.4).



Figura 3.4: Torre micrometeorológica e abrigo meteorológico no interior da parcela experimental.

Na torre foram instalados dois piranômetros do tipo SP – Lite, para medição da radiação solar global (R_s) e refletida (R_r) pela cultura (Figura 3.5A); um saldo

radiômetro do tipo NR – Lite, para medição do saldo de radiação (R_n) (Figura 3.5B); dois psicrômetros (Figura 3.5C) e dois anemômetros (Figura 3.5D). Os psicrômetros, com termopares de cobre-constantan, foram instalados em dois níveis, 0,30 e 1,50 m acima do dossel da cultura, com a finalidade de medir as temperaturas do ar dos bulbos seco (T_s) e úmido (T_u). Os anemômetros (modelo 03001) foram instalados nos mesmos níveis dos psicrômetros, para medir a velocidade do vento (U). No solo, foram instalados dois fluxímetros do tipo HFT3 a 0,02 m de profundidade, para medir o fluxo de calor no solo (G), instalados entre e nas fileiras de plantas.

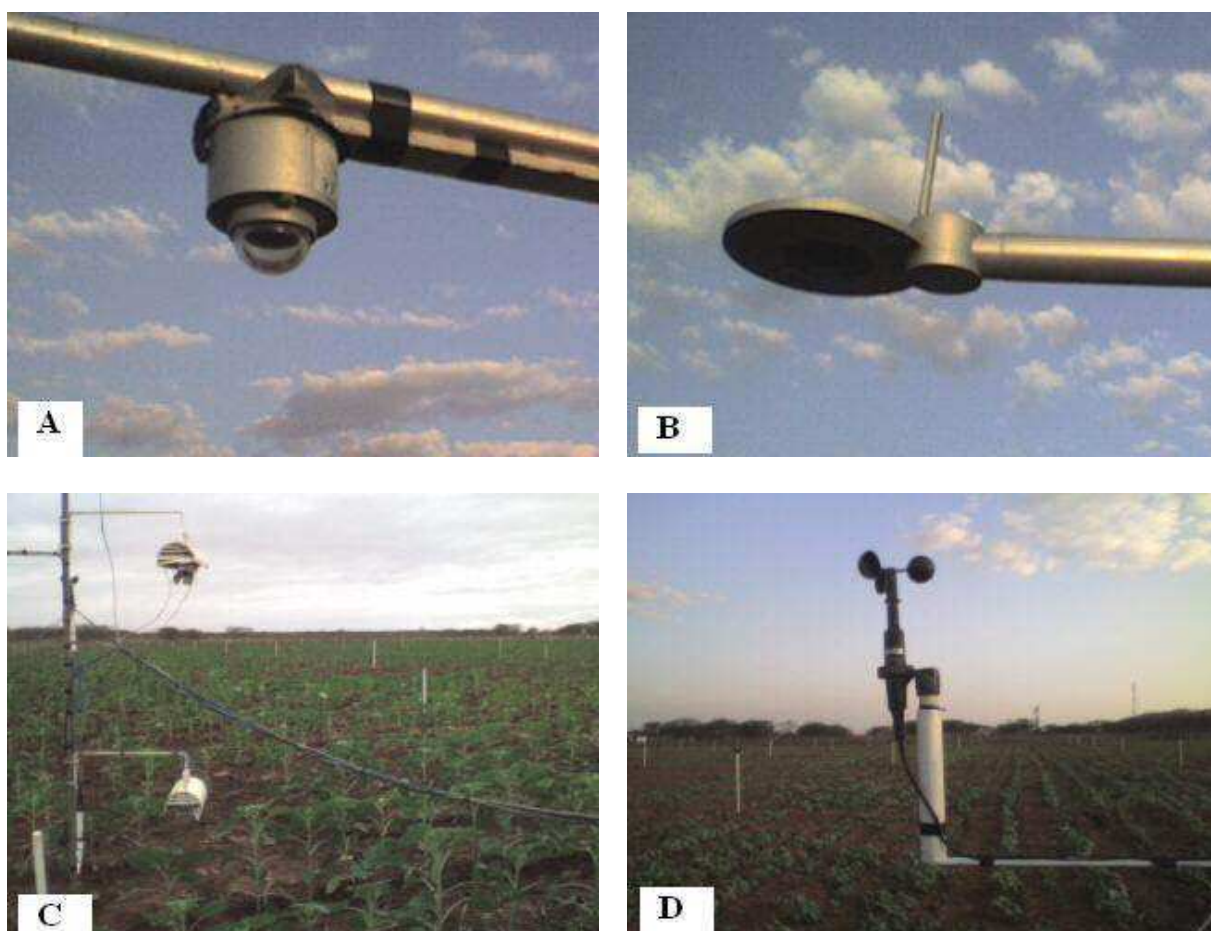


Figura 3.5: Instrumentos instalados na torre micrometeorológica. A) piranômetro; B) saldo radiômetro; C) psicrômetros; D) anemômetro.

No abrigo meteorológico foi instalado um sistema automático de aquisição de dados (datalogger 21X), no qual todos os sensores estavam conectados, com o intuito de

coletar e armazenar os dados medidos (Figura 3.6). O datalogger foi programado para efetuar a leitura dos sinais analógicos a cada 5 segundos e armazenar suas médias em intervalos de 20 minutos. As médias foram coletadas em um módulo de armazenamento, para posterior transferência para um computador, onde foram processadas em planilhas eletrônicas. O datalogger foi alimentado por um painel solar de 12 Volts.



Figura 3.6: Sistema automático de aquisição de dados (datalogger 21X).

3.3.3 – Irrigação

As irrigações foram calculadas para aplicar água até uma profundidade de 0,60 m, realizadas com aspersores Fabrimar (Figura 3.7), com as seguintes especificações técnicas: bocais de 4,4 x 3,2 mm, pressão de serviço de 2,5 atm e vazão de 1,8 m³/h, instalados com espaçamento de 15 x 12 m, o que proporcionou uma precipitação de 10,0

mm/h. Nessa pesquisa utilizou-se o critério de estimativa de 75% de eficiência do sistema de irrigação, dando margem a possíveis erros na rega, causados por advecção de vento.



Figura 3.7: Aspersor utilizado na irrigação.

3.4 – Evapotranspiração de Referência

A evapotranspiração de referência diária (ET_o) foi estimada pelo método de Penman-Monteith, conforme recomendação da FAO (Allen et al., 1998):

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (3.1)$$

em que ET_o é a evapotranspiração de referência diária (mm.d^{-1}); R_n é o saldo diário de radiação ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$); G é o fluxo diário de calor no solo ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$); T é a temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$); u_2 é a velocidade média diária do vento a 2 m de altura (m.s^{-1}); e_s é a pressão de saturação do vapor d'água média diária (kPa); e_a é a pressão de vapor d'água

média diária (kPa); Δ é a declividade da curva de pressão de vapor no ponto de T (kPa. $^{\circ}\text{C}^{-1}$) e γ é o coeficiente psicrométrico (kPa. $^{\circ}\text{C}^{-1}$).

As variáveis da equação (3.1) foram determinadas através de dados obtidos pela Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, situada na Fazenda Experimental da EMPARN, como segue:

A inclinação da curva de pressão de vapor (Δ) foi obtida por:

$$\Delta = \frac{4098 \left[0,6108 \exp\left(\frac{17,27T}{T + 237,3}\right) \right]}{(T + 237,3)^2} \quad (3.2)$$

em que T é a temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$), determinada por:

$$T = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \quad (3.3)$$

em que T_{\max} e T_{\min} são as temperaturas diária do ar máxima e mínima, respectivamente.

A constante psicrométrica (γ) foi obtida por:

$$\gamma = \frac{C_p p_0}{L \varepsilon} = 0,665 \times 10^{-3} p_0 \quad (3.4)$$

em que C_p é o calor específico do ar seco à pressão constante ($1013 \times 10^{-3} \text{ MJ. kg}^{-1}.\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$); p_0 é a pressão atmosférica média local (kPa); $L = 2,45 \text{ MJ. kg}^{-1}$ é o calor latente de vaporização da água; $\varepsilon = 0,622$ é a razão entre as massas moleculares da água e do ar seco.

A pressão atmosférica média local (p_0) foi determinada por:

$$p_0 = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{5,26} \quad (3.5)$$

em que z é a altitude local (m).

Na estação climatológica automática de superfície as informações referentes ao vento são obtidas ao nível de 10m de altura (u_{10}). Para ajustar esses valores obtidos para o nível de 2 m de altura, utilizou-se a expressão:

$$u_2 = u_{10} \frac{4,87}{\ln(67,8z - 5,42)} \quad (3.6)$$

em que: u_{10} é a velocidade média diária do vento a 10 m de altura (m.s^{-1}); z é a altura de 10 m.

A pressão de saturação do vapor d'água média diária (e_s) foi obtida por:

$$e_s = \frac{[e^0(T_{\max}) + e^0(T_{\min})]}{2} \quad (3.7)$$

em que $e^0(T_{\max})$ e $e^0(T_{\min})$ são as pressões de saturação do vapor d'água para as temperaturas máxima e mínima, respectivamente, expressas em kPa e determinadas por:

$$e^0(T) = 0,6108 \exp\left[\frac{17,27T}{T + 237,3}\right] \quad (3.8)$$

A pressão de vapor média diária (e_a) foi calculada por:

$$e_a = \frac{e^0(T_{\min}) \frac{UR_{\max}}{100} + e^0(T_{\max}) \frac{UR_{\min}}{100}}{2} \quad (3.9)$$

em que UR_{\max} e UR_{\min} são as umidades relativa máxima e mínima, respectivamente, expressas em porcentagem.

O saldo diário de radiação (R_n) foi expresso por:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (3.10)$$

em que R_{ns} e R_{nl} representam o balanço de radiação de ondas curtas e longas, respectivamente, ambos em ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$).

O balanço de radiação de ondas curtas (R_{ns}) foi determinado por:

$$R_{ns} = 0,77 \times R_s \quad (3.11)$$

em que R_s é a radiação solar incidente ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$).

O balanço de radiação de ondas longas (R_{nl}) foi determinado por:

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{\max,K}^4 + T_{\min,K}^4}{2} \right] \left(0,34 - 0,14\sqrt{e_a} \right) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (3.12)$$

em que σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($4,903 \times 10^{-9} \text{ MJ. K}^{-4}.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$); $T_{\max,K}$ e $T_{\min,K}$ são as temperaturas do ar diária máxima e mínima, respectivamente, em Kelvin; e_a é a pressão de vapor média diária (kPa); R_s é a radiação solar incidente ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$); R_{so} é a radiação solar para dias de céu claro ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$).

A radiação solar para dias de céu claro (R_{so}) foi calculada por:

$$R_{so} = (0,75 + 2 \times 10^{-5} z) R_a \quad (3.13)$$

em que: R_a é a radiação extraterrestre ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$); z é a altitude local (m).

Por sua vez, a radiação extraterrestre (R_a) foi estimada por:

$$R_a = \frac{24 \cdot (60)}{\pi} G_{sc} \cdot d_r [\omega_s \cdot \text{sen}(\varphi) \cdot \text{sen}(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \text{sen}(\omega_s)] \quad (3.14)$$

em que: G_{sc} é a constante solar ($0,0820 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{min}^{-1}$); d_r é o inverso da distância relativa Terra-Sol (rad); ω_s é o ângulo horário (rad); φ é a latitude local (rad); δ é a declinação solar (rad).

O inverso da distância relativa Terra-Sol (d_r) e a declinação solar (δ) foram determinados por:

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (3.15)$$

$$\delta = 0,409 \text{sen}\left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39\right) \quad (3.16)$$

em que J é o dia Juliano (número do dia do ano entre 1 e 365).

O ângulo horário (ω_s) foi obtido por:

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi) \cdot \tan(\delta)] \quad (3.17)$$

Segundo Allen et al. (1998) o fluxo de calor no solo para o cálculo da evapotranspiração de referência diária pode ser considerado nulo, devido ao seu valor relativamente pequeno nesse período sob a grama de referência.

3.5 – Balanço de Energia sobre Cultura e Evapotranspiração

A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi determinada através do balanço de energia expresso por:

$$R_n = LE + H + G + S + P \quad (3.18)$$

em que: R_n é o saldo de radiação; LE é o fluxo de calor latente; H é o fluxo de calor sensível; G é o fluxo de calor no solo; S é a energia armazenada na copa das árvores; P é a energia utilizada no processo fotossintético, todos em ($W.m^{-2}$).

Na realização do balanço de energia sobre um dossel vegetal, os termos referentes à energia armazenada na copa das árvores (S) e à energia utilizada no processo fotossintético (P) são desprezados, devido à sua pequena representatividade em relação ao saldo de radiação e à dificuldade no seu cômputo. Assim, o balanço de energia, expresso por R_n , foi estimado por (Rosemberg et al., 1983):

$$R_n = LE + H + G \quad (3.19)$$

A resolução da equação simplificada do balanço de energia (3.19) foi obtida por medidas de R_n e G e de estimativas de LE e H , utilizando o método da razão de Bowen (β):

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad (3.20)$$

O fluxo de calor sensível (H) para uma superfície vegetada é proporcional ao gradiente de temperatura entre o ar e superfície evaporante (dossel vegetativo). Normalmente, (H) é negativo ("dirigido para fora" da superfície) no período diurno, pois esta superfície está mais aquecida do que o ar. À noite, ocorre o contrário, a temperatura do ar é maior do que a da vegetação, deixando o fluxo de calor sensível positivo (na direção do dossel), expresso por:

$$H = -K_h \rho C_p \frac{\partial T}{\partial z} \quad (3.21)$$

em que: K_h é o coeficiente de difusão turbulenta de calor sensível ($m^2 \cdot s^{-1}$); $\rho = 1,29 \text{ kg} \cdot m^{-3}$ é a densidade do ar; C_p é o calor específico do ar seco à pressão constante ($1013 \times 10^{-3} \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$); T é a temperatura do ar ($^\circ\text{C}$); z representa dois níveis acima da superfície vegetada (m).

O fluxo de calor latente (LE), na camada limite superficial, foi representado por:

$$LE = -K_w L \frac{\partial q}{\partial z} \quad (3.22)$$

em que: LE é o fluxo de calor latente ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$); K_w é o coeficiente de difusão turbulenta de vapor d'água ($m^2 \cdot s^{-1}$); L é o calor latente de vaporização da água ($2,45 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$); q é a umidade específica do ar (adimensional); z representa dois níveis acima da superfície vegetada (m).

A umidade específica do ar (q) foi expressa em função das pressões de vapor d'água (e) e atmosférica (p_0) por:

$$q = \frac{0,622e}{p_0 - 0,378e} \cong \frac{0,622e}{p_0} \quad (3.23)$$

considerando que $e \ll \ll \ll p_0$.

Substituindo a equação 3.23 (umidade específica do ar) na equação 3.22 (fluxo de calor latente) obteve-se:

$$LE = -K_w L \frac{\partial \left(\frac{0,622e}{p_0} \right)}{\partial z} \quad (3.24)$$

$$LE = \frac{-K_w L \varepsilon}{p_0} \frac{\partial e}{\partial z}$$

em que: $\varepsilon = 0,622$ e representa a razão entre as massas moleculares da água e do ar seco;

A pressão de vapor d'água (e), nos dois níveis acima da superfície vegetada, foi determinada pela equação de Ferrel:

$$e(T) = e_s(T_u) - 0,00066(1 + 0,00115T_u)(T_s - T_u)p_0 \quad (3.25)$$

em que: $e_s(T_u)$ é a pressão de saturação do vapor d'água (kPa), obtida através da equação 3.8; T_s e T_u são as temperaturas dos termômetros de bulbo seco e úmido, respectivamente ($^{\circ}\text{C}$); p_0 é a pressão atmosférica média local (kPa).

Substituindo as equações 3.24 (LE) e 3.21 (H) na equação 3.20 (Razão de Bowen), obteve-se:

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{p_0 C_p \rho}{L \varepsilon} \left(\frac{-K_h}{-K_w} \right) \frac{\partial T / \partial z}{\partial e / \partial z} \quad (3.26)$$

Segundo Verma et al. (1978) na ausência de advecção de calor sensível e em condições de neutralidade e estabilidade atmosférica, os coeficientes de difusão turbulenta de calor sensível e vapor d'água possuem valores aproximadamente iguais ($K_h \cong K_w$), podendo então a equação 3.26 ser expressa:

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{p_0 C_p}{L \varepsilon} \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (3.27)$$

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e}$$

em que: γ é a constante psicrométrica ($\text{KPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$); ΔT e Δe são as diferenças da temperatura do ar ($^\circ\text{C}$) e da pressão real de vapor d'água (kPa) em dois níveis acima da superfície vegetada, respectivamente.

O fluxo de calor latente (LE) foi obtido substituindo a equação 3.27 na equação 3.19:

$$LE = \frac{R_n - G}{1 + \beta} \quad (3.28)$$

Usualmente, a evapotranspiração da cultura (ET_c) é expressa em unidades de lâmina de água em um dado intervalo de tempo ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$). Os valores obtidos na equação 3.28 são expressos em $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$, então para estejam na adequada unidade, o resultado da equação 3.28 foi dividido pelo calor latente de vaporização (L), integrando-se os resultados para o período do dia em que houve energia disponível, ou seja, quando o saldo de radiação foi positivo ($R_n - G > 0$). Assim, a evapotranspiração diária da cultura foi expressa por:

$$ET_c = \frac{LE}{L} \cdot P_p \quad (3.29)$$

em que: P_p é o período do dia em que $R_n - G > 0$.

Por fim, o fluxo de calor sensível (H) foi obtido por:

$$H = R_n - LE - G \quad (3.30)$$

3.6 – Coeficiente da Cultura

O comportamento do coeficiente de cultivo (K_c) ao longo do ciclo de produção da cultura foi obtido por:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (3.31)$$

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Ciclo do girassol

Na realização dessa pesquisa, a cultura do girassol apresentou um ciclo de 91 dias, distribuídos em 16 dias na fase de germinação (Fase I), 25 dias na fase de desenvolvimento vegetativo (Fase II), 25 dias na fase de floração (Fase III) e 25 dias na fase de maturação fisiológica (Fase IV). A semeadura foi realizada no dia 27 de agosto de 2008, sendo que a emergência das plantas foi constatada a partir do dia 5 de setembro de 2008 (início da Fase I), o desenvolvimento vegetativo a partir de 21 de setembro de 2008 (início da Fase II), a floração a partir de 16 de outubro de 2008 (início da Fase III) e a plena maturação foi observada no dia 4 de dezembro de 2008. A Tabela 4.1 exibe a distribuição do ciclo do girassol com suas respectivas datas inicial e final.

Tabela 4.1: Duração das fases fenológicas do ciclo do girassol, cultivar Catissol I, cultivado na região da Chapada do Apodí-RN

Fase	Estádio	Período	Nº dias
I	germinação	5 set. a 20 set. 2008	16
II	desenvolvimento vegetativo	21 set. a 15 out. 2008	25
III	floração	16 out. a 9 nov. 2008	25
IV	maturação fisiológica	10 nov. a 4 dez. 2008	25
Total			91

Na Tabela 4.2 são indicadas as alturas das plantas no início de cada fase do ciclo e na data de conclusão da plena maturação fisiológica. Foi observado, no final do experimento, que a cultura do girassol atingiu uma altura de 1,73 m, sendo que a maior variação no crescimento ocorreu na Fase II (fase de desenvolvimento vegetativo) equivalente a 0,93 m, enquanto que a Fase IV (fase de maturação fisiológica) apresentou uma menor variação da altura das plantas (0,04 m). Durante a Fase I foi observada uma variação da altura do girassol correspondente a 0,31 m e na Fase III de 0,44 m. A Figura 4.1 representa o crescimento do girassol ao longo do ciclo, salientando que durante a Fase II a cultura apresentou um desenvolvimento de 54% do seu total, sendo que o restante distribuiu-se em 18; 25,5 e 2,5% nas Fases I, III e IV, respectivamente.

Tabela 4.2: Altura da cultura do girassol no início de cada fase fenológica e na data de conclusão da plena maturação fisiológica.

Data	Fase	Altura das plantas (m)
5 set. 2008	I	0,01
21 set. 2008	II	0,32
16 out. 2008	III	1,30
10 nov. 2008	IV	1,69
4 dez. 2008	IV	1,73

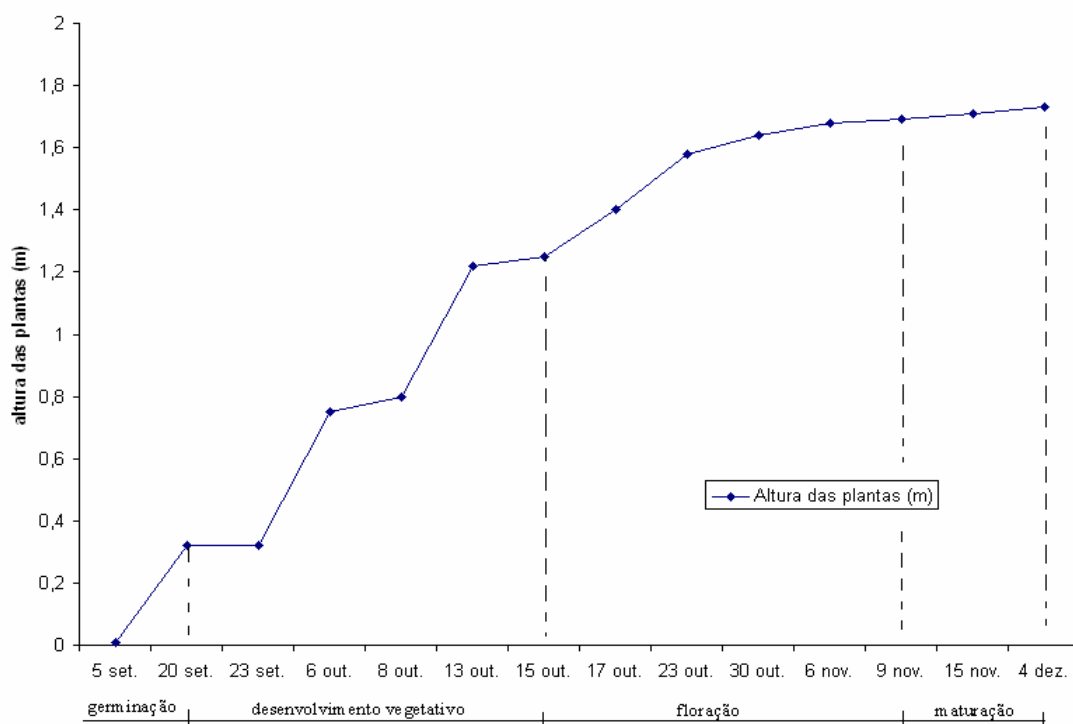


Figura 4.1: Altura (m) do girassol ao longo do ciclo vegetativo.

4.2 - Balanço de Energia sobre Cultura

Os balanços médio e diário de energia sobre a cultura são apresentados na Tabela 4.3 e na Figura 4.2, respectivamente. Elas mostram que o saldo de radiação foi maior na terceira fase do ciclo da cultura (fase de floração), com um valor total médio de aproximadamente $411,4 \text{ W.m}^{-2}$, dos quais 97,8% corresponderam ao fluxo de calor latente (LE), 4,2% ao fluxo de calor sensível (H) e -2% ao fluxo de calor no solo (G). Dos componentes do balanço de energia analisados nesta pesquisa, o fluxo de calor latente (LE) representou maiores porcentagens do saldo total de radiação em todas as fases do ciclo do girassol, sendo que sua maior representatividade ocorreu na Fase III (97,8%) e a menor na Fase I (76,5%). Na fase de maturação fisiológica (Fase IV) o fluxo de calor sensível (H) representou 15% do saldo de radiação ($384,5 \text{ W.m}^{-2}$) enquanto que na fase de floração representou apenas 4,2% do saldo de radiação ($411,4 \text{ W.m}^{-2}$). O fluxo de calor no solo

apresentou maiores valores durante a Fase I (fase inicial), equivalentes a 12,2% do saldo de radiação (346 W.m^{-2}) e menores valores na Fase IV (maturação fisiológica) aproximando-se de -1,1% do saldo de radiação ($384,5 \text{ W.m}^{-2}$).

Tabela 4.3: Valores médios do saldo de radiação e seus componentes durante as fases do ciclo do girassol.

Fase	Rn (W.m^{-2})	LE/R _n (%)	H/R _n (%)	G/R _n (%)
I	346	76,5	11,3	12,2
II	377,7	95,9	7	-2,9
III	411,4	97,8	4,2	-2
IV	384,5	86,1	15	-1,1
Média	379,9	89,1	9,4	1,5

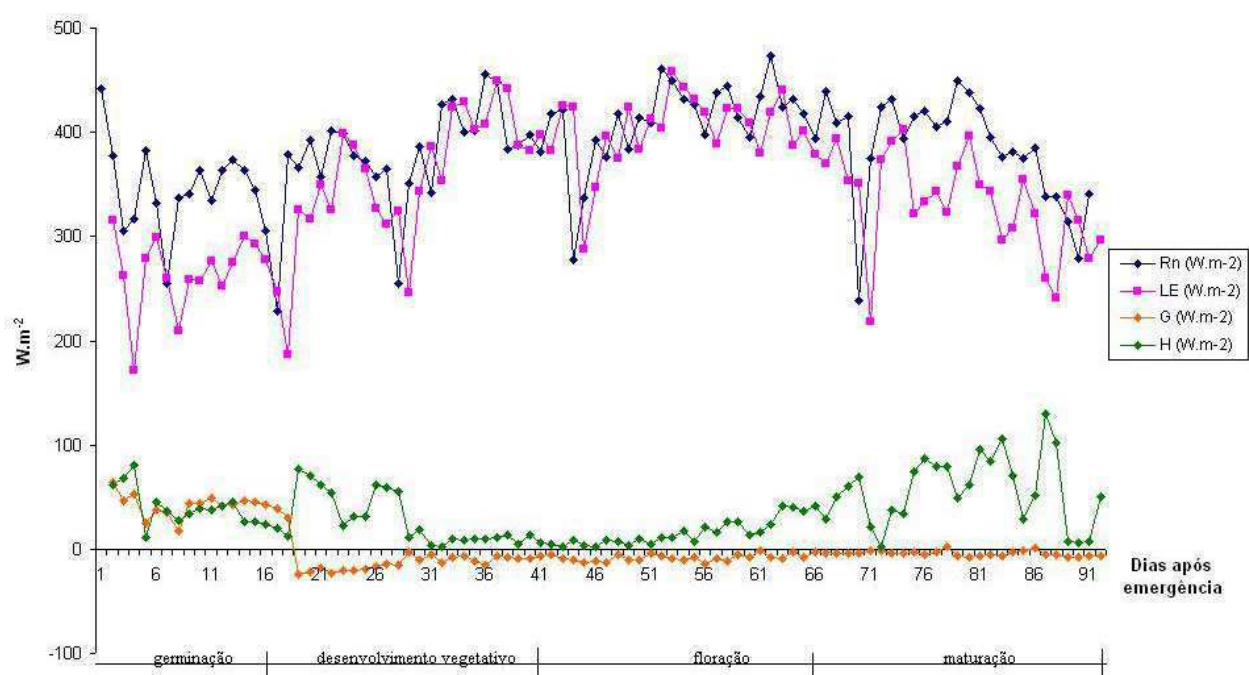


Figura 4.2: Balanço de energia diário para o ciclo do girassol.

4.3 – Evapotranspiração de Referência

A Tabela 4.4 e a Figura 4.3 representam o comportamento médio e acumulado durante as fases fenológicas e diário da evapotranspiração de referência (ET_0), respectivamente. Os valores diários de ET_0 oscilaram entre $6,3 \text{ mm.dia}^{-1}$ (Fase I) e $8,8 \text{ mm.dia}^{-1}$ (Fase III), sendo que os valores médios diários corresponderam a 7,1; 7,7; 8,0 e 7,7 para as Fases I, II, III e IV, respectivamente. No final do experimento, a ET_0 observada foi de 698,3 mm, sendo que os maiores valores registrados foram na Fase III, equivalentes a 199,8 mm e os menores na Fase I, iguais a 113,1 mm.

Tabela 4.4: Valores médios de ET_0 diária e total para cada fase do ciclo do girassol.

Fase	Estádio	ET_0 diária (mm.dia^{-1})	ET_0 total (mm)
I	inicial	7,1	113,1
II	desenvolvimento vegetativo	7,7	193,7
III	floração	8,0	199,8
IV	maturação fisiológica	7,7	191,8
Total			698,3

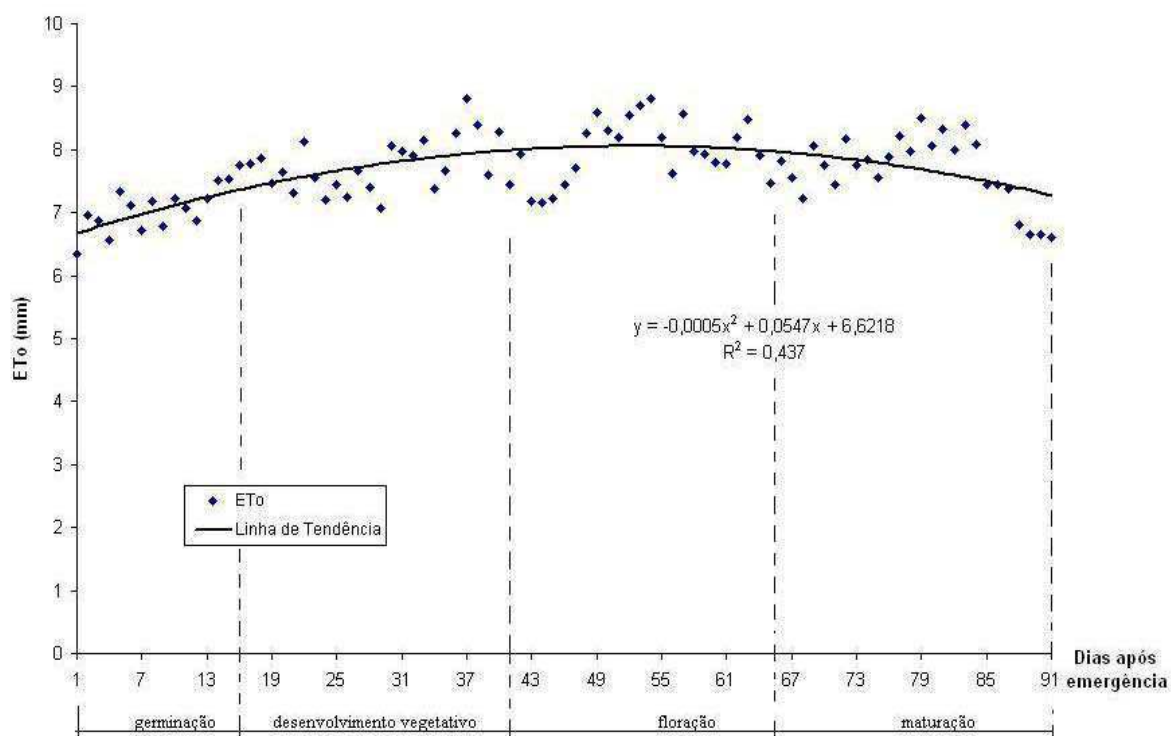


Figura 4.3: Comportamento diário da evapotranspiração de referência.

4.4 – Evapotranspiração da Cultura

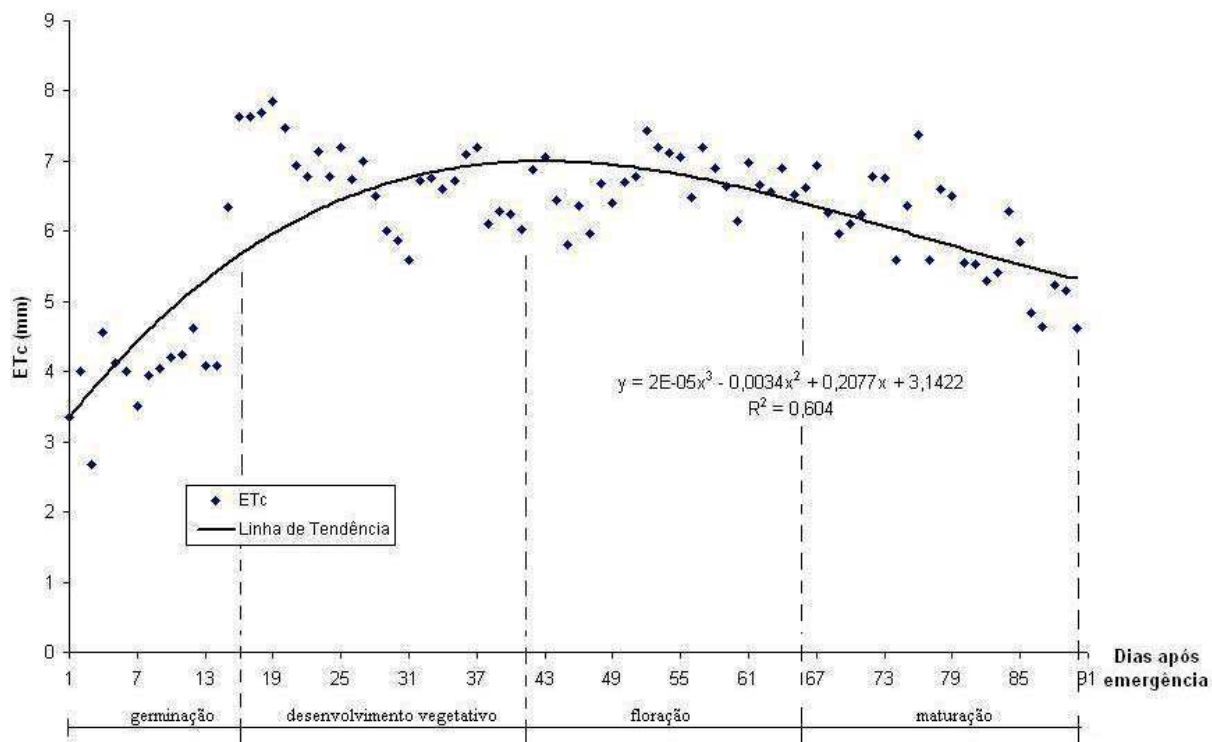
A evapotranspiração da cultura (ET_c) apresentou um aumento gradativo em seus valores até a cultura do girassol concluir sua fase de desenvolvimento vegetativo (Fase II), a partir de onde decresceram. Este comportamento pode ser explicado pelo desenvolvimento das plantas (Figura 4.1), pois na Fase II do ciclo vegetativo o girassol apresentou uma maior variação em seu crescimento, aumentando o índice de área foliar e, conseqüentemente, a evapotranspiração da cultura. Ao atingir a fase de floração (Fase III), a cultura não apresentou mudanças significativas na variação de sua altura, estabilizando então o índice de área foliar e a evapotranspiração da cultura. Ao iniciar a fase de maturação fisiológica (Fase IV), o girassol necessitou de uma menor energia fotossintética, o que fez com que a ET_c diminuísse nesse período.

Como pode ser visto na Tabela 4.5 referente à evapotranspiração da cultura média e acumulada durante as fases fenológicas e na Figura 4.4, referente ao comportamento diário da evapotranspiração da cultura, a Fase II do ciclo da cultura obteve maiores valores de ET_c , sendo que o valor médio para esse período ficou em torno de 6,8 mm/dia, totalizando 169 mm ao final da fase. Para as Fases I, III e IV foram registrados valores médios iguais a 4,3; 6,7 e 5,9 mm/dia, com totais no término das fases equivalentes a 69,4; 167,5 e 148,2 mm, respectivamente.

Ao final do experimento constatou-se que a ET_c foi igual a 554,1 mm, sendo superior aos encontrados por Matzenauer et al. (2007) para a região de Passo Fundo – RS (valores entre 258 e 508 mm) e por Silva et al. (2007) no município de Lavras – MG ($ET_c = 428,7$ mm) para o cultivo do girassol. Por outro lado, o valor da ET_c observado nessa pesquisa apresentou-se inferior aos citados por Doorembos e Kassam (1979), valores entre 600 e 1000 mm, por Catronga et al. (2006), que registraram uma evapotranspiração para a cultura do girassol igual a 850 mm em Beja – Portugal e por Tyagi et al. (2000), cujo experimento realizado em Karnal – Índia obteve uma evapotranspiração para a cultura do girassol igual a 664,2 mm.

Tabela 4.5: Valores médios de ET_c diária e total para cada fase do ciclo do girassol.

Fase	Estádio	ET_c diária (mm.dia⁻¹)	ET_c total (mm)
I	inicial	4,3	69,4
II	desenvolvimento vegetativo	6,8	169,0
III	floração	6,7	167,5
IV	maturação fisiológica	5,9	148,2
Total			554,1



4.5 – Lâmina de água aplicada e consumo hídrico

Ao longo dos 91 dias do ciclo vegetativo do girassol foram aplicados 626,4 mm de água, distribuídos em 92,6 mm na fase inicial, 222,9 mm na fase de desenvolvimento vegetativo, 221,1 mm na fase de floração e 89,8 mm na fase de maturação fisiológica (Figura 4.5). As irrigações foram suspensas aos 77 dias após a emergência das plantas, quando se constatou o estágio de maturação fisiológica dos grãos.

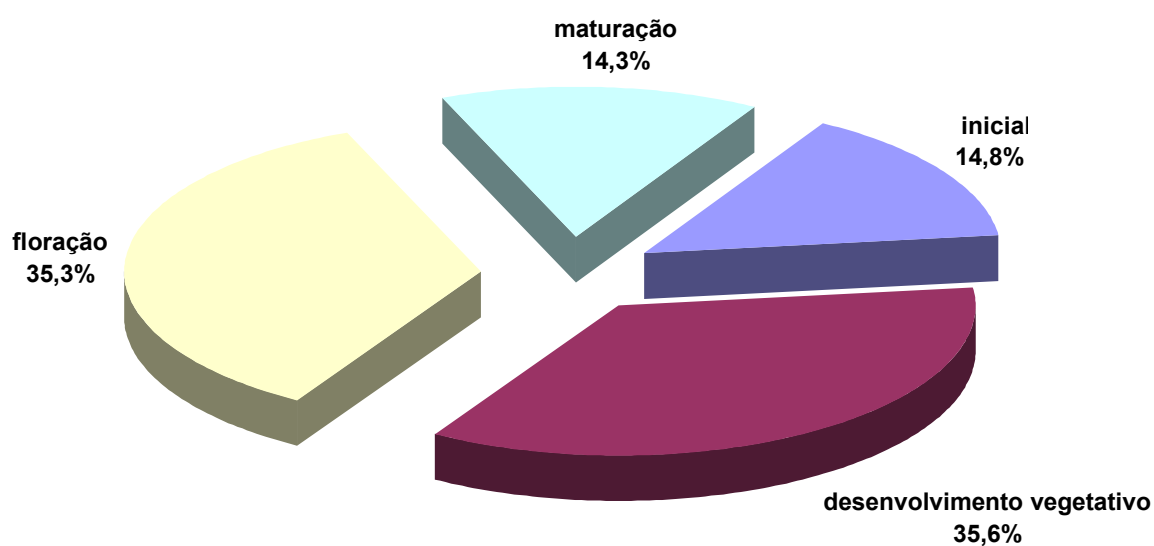


Figura 4.5: Lâmina total de água aplicada em cada fase do ciclo de cultivo.

Os valores da lâmina de água aplicada ao girassol e do seu efetivo consumo (ET_c) ao longo do ciclo de cultivo são mostrados na Tabela 4.6, lembrando que os valores da lâmina de água foram calculados utilizando 75% de eficiência do sistema de irrigação.

Tabela 4.6: Valores da lâmina de água aplicada ao girassol e do seu efetivo consumo.

Fase	Nº dias	Lâmina de Irrigação (mm)	ET_c (mm)	ET_o (mm)
I	16	92,6	69,4	113,1
II	25	222,9	169,0	193,7
III	25	221,1	167,5	199,8
IV	25	89,8	148,2	191,8
Total	91	626,4	554,1	698,3

4.6 – Coeficiente de cultivo

Os valores do coeficiente de cultivo (K_c) oscilaram entre 0,39 (Fase I) e 1,05 (Fase II), apresentando valores médios iguais a 0,61; 0,87; 0,83 e 0,77 nas Fases I, II, III e IV, respectivamente (Tabela 4.7). Os resultados de K_c constatados nesse trabalho foram superiores aos valores sugeridos pela FAO (2002), exceto na Fase IV, em que os

resultados obtidos ficaram dentro da faixa de valores propostos. A maior diferença entre os valores obtidos na pesquisa e os sugeridos pela FAO (2002) foi registrada na Fase I, em que os valores de K_c foram superiores em 52% aos da FAO (2002). Nas fases II e III o acréscimo dos valores de K_c foi equivalente a 10 e 20%, respectivamente.

Tabela 4.7: Valores médios de K_c obtidos no experimento.

Fase	Período	Nº dias	K_c
I	5/9 a 20/9/2008	16	0,61
II	21/9 a 15/10/2008	25	0,87
III	16/10 a 9/11/2008	25	0,83
IV	10/11 a 4/12/2008	25	0,77

Como pode ser visto na figura 4.6, referente ao comportamento diário do coeficiente de cultivo, este foi aumentando de valor gradativamente até atingir seu máximo, na Fase II, com um valor aproximado de 1,05, a partir de onde seus valores passaram a diminuir, até alcançar valores em torno de 0,6 na fase de maturação fisiológica.

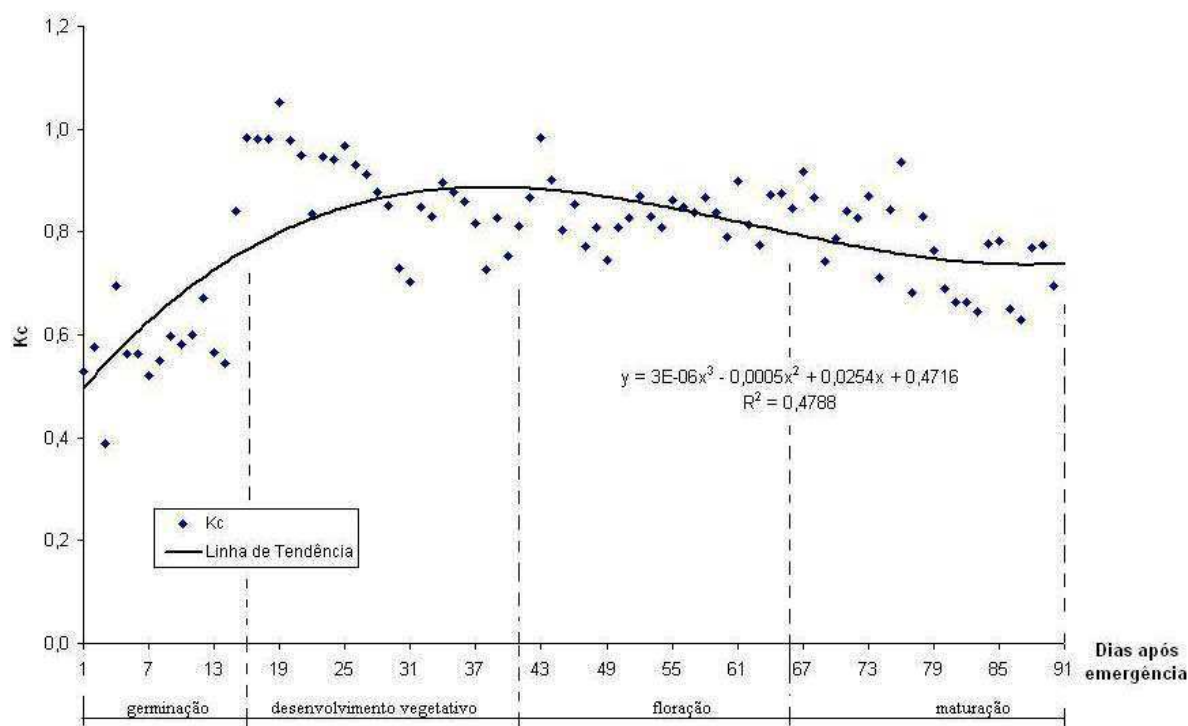


Figura 4.6: Comportamento diário do coeficiente de cultivo.

4.7 - Rendimento de grãos

Ao término da pesquisa, amostras de plantas de girassol foram colhidas com o intuito de analisar a porcentagem de área fecundada dos capítulos, ou seja, a área potencialmente capaz de produzir grãos e óleo. Obteve-se uma produção de grãos equivalente a 2260 kg.ha^{-1} , sendo esses resultados adquiridos inferiores aos rendimentos de Silva et al. (2007) em Lavras – MG, cujas produtividades de grãos atingiram $2863,12 \text{ kg.ha}^{-1}$ e de óleo $675,57 \text{ kg.ha}^{-1}$ e superiores aos alcançados por Catronga et al. (2006) em Beja – Portugal, equivalentes a 1777 kg.ha^{-1} e $0,75 \text{ ton.ha}^{-1}$ para as produtividades de grãos e óleo, respectivamente.

5 – CONCLUSÕES

Na realização dessa pesquisa, o ciclo do girassol compreendeu 91 dias, distribuídos em 16, 25, 25 e 25 dias nas fases inicial (Fase I), de desenvolvimento vegetativo (Fase II), floração (Fase III) e maturação fisiológica (Fase IV), respectivamente.

O consumo hídrico da cultura foi maior na Fase II do ciclo, equivalente a 169 mm, enquanto que para o ciclo total alcançou 554,1 mm.

O coeficiente de cultivo (K_c) oscilou entre 0,39 (Fase I) e 1,05 (Fase II), decrescendo em seguida para alcançar 0,77 na Fase IV.

A eficiência do sistema de irrigação (75%) evidenciou que a lâmina de água aplicada (626,4 mm) excedeu o consumo hídrico da cultura em (113%), o que acarretou uma produtividade de grãos de 2.260 kg.ha⁻¹.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, R.G. et al. **Operational estimates of reference evapotranspiration**. Agronomy Journal, Madison, v. 81, n. 4, p. 650 - 662, 1989.

Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

Amorim Neto, M. da S.; Gomide, R.L.; Sediyaama, G.C.; **Índice de estresse hídrico da cultura do feijoeiro irrigado**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 49-53, 1996.

Angus, D.E.; Watts, P.J. **Evapotranspiration: How good is the Bowen ratio method?** Agricultural Water Management, Amsterdam, v.8, p.133 - 150, 1984.

Azevedo, P.V.; Sousa, I.F. de; Silva, B.B da. **Balço de Energia e Evapotranspiração do Coqueiro Anão-Verde Cultivado na Região dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Sergipe**. Revista Brasileira de Meteorologia, Rio de Janeiro, v. SBMET, p. ---, 2005.

Bowen, I.S. **The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface**. Physical Review, Ithaca, v.27, p.779 - 787, 1926.

Bremner, P.M.; Preston, G.K. St Groth, C.F. **A field comparison of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor*) in a long drying cycle**. In: Water extraction. Australian Journal of Agricultural Research, v.37, p. 483 - 493, 1986.

Burman, R.D. et al. Water Requeriments. In: Jensen, M.E. ed. **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, 1983. Cap.6, p. 189 - 232.

Casa, R.; Russel, G.; Cascio, B.L. **Estimation of evapotranspiration from a field of linseed in central Italy**. Agricultural and Forest Meteorology, Amsterdam, v. 104, p. 289 - 301, 2000.

Castiglioni, V.B.R., Balla, A., Castro, C., Silveira, J.M. **Fases de desenvolvimento da planta do girassol**. Documentos, EMBRAPA-CNPSO. n.58, 1994, 24 p.

Castiglioni, V.B.R.; Castro, C.; Balla, A. **Avaliação de genótipos de girassol em ensaio intermediário (1992/93), Londrina- PR**. In: Reunião Nacional de Girassol, 10, 1993, Goiânia. Resumos... Goiânia: IAC, 1993. p.37.

Castro, C.; Castiglioni, V.B.R.; Balla, A. **A cultura do girassol: tecnologia de produção**. Documentos, EMBRAPA-CNPSO, n.67, 1996 a, 20 p.

Castro, C.; Castiglioni, V.B.R.; Balla, A. **A cultura do girassol**. Circular Técnica, EMBRAPA-CNPSO, n.13, 1996 b, 38 p.

Catronga, H.; Boteta, L.; Guerreiro, C.; Oliveira, I. **Estratégias de Rega para a Cultura do Girassol**. Centro Operativo e de Tecnologia do Regadio, Quinta da Saúde, 7801-901, Beja.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/>. Acesso em: Abril 2008.

Cunha, G.R.; Bergamaschi, H.; Berlato, M.A.A. **Balço de energia em cultura de milho**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.4, n.1, p.1 - 14, 1996.

Doorenbos, J.; Kassam, A H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212p. (FAO. Irrigation e Drainage, 33).

Doorenbos, J.; Kassam, A.M. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: FAO, 1994 (Estudos FAO, Irrigação e Drenagem 33).

Doorenbos, J.; Pruitt, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. 2 ed. Rome: FAO, 1977 (FAO Irrigation and Drainage Paper 24).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <http://www.embrapa.br/>. Acesso em: Abril 2008.

FAO - Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação. **Crop Water Management. Sunflower.** Disponível em: <http://www.fao.org/ag/agl/aglw/cropwater/sunflower.stm> . Acesso em: Abril 2008.

Faria, R.A.; Carvalho, D.F.; Ribeiro, A.; Oliveira, M.A.A. **Influência do método de estimativa da evapotranspiração de referência na demanda de irrigação suplementar para o milho (*Zea mays* L.), na Bacia do Rio Verde Grande (MG).** Revista Ciência Agrotécnica, Lavras, v.24 (Edição Especial), p.187-196, 2000.

Frisina, V.A.; Escobedo, J.F. **Balço de radiação e energia da cultura de alface em estufa de polietileno.** Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.34, n.10, p.1775 - 1786, 1999.

Gay, L.W. **Bowen-ratio measurements at sites C and L. Evapotranspiration measurements of native vegetation,** Owens Valley, California. 1986. p.5 -18.

Gomes, E.M. **Parâmetros básicos para a irrigação sistemática do girassol (*Helianthus annuus* L.).** 2005. 117f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

Gomes, E.M.; Ungaro, M.R.G.; Vieira, D.B. **Impacto da suplementação hídrica no acúmulo e partição da matéria seca de girassol.** In: Simpósio Nacional de Girassol, 3, e Reunião Nacional da Cultura de Girassol, 15, 2003, Ribeirão Preto. Anais. Ribeirão Preto: CATI, 2003., CD-Rom.

Gonçalves, L.C.; Tomich, T.R. **Utilização do girassol como silagem para alimentação bovina.** In: Reunião Nacional de Pesquisa de Girassol, 13; Simpósio Nacional sobre a Cultura do Girassol, 1, 1999, Itumbiara, GO. Anais ... Itumbiara, GO: Embrapa, 1999. p.21-30.

Heilman, J.L.; Brittin, C.L. **Fetch requirements for Bowen ratio measurements of latent and sensible heat fluxes.** Agricultural and Forest Meteorology, Amsterdam, v.4, n.1, p.261 - 263, 1989.

Heilman, J.L.; McInnes, K.J.; Savage, M.J.; Gesh, R.W.; Lascano, R.J. **Soil and canopy energy balance in a west Texas vineyard.** Agricultural and Forest Meteorology, Amsterdam, v.71, p.99 - 114, 1994.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Monitoramento de Estações Automáticas**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php> . Acesso em: Dezembro 2008.

Kakida, J.; Gonçalves, N.P.; Marciani-Bendezú, J.; Arantes, N.E. **Cultivares de girassol**. Informe Agropecuário, 7(82):76-78, 1981.

Lopes, P.M.O.; Silva, B.B. da; Azevedo, P.V. de; Silva, V.P.R.; Teixeira, A.H.C.; Soares, J.M.; Espínola Sobrinho, J. **Balço de energia num pomar de mangueira irrigada**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.9, n.1, p.1 - 8, 2001.

Lunardi, D.M.C.; Laperuta Filho, J. **Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura da cenoura (*Daucus carota* L.)** Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 13 - 17, 1999.

Matzenauer, R.; Maluf, J.R.T.; Carpenedo, C.B. **Disponibilidade hídrica para a cultura do girassol na Região de Passo Fundo, Rio Grande do Sul**. Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de julho de 2007 – Aracaju – SE.

Mello, R.; Nörnberg, J.L.; Restle, J.; Neumann, M.; Queiroz, A.C.; Costa, P.B.; Magalhães, A.L.R.; David, D.B. de. **Características fenológicas, produtivas e qualitativas de girassol em diferentes épocas de semeadura para produção de silagem**. Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, v.35, n.3, p.672 - 682, 2006.

Mendonça, J.C.; Sousa, E.F. de.; Bernardo, S.; Dias, G.P. **Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) na região Norte Fluminense, RJ** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.7, n.2, p.275 - 279, 2003.

Miranda, F.R. de.; Souza, F. de.; Ribeiro, R.S.F **Estimativa da evapotranspiração e do coeficiente de cultivo para a cultura do melão plantado na região litorânea do estado do Ceará**. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.18, n.4, p.63 - 70, 1999.

Montenegro, A.A.T.; Bezerra, F.M.L.; Lima, R.N. de. **Evapotranspiração e coeficientes de cultura do mamoeiro para a região litorânea do Ceará**. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.24, n.2, p.464 - 472, 2004.

Mota, F.S. da. **Meteorologia agrícola**. São Paulo : Nobel, 1983. 376p.

Moura, M.S.B. **Consumo hídrico, produtividade e qualidade de fruto da goiabeira irrigada na região do submédio São Francisco**. 2005. 122f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB.

Oliveira, L.F.C.; Carvalho, D.F.; Romão, P.A.; Cortês, F.C. **Estudo comparativo de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência para algumas localidades no estado de Goiás e Distrito Federal**. Pesquisa Agropecuária Tropical, 31(2): p.121 - 126, 2001.

Oliver, H.R.; Sene, K.J. **Energy and water balance of developing vines**. Agricultural and Forest Meteorology. Amsterdam, v.61, n.2, p.167 - 185, 1992.

Pereira, L.S.; Allen, R.G. **Novas aproximações aos coeficientes culturais**. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.16, n.4, p.118 - 43, 1997.

Prueger, J.H.; Hatfield, J.L.; Aase, J.K.; Pikul Jr., J.L. **Bowen-ratio comparisons with lysimeter evapotranspiration**. Agronomy Journal, Madison, v.89, n.1, p.730 - 736, 1997.

Rana, G.; Katerji, N.; **Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate: a review**. European Journal of Agronomy, v. 13, p. 125 - 152, 2000.

Rosenberg, N.J.; Blad, B.L. Verma, S.B. **Microclimate: the biological environment**. Lincoln: Editora, 1983. 495p.

Santana, M.J.; Carvalho, J.A.; Andrade, M.J.B.; Braga, J.C.; Gervásio, G.G. **Coefficiente de cultura e análise do rendimento do feijoeiro sobre regime de irrigação**. Irriga, Botucatu, v 13, n.1, p 92 – 112, 2008.

Sato, F.A.; Silva, A.M.; Coelho, G.; Silva, A.C.; Carvalho, L.G. **Coefficiente de cultura (K_c) do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no período de outono-inverno na região de Lavras – MG** Revista Engenharia Agrícola, vol.27 n.2 Jaboticabal, 2007.

Sedyama, C.G.; Ribeiro, A.; Leal, B.G. **Relações clima-água-plantas**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27, 1998, Poços de Caldas. Simpósio... Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. p.46 - 85.

Silva, M.L.O.; Faria, M.A.; Morais, A.R.; Andrade, G.P.; Lima, E.M.C. **Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de água**

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.11, n.5, p.482 – 488, 2007.

Silva, T.J.A.; Folegatti, M.V.; Silva, C.R.; Alves Júnior, J.; Silva, E.M.B. **Balço de energia e estimativa da evapotranspiração em culturas irrigadas de maracujazeiro pelo método da Razão de Bowen.** Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.27, n.2, p.392 - 403, 2007.

Sionit, N.; Ghorashi, S.R.; Kheradnan, M. **Effect of soil water potential on growth and yield of sunflower.** Journal of Agricultural Science, v.81, p.113-116, 1973.

Smith, M.; Allen, R.; Monteith, J.L.; Perrier, A.; Pereira, L.S.; Segeren, A. **Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements.** Rome: FAO, 1990. 59 p.

Steduto, P.; Hsiao, T.C. **Maize canopies under two soil water regimes IV. Validity of Bowen ratio-energy balance technique for measuring water vapor and carbon dioxide fluxes at 5 min intervals.** Agricultural and Forest Meteorology, Amsterdam, v.89, n.1, p.215 - 228, 1998.

Tanner, C.B. **Measurement of evapotranspiration.** In: Hagan, R.M.; Haise, H. R.; Edminster, T.W., eds, Irrigation of agricultural lands . Madison, 1967. p. 320 - 29.

Teixeira, A.H. de C. **Avaliação dos componentes do balanço de energia durante o primeiro ano de cultura da banana.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.5, n.1, p. 28 – 32, 2001.

Teixeira, A.H. de; Azevedo, P.V. de; Silva, B.B. da; Soares, J.M. **Balço de energia na cultura da videira, cv. “Itália”.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.5, n.2, p.137-141, 1997.

Teixeira, A.H. de C.; Bassoi, L.H.; **Evapotranspiração e coeficientes de cultura da bananeira obtidos pelo método da razão de Bowen.** In: XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Anais. Fortaleza, 2001. p. 365 - 370.

Teixeira, A.H. de C.; Bassoi, L.H.; Reis, V.C.S.; Silva, T.G.F.; Ferreira, M.N.L.; Maia, J.L.T. **Estimativa do consumo hídrico da goiabeira, utilizando estações meteorológicas automáticas e convencional.** Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v. 25, n.3, p.457 - 460, 2003.

Todd, R.W.; Evett, S.R.; Howell, T.A. **The Bowen ratio-energy balance method for estimating latent heat flux of irrigated alfalfa evaluated in a semi-arid, advective environment.** Agricultural and Forest Meteorology, v.103, p. 335-348, 2000.

Tyagi, N.K.; Sharma, D.K.; Luthra, S.K. **Determination of evapotranspiration and crop coefficients of rice and sunflower with lysimeter.** Agricultural Water Management, v.45, p. 41-54, 2000.

USDA - Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. Disponível em <http://www.cnpp.usda.gov/default.htm> . Acesso em: Abril 2008.

Verma, S.B.; Rosemberg, N.J.; Blad, B.L. **Turbulent exchange coefficients for sensible heat and water vapor under advective conditions.** Journal of Applied Meteorology, Boston, v. 17, p. 330 - 338, 1978.

Vescove, H.V.; Turco, J.E.P. **Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a Região de Araraquara – SP.** Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.25, n.3, p.713 - 721, 2005.

Vieira, O.V. **Características da cultura do girassol e sua inserção em sistemas de cultivos no Brasil.** Revista Plantio Direto, ed. 88, julho/agosto 2005. Passo Fundo – RS.

Villa Nova, N.A. **Estudos sobre o balanço de energia em cultura de arroz.** 1973. 77 f. Tese (Livre docência) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

Wang, J.; Bras, R.L. **Effect of temperature on surface energy balance.** Water Resources Research, v. 37, n.12, p. 3383 - 3386, 2001.