

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTES DE CULTURA
DA MELANCIEIRA IRRIGADA POR GOTEJAMENTO EM
ALVORADA DO GURGUÉIA-PI**

JOSÉ ORLANDO PIAUILINO FERREIRA
Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO - BRASIL
Fevereiro de 2010

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTES DE CULTURA
DA MELANCIEIRA IRRIGADA POR GOTEJAMENTO EM
ALVORADA DO GURGUÉIA-PI**

JOSÉ ORLANDO PIAUILINO FERREIRA

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Pavani

Co-Orientador: Dr. Edson Alves Bastos

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SÃO PAULO - BRASIL

Fevereiro de 2010

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

José Orlando Piauilino Ferreira nasceu em Teresina, Piauí, filho de Abelardo Araújo Ferreira e Joana Piauilino Ferreira. É Engenheiro Agrônomo, graduado em 1987 pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, em Recife - PE. Obteve o título de mestre em Irrigação e Drenagem, em 1994, na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” –ESALQ/USP – Piracicaba - SP. Ingressou no curso de doutorado em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, da Unesp - Campus de Jaboticabal, em 2006. Publicou vários artigos científicos e um livro. Iniciou sua carreira profissional no Colégio Agrícola de Bom Jesus–PI, vinculado à Universidade Federal do Piauí, onde é professor de Irrigação e Informática Aplicada desde 1989.

“Quem decidir se colocar como juiz da verdade e do conhecimento é naufragado pela gargalhada dos deuses”

Albert Einstein

✚ À *Alcilene Maria Benvindo Ferreira: minha esposa, companheira e amiga, pelo carinho e dedicação.*

✚ À *meus filhos:*

Nayane Piauilino Benvindo Ferreira

Pedro Henrique Piauilino Benvindo Ferreira

Dedico e Ofereço.

✚ À *minha mãe (In memorian) e as minhas irmãs Suzane (In memorian) e Eunice e a todos meus familiares.*

Minha Homenagem

AGRADECIMENTOS

A Deus pela fé e esperança concedidos a todo o momento.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Campus de Jaboticabal, por intermédio do Departamento de Engenharia Rural, pela acolhida.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Meio-Norte), pela concessão da área, dos equipamentos e apoio de seus funcionários para implantação e realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Luiz Carlos Pavani, pela orientação competente e amizade no decorrer da confecção deste trabalho.

Ao Engº Agrº Dr. Edson Alves Bastos pela co-orientação, sugestões e amizade durante a realização deste trabalho.

Ao Técnico em Agropecuária e amigo de todas as horas João Irene Filho, pelo companheirismo e ajuda na viabilização prática deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Cláudio Ricardo da Silva, pelos ensinamentos cruciais para que este trabalho fosse realizado.

Aos companheiros do DINTER: Brito, Chicão, Disraeli, Eulália, Hélio, Paulo Roberto, Ray, Raimundo Tomaz, Santana, Sinimbú e Valdinar, pela gratificante convivência no decorrer do curso.

Ao companheiro ‘Cajú’, da Embrapa Meio-Norte, pela valiosa ajuda nos trabalhos de campo. E a todos os amigos e amigas do Colégio Agrícola de Bom Jesus (CABJ).

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xiii
RESUMO	xvii
ABSTRACT	xviii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. A cultura da melancia.....	4
2.2. Evapotranspiração e coeficiente de cultura (Kc)	5
2.3. Irrigação por gotejamento.....	14
2.4. Lisímetria de pesagem	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1. Área Experimental	16
3.1.1. Localização	16
3.1.2. O solo	17
3.1.3. O clima	18
3.1.4. A cultura	18
3.1.5. Preparo da área e tratos culturais	18
3.2. Sistema de irrigação	20
3.3. Lisímetros	22
3.4. Estação Agrometeorológica	24
3.5. Monitoramento da irrigação	25
3.6. Monitoramento do armazenamento de água no solo (ArmAs)	28
3.7. Estimativas da evapotranspiração de referência (ET _o)	30
3.7.1. Métodos baseados na equação de Penman-Monteith	31

3.7.1.1. Método de Penman-Monteith-padrão FAO-56 ($ET_{oPMFAO56}$)	31
3.7.1.2. Método de Penman-Monteith-ASCE ($ET_{oPMASCE}$)	36
3.7.2. Métodos simplificados	37
3.7.2.1. Equação de Priestley-Taylor-1972 (ET_{oPT})	37
3.7.2.2. Método de Hargreaves-Samani – 1985 (ET_{oHS})	39
3.7.2.3. Método de Camargo - 1971 (ET_{oCAM})	39
3.7.2.4. Métodos baseados na equação de Thornthwaite 1948.	40
a) Original	40
b) Com substituição da temperatura média (T) pela temperatura “efetiva”(T_{ef})	41
b.1.) $ET_{oTHW2(0,69)}$ e $ET_{oTHW2(0,72)}$	41
b.2.) $ET_{oTHW3(0,69)}$ e $ET_{oTHW3(0,72)}$	42
3.8. Avaliação do desempenho dos modelos de estimativa de ET_o	42
3.9. Coeficientes de cultura (K_c)	45
3.10. Índice de advecção (IA)	45
3.11. Índice de cobertura do solo (IC)	46
3.12. Produtividade de frutos X lâmina total de irrigação aplicada (PFLIA)	48
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1. Condições climáticas durante o experimento	49
4.2. Evapotranspiração de referência (ET_o)	53
4.3. Evapotranspiração da cultura (ET_c)	60
4.4. Índice de Cobertura do solo pela planta (IC)	69
4.5. Coeficiente de cultura	70
4.5.1. Coeficientes de cultura determinados com o método PM- FAO56.....	70

4.5.2. Coeficientes de cultura determinados com os outros métodos e comparados com o método PM-FAO56	73
4.6. Produtividade de frutos X lâmina total de irrigação aplicada (PFLIA)	77
5. CONCLUSÕES	79
6. REFERÊNCIAS	80
ANEXO 1	87
ANEXO 2	91

LISTA DE TABELAS

		Página
1.	Resultados da análise química da terra amostrada do solo da área experimental em Alvorada do Gurguéia-PI	17
2.	Resultados da análise física da terra amostrada do solo da área experimental em Alvorada do Gurguéia-PI	17
3.	Esquema de prevenção de doenças e pragas da melancia utilizado durante a condução do experimento	20
4.	Valores médios e totais dos elementos climáticos durante o período de desenvolvimento da cultura	49
5.	Comparação pelo teste Scott-Knott dos valores médios de ETo obtidos durante o período experimental	54
6.	Estatística, Parâmetros do modelo de regressão $ETo_{PMFAO56} = \alpha ETo_x + \beta$ e de desempenho, em relação ao modelo padrão ($ETo_{PMFAO56}$), dos modelos de ETo_x : Sociedade Americana de Engenharia Civil (ETo_{PMASCE}); Hargreaves-Samani (ETo_{HS}); Priestley-Taylor(ETo_{PT}); Camargo (ETo_{CAM}); Thornthwaite: ETo_{THW} ; $ETo_{THW2(0,69)}$; $ETo_{THW2(0,72)}$; $ETo_{THW3(0,69)}$; $ETo_{THW3(0,72)}$	56
7.	Divisão e duração dos estádios de desenvolvimento da cultura, valores de lâmina aplicada (LI), Evapotranspiração da cultura (ETc_{Lis}) medida nos lisímetros e Evapotranspiração de referência (ETo) pelo método de Penman-Monteith	69

8.	Valores médios de K_c da melanciaira, por fases de desenvolvimento, obtidos com os métodos $PMFAO56$ ($K_{cPMFAO56}$), $PMASCE$ ($K_{cPMASCE}$) e os do boletim 56 da FAO (K_{cFAO56}).	71
9.	Valores médios de K_c para os estádios I (inicial), III (intermediário) e IV (final).....	77
I.	Parâmetros da equação de Van Genuchten referentes à curva de retenção do solo do lisímetro (Anexo 1)	89
II.	Parâmetros da equação de Van Genuchten referentes à curva de retenção do solo da bordadura (Anexo 1)	90
III.	Valores diários de evapotranspiração de referência (ETo) estimados pelos métodos $PMFAO56$, $PMASCE$, Priestley-Taylor (PT), Hargreaves-Samani (HS) e Camargo (CAM) para o mês de julho de 2008 (Anexo 2)	92
IV.	Valores diários de evapotranspiração de referência (ETo) estimados pelos métodos $PMFAO56$, $PMASCE$, Priestley-Taylor (PT), Hargreaves Samani (HS) e Camargo (CAM) para o mês de agosto de 2008 (Anexo 2)	93
V.	Valores diários de evapotranspiração de referência (ETo) estimados pelos métodos $PMFAO56$, $PMASCE$, Priestley-Taylor (PT), Hargreaves - Samani (HS) e Camargo (CAM) para o mês de agosto de 2008. (Continuação) (Anexo2)	94
VI.	Valores diários de evapotranspiração de referência (ETo) estimados pelos métodos $PMFAO56$, $PMASCE$, Priestley-Taylor (PT), Hargreaves - Samani (HS) e Camargo (CAM) para o mês de setembro de 2008. (Anexo2)	95

VII.	Valores diários de evapotranspiração de referência (ET _o) estimados Pelos métodos de Thornthwaite: THW; THW2(K=0,69); THW2(K=0,72); THW3(K=0,69) e THW3(K=0,72) para o mês de julho de 2008. (Anexo2)	96
VIII.	Valores diários de evapotranspiração de referência (ET _o) estimados pelos métodos de Thornthwaite: THW; THW2(K=0,69); THW2(K=0,72); THW3(K=0,69) e THW3(K=0,72) para o mês de agosto de 2008. (Anexo2)	97
IX.	Valores diários de evapotranspiração de referência (ET _o) estimados pelos métodos de Thornthwaite: THW; THW2(K=0,69); THW2(K=0,72); THW3(K=0,69) e THW3(K=0,72) para o mês de setembro de 2008. (Anexo2)	98
X.	Dados de ET _c referentes ao estágio inicial de desenvolvimento da cultura. (Anexo2)	101
XI.	Dados de ET _c referentes ao estágio de crescimento da cultura. (Anexo2).	102
XII.	Dados de ET _c referentes ao estágio intermediário de desenvolvimento da cultura. (Anexo2)	103
XIII.	Dados de ET _c referentes ao estágio final de desenvolvimento da cultura. (Anexo2)	103

LISTA DE FIGURAS

Página

1.	Curvas de K_c para áreas pequenas com vegetação sob efeito oásis, em função da largura da superfície com vegetação	13
2.	mapa do Estado do Piauí mostrando, em detalhe, o município de Alvorada do Gurguéia	16
3.	Vista panorâmica da área experimental. As linhas de semeadura foram implantadas no sentido Leste-Oeste	19
4.	Linhas laterais portagotejadores e “cavaletes” com registros de controle da vazão	21
5.	Vista da área superficial de um dos lisímetros	24
6.	Estação agrometeorológica automática instalada no centro da área experimental	25
7.	Lisímetro com uma planta em estágio inicial de desenvolvimento e tubo de acesso para sonda de capacitância Diviner 2000®	29
8.	Representação esquemática da área experimental mostrando sua posição em relação aos pontos cardeais, suas dimensões (132 m x 96 m), a disposição dos lisímetros, das áreas de bordadura e das parcelas da bordadura para a determinação do índice de cobertura do solo (IC)...	47
9.	Variação horária da temperatura e da umidade relativa (UR) do ar observadas nos dias 15-07-2008 (a), 15-08-2008 (b) e 15-09-2008 (c), e diária durante o experimento (d)	51

10.	Variação horária da radiação solar global (R_s) observada nos dias 15-07-2008 (a), 15-08-2008 (b) e 15-09-2008 (c), e diária durante o experimento (d)	52
11.	Variação horária da velocidade do vento observada nos dias 15-07-2008 (a), 15-08-2008 (b) e 15-09-2008 (c), e diária durante o experimento (d)	53
12.	Comparação entre os valores diários de evapotranspiração de referência medidos pelo método $ET_{OPMFAO56}$ e estimados com diferentes métodos de ET_o	55
13.	Comparação entre a $ET_{OPMFAO56}$ e as ET_o estimadas com os métodos baseados no modelo de Thornthwaite (THW)	59
13.	(Continuação) Comparação entre a $ET_{OPMFAO56}$ e as ET_o estimadas com os métodos baseados no modelo de Thornthwaite (THW)	60
14.	Curva de lisímetro representando a perda de água do sistema no dia 235	61
15.	Variação do armazenamento (ArmAs) de água na camada de solo, na profundidade de 0 m a 0,10 m até os 22 dias após a semeadura (DAS) ..	62
16.	Variação do armazenamento (ArmAs) de água na camada de solo, de 0 m a 0,20 m de profundidade, dos 23 aos 49 dias após a semeadura (DAS).	62
17.	Variação do armazenamento (ArmAs) de água na camada de solo, na profundidade de 0 m a 0,30 m dos 50 aos 65 dias após a semeadura (DAS).	63
18.	Área experimental com melanciaira, mostrando a ausência de bordadura, dentro da própria parcela irrigada, aos 24 dias após a semeadura cobertura do solo de 3,37%.	64

19.	Melanciaira aos 24 dias após o plantio cobrindo aproximadamente 3,37% da superfície do lisímetro	65
20.	Evapotranspiração de referência diária $ET_{0PMFAO56}$ e a evapotranspiração média diária da cultura medida nos lisímetros (ET_{CLis}).	65
21.	Área experimental com melanciaira mostrando a porcentagem de área de solo seco em relação à área coberta pelas plantas que era de cerca de 34% aos 37 dias após a semeadura	66
22.	Melanciaira aos 45 dias após a semeadura cobrindo cerca de 57% da superfície do lisímetro	67
23.	Variação do índice de advecção durante o desenvolvimento da cultura da melanciaira.	68
24.	Índice de cobertura do solo pela cultura nos lisímetros (IC-lisímetro) e nas bordaduras (IC-bordadura).	70
25.	Representação gráfica da variação diária do coeficiente de cultura (K_c), da curva simplificada do coeficiente de cultura ($K_{cmédio}$) e índice de cobertura do solo (IC %), durante os 72 dias do ciclo da melanciaira.	72
26.	Curva com as variações diárias (coluna do lado esquerdo) e curva simplificada (coluna do lado direito) de K_c obtidas com o método <i>PMFAO56</i> e comparadas com as curvas obtidas com demais métodos: (a) – <i>PT</i> ; (b) – <i>HS</i> ; (c) – <i>CAM</i> ; (d) – <i>THW</i> ;	75
26.	(Continuação): Curva das variações diárias de K_c (coluna do lado esquerdo) e curva simplificada (coluna do lado direito) obtidas com o método <i>PMFAO56</i> e comparadas com as curvas obtidas com os demais métodos: (e) – <i>THW2(0,69)</i> ; (f) – <i>THW2(0,72)</i> ; (g) – <i>THW3(0,69)</i> ; (h) – <i>THW3(0,72)</i>	76

I.	Curvas de calibração dos lisímetros	88
II.	Curvas de retenção de água no solo confeccionadas com amostras de solo retiradas nos lisímetros	88
III.	Curvas de retenção de água no solo confeccionadas com amostras de solo retiradas da área de bordadura.	89
IV.	Variação diária da ET_c e da ET_0 para os modelos <i>PMFAO</i> , <i>PMASCE</i> , <i>PT</i> , <i>HS</i> , <i>CAM</i> e <i>THW</i> durante todo o ciclo da cultura.	99
V.	Variação diária da ET_c e da ET_0 para os modelos <i>THW2(0,69)</i> , <i>THW2(0,72)</i> , <i>THW3(0,69)</i> e <i>THW3(0,72)</i> durante todo o ciclo da cultura..	100

EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTES DE CULTURA DA MELANCIEIRA IRRIGADA POR GOTEJAMENTO EM ALVORADA DO GURGUÉIA-PI

RESUMO: Este experimento foi conduzido em Alvorada do Gurguéia, situada no vale do rio Gurguéia, estado do Piauí, localizado na latitude de 8° 26' S, longitude 43° 47' W e altitude de 251 m. Os objetivos deste estudo foram determinar a evapotranspiração (ET_c) e os coeficientes de cultura (K_c) da melancia irrigada por gotejamento. A evapotranspiração de referência (ET_0) foi determinada diariamente por dez modelos de estimativa, com parte dos elementos climáticos obtidos em uma estação agrometeorológica automática localizada no centro da área experimental. Os modelos foram: Penman-Monteith-FAO56 ($PMFAO56$), Penman-Monteith-ASCE ($PMASCE$), Hargreaves-Samani (HS), Priestley-Taylor (PT), Camargo (CAM), Thornthwaite original (THW), Thornthwaite com correção para a temperatura efetiva calculada como uma função da temperatura média e da amplitude diária e valores de $K=0,69$ ($THW2(0,69)$) e $K=0,72$ ($THW3(0,72)$) e Thornthwaite com a mesma temperatura efetiva corrigida para o fotoperíodo e valores de $K=0,69$ ($THW2(0,69)$) e $K=0,72$ ($THW2(0,72)$). A ET_c foi medida a partir de três lisímetros de pesagem localizados no centro da área experimental. O desempenho dos métodos foi avaliado utilizando regressão linear simples e diferentes índices: raiz quadrada do erro médio quadrático (RMES), erro percentual absoluto médio (MAPE), índice de concordância (d) e o teste de Scott-Knott, usando como padrão $ET_{0PMFAO56}$. O modelo $PMASCE$ foi semelhante ao $PMFAO56$, com $RMES = 0,05 \text{ mm dia}^{-1}$, $MAPE = 0,74\%$, $d = 1,0$ e $R^2 = 0,99$. Apenas os modelos, $THW2(0,69)$ e $THW3(0,72)$, não apresentaram médias gerais significativamente diferentes de $PMFAO56$. Os valores médios de K_c obtidos com o $PMFAO56$ foram 0,44; 1,58 e 1,28 para os estádios inicial, intermediário e final, respectivamente. Valores estes, assim como os de todos os demais métodos de estimativa de ET_0 testados, foram superiores aos obtidos para a melancia no Boletim 56 de Irrigação e Drenagem da FAO, notadamente nas fases intermediária e final. Isto ocorreu devido ao efeito de advecção regional de calor sensível, produzindo aumento da ET_c , e à subestimativa da ET_0 por todos os métodos testados, inclusive o $PMFAO56$, por serem insensíveis à advecção. Pela simplicidade do método e bons resultados alcançados, recomendamos para a região a adoção do método de HS para estimativa de ET_0 juntamente com os valores de K_c específicos e regionalizados para este método, quando não for possível utilizar os métodos $PMFAO56$ ou $PMASCE$. Independentemente do modelo de ET_0 escolhido, os valores de K_c devem ser regionalizados e específicos para o método adotado.

Palavras-chave: *Citrullus lanatus*, ambiente advectivo, clima semi-árido, lisímetro.

EVAPOTRANSPIRATION AND CROP COEFFICIENTS OF DRIP IRRIGATED WATERMELON IN THE ALVORADA OF THE GURGUÉIA, BRAZIL

ABSTRACT: This experiment was carried out at the Gurguéia river valley, state of Piauí, Brazil, located at 8° 26' S latitude, 43° 47' W longitude and an altitude of 251 m. The objectives of this study were to determine the evapotranspiration (ET_c) and crop coefficients (K_c) of watermelon by drip irrigated. Reference evapotranspiration (ET_o) was daily determined by ten models of the estimation, with part climatic variable obtained from an automatic agrometeorological station located in the center of the experimental area. The models were: Penman-Monteith-FAO56 ($PMFAO56$), Penman-Monteith-ASCE ($PMASCE$), Hargreaves-Samani (HS), Priestley-Taylor (PT), Camargo (CAM), original Thornthwaite (THW), Thornthwaite with correction for effective temperature computed as a function of the average temperature and of the daily amplitude and values of $K=0,69$ ($THW2(0,69)$) and $K=0,72$ ($THW3(0,72)$) and Thornthwaite with the same effective temperature corrected for the photoperiod and value of $K=0,69$ ($THW2(0,69)$) and $K=0,72$ ($THW3(0,72)$). ET_c was measured from three weighing lysimeters located in the center of the experimental area. Methods performance was evaluated by using single linear regression and different indices, root mean square error (RMES), mean absolute percentage error (MAPE), index of agreement (d) and Scott-Knott test, using how standard $PMFAO56$. The model $PMASCE$ was resembling to $PMFAO56$, with $RMES = 0,05 \text{ mm dia}^{-1}$, $MAPE = 0,74\%$, $d = 1,0$ and $R^2 = 0,99$. Only the models, $THW2(0,69)$ e $THW3(0,72)$, not presents general average significant difference of the $PMFAO56$. The K_c values obtained were 0,44, 1,58 and 1,28 for the initial, intermediate and final stages, respectively. This values, thus as of the every methods of estimation of the ET_o tested, was upper to obtained for watermelon in the Bulletin 56 of irrigation and drainage of the FAO, principally for the intermediate and final stages. This occurred due to effect of regional advection of sensible heat, producing an increase of ET_c , and to underestimations of ET_o by every methods tested, inclusive the $PMFAO56$, by to be insensible to advection. By simplicity of the method and resulted satisfactory reached recommending to region, to adopt the HS method to estimation of the ET_o with K_c values specific and regionalized for this method, when not to be possible to utilize the $PMFAO56$ and $PMASCE$ methods. Free of the ET_o model chosed, K_c values must to be regionalized and specifics for adopted method.

Keywords: *Citrullus lanatus*, advective environment, semiarid climate, lysimeter

1. INTRODUÇÃO

A água é recurso cada vez mais escasso em quantidade e com deterioramento crescente de sua qualidade. A agricultura irrigada é a atividade que mais utiliza este recurso, por isso, é necessário que seu uso seja feito com alta eficiência.

O objetivo fundamental do manejo da irrigação é otimizar o fornecimento de água às plantas. Um sistema de irrigação eficiente é aquele capaz de aplicar água às culturas na quantidade necessária de acordo com as condições edafoclimáticas do local e fisiológicas da cultura em função dos estádios de desenvolvimento. Daí a importância de se determinar os coeficientes de cultura para as culturas em uma região específica, os quais permitem quantificar a água a ser aplicada por meio de sistemas de irrigação, em função dos seus estádios de desenvolvimento.

A determinação das necessidades hídricas de uma cultura deve levar em consideração, simultaneamente, atributos da água – no que diz respeito à qualidade –, do solo, do clima e da planta. A estimativa da evapotranspiração de uma cultura é, na verdade, uma quantificação do volume de água a ser repostado a uma planta individualmente ou a uma comunidade de plantas, suprimindo-as das perdas hídricas devido à demanda atmosférica.

O controle da irrigação tem por finalidade manter o conteúdo de água no solo em nível ótimo, de forma que a condutividade hidráulica do solo na zona radicular não atinja um valor crítico, abaixo do qual o solo passa a restringir a evapotranspiração da cultura. Isto poderá ocorrer principalmente em períodos de alta demanda evaporativa da atmosfera, ocorrendo redução na abertura estomática ou mesmo o fechamento desta, pelo déficit hídrico gerado nas células adjacentes à câmara estomática nas folhas, por desbalanço entre a taxa de saída de água por transpiração através dos estômatos e a de chegada dessa água às folhas através do sistema solo-planta. Tal desbalanço gera estresse hídrico que pode resultar em diminuição do ganho de massa seca da planta, em flores estéreis, queda de flores e de folhas, aborto de frutos em formação, entre

outros efeitos, que isolados ou conjugados, poderão resultar em diminuição da produtividade das plantas.

A determinação da evapotranspiração da cultura em condições ideais de água no solo (sem déficit hídrico), de nutrição e fitopatológicas deve ser feita principalmente com lisímetros. Atualmente, os lisímetros de pesagem com células de carga são os mais utilizados. A grande vantagem desses equipamentos é permitir, com maiores precisão e acurácia, medidas de ET_c nas escalas horária e diária.

Para a reposição de água às plantas, através da irrigação, a ET_c é estimada efetuando-se o produto entre a ET_0 e o coeficiente de cultivo (K_c) (DOORENBOS & PRUITT, 1977; DOORENBOS & KASSAN, 1994; ALLEN et al., 2006). A estimativa acurada da evapotranspiração da cultura é importante para determinar a demanda de água e para planejar a sua irrigação em escala regional (KASHYAP & PANDA, 2001). Dessa forma, como os valores de K_c são mais comumente obtidos experimentalmente da relação entre a ET_c medida e a ET_0 estimada, os valores de K_c dependerão dos valores de ET_0 estimados, ou seja da acurácia e precisão do método utilizado para essa estimativa. No caso dos valores de K_c apresentados por ALLEN et al. (2006) no boletim 56 da FAO (Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação) primeiro em 1998 e depois na versão corrigida desse boletim em 2006, estes devem ser utilizados apenas com valores de ET_0 estimados pelo modelo de Penman-Monteith com a parametrização ali apresentada.

Considerando que o método de Penman-Monteith, apesar de ser considerado o padrão para a estimativa de ET_0 , exige a medição ou a estimação de muitos elementos de difícil obtenção na maioria das regiões brasileiras, mesmo contando-se atualmente com maior facilidade de aquisição de mini-estações meteorológicas automatizadas, a determinação de valores de K_c para métodos de estimativa de ET_0 que utilizam elementos de maior simplicidade de obtenção como a temperatura do ar, e de maior facilidade de estimativa como a radiação solar no topo da atmosfera, aumenta a perspectiva de uso mais correto do coeficiente de cultivo, propiciando maior universalização do manejo de água com maior racionalidade na agricultura irrigada, o que levará à maior economia de água e, como consequência, de energia.

O K_c por ser um coeficiente que incorpora efeitos culturais, edáficos e climáticos, é variável com as técnicas de cultivo, o estágio de desenvolvimento da cultura, as condições de umidade do solo, o clima, da frequência de chuva ou de irrigação e com o método de irrigação. Os sistemas de irrigação que aplicam água em apenas uma parte da área total de solo disponível para as plantas, mantendo a parte restante seca, como os sistemas de gotejamento e de sulcos de infiltração, podem resultar em valores de K_c mais reduzidos do que os de sistemas de irrigação que aplicam água em área total, como a maioria dos sistemas de aspersão e de inundação. Isto se dá porque a evaporação de água diretamente da superfície do solo umedecida e exposta à radiação solar é reduzida proporcionalmente à redução da área de solo molhada e exposta diretamente ao sol e ao vento.

No caso específico da região do vale do Rio Gurguéia-Piauí, dados de evapotranspiração e de K_c de várias culturas são inexistentes, notadamente, da melancieira irrigada por gotejamento ou por qualquer outro método. Isto faz com que esta ação de pesquisa tenha caráter inovador e seja de fundamental importância para a implantação de manejo da irrigação com racionalização dos recursos hídricos e energéticos. A cultura da melancia desempenha importante papel na economia da região. De acordo com dados do IBGE (2008), dentre os municípios do vale do Gurguéia que produzem melancia tem-se: Alvorada do Gurguéia, Bom Jesus, Canto do Buriti, Cristino Castro, Floriano, Guadalupe, Itaueira, Redenção do Gurguéia, São Gonçalo do Gurguéia e Tamboril do Piauí.

Em função do exposto, este trabalho teve como objetivos determinar, para as condições edafoclimáticas da região do Vale do Gurguéia-Piauí, a evapotranspiração por meio de lisímetros de pesagem e os coeficientes de cultura regionais da melancieira irrigada por gotejamento para o método de Penman-Monteith FAO-56 e ASCE, como padrão de estimativa da ET_0 , e comparar métodos empíricos, mas com potencial de aplicação prática para a região e por exigirem menor número de elementos meteorológicos e de mais fácil disponibilidade ou obtenção em estações mais simples e que exigem menor capacidade de cálculo, como os métodos de Priestley-Taylor, Thornthwaite e suas derivações, Camargo e Hargreaves-Samani.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura da melancia

A melancieira pertence à família Cucurbitaceae e ao gênero *Citrullus*, o qual compreende quatro espécies, dentre as quais a *Citrullus lanatus* var. *lanatus* (melancia). Os caules rastejantes são angulosos, estriados, pubescentes e com gavinhas ramificadas. As folhas são lobadas. As flores são solitárias, pequenas e de corola amarela. O fruto é um pepônio cujo peso pode atingir 25 kg, de formato redondo, oblongo ou alongado, podendo alcançar 60 cm de comprimento. É uma cultura megatérmica. As cultivares triplóides (sem sementes) requerem temperaturas mais elevadas do que as diplóides (com sementes). Para a germinação, a temperatura mínima varia de 13 °C a 15 °C, a máxima é de 45 °C e a ótima varia entre 23 °C e 28 °C. Quanto ao fotoperíodo, é uma planta muito exigente em luminosidade. Exige solos preferencialmente arejados. Tolerância pH 5,0, mas valores ótimos situam-se entre 6,0 e 7,0 (ALMEIDA, 2003).

FIGUEIREDO et al. (2009) comentam que no Rio Grande do Norte e no Ceará, com a introdução de cultivares de melancia sem sementes, grandes empresas produtoras de melão iniciaram a plantação da cultura da melancia, visando o mercado externo.

Segundo ANDRADE JÚNIOR et al. (2006), o cultivo da melancieira é uma atividade de alto risco devido à sazonalidade nos preços recebidos pelos produtores, e aos problemas agronômicos da cultura, como a baixa produtividade, que está relacionada ao manejo inadequado da irrigação e da adubação.

De acordo com dados do IBGE (2008), os municípios do vale do Rio Gurguéia que produzem melancia e seus respectivos índices - área plantada, rendimento médio e valor da produção- são: Alvorada do Gurguéia (120 ha, 30 t ha⁻¹ e R\$ 720.000,00), Bom Jesus (30 ha, 30 t ha⁻¹ e R\$ 153.000,00), Canto do Buriti (25 ha, 25 t ha⁻¹ e R\$ 156.000,00), Cristino Castro (5 ha, 24 t ha⁻¹ e R\$ 24.000,00), Floriano (15 ha, 30 t ha⁻¹ e

R\$ 90.000,00), Guadalupe (129 ha, 25 t ha⁻¹ e R\$ 968.000,00), Itaueira (10 ha, 30 t ha⁻¹ e R\$ 60.000,00), Redenção do Gurguéia (10 ha, 20 t ha⁻¹ e R\$ 34.000,00), São Gonçalo do Gurguéia (20 ha, 20 t ha⁻¹ e R\$ 100.000,00) e Tamboril do Piauí (6 ha, 30 t ha⁻¹ e R\$ 54.000,00). O Estado do Piauí possui área plantada de 2.341 ha, com quantidade produzida de 53.260 toneladas e rendimento médio de 22,75 t ha⁻¹. Ocupa a quarta posição no nordeste em quantidade produzida e a quinta em área plantada. Evidencia-se com isso, a importância econômica dessa cultura para o Estado e para a região do vale do Rio Gurguéia bem como a necessidade de se implementar a produtividade com a adoção de tecnologias de produção e de irrigação.

2.2. Evapotranspiração e coeficientes de cultura (Kc)

O consumo de água de uma cultura agrícola depende de muitas variáveis do sistema solo-planta-clima que têm efeitos isolados e interativos, dos quais se pode citar: condições climáticas ao longo do ciclo, duração das fases fenológicas e do ciclo total da cultura, variações dos elementos climatológicos em cada fase, disponibilidade hídrica na zona radicular, condutividade hidráulica do solo, volume de solo explorado pelo sistema radicular, disponibilidade de nutrientes e condições de sanidade da cultura, assim como dos sistemas de cultivo adotados. Dessa forma, valores diferentes de consumo de água pelas culturas podem ser encontrados nas referências especializadas. Para a melancia, DOORENBOS & KASSAM (1994) afirmam que para um ciclo de 100 dias o consumo hídrico (evapotranspiração máxima da cultura total) da melancia varia de 400 mm a 600 mm. Em 59 dias, BEZERRA & OLIVEIRA (1999) observaram evapotranspiração total da cultura (ETc) de 319,6 mm e consumo máximo diário de 8,7 mm que ocorreu no estágio de enchimento dos frutos, enquanto MIRANDA et al. (2004) verificaram que o consumo de água pela cultura da melancia, variedade Crisomn Sweet, durante o primeiro terço de seu ciclo foi de 12% do total e de 50% durante o período de florescimento e desenvolvimento dos frutos (fase

intermediária). O consumo para o ciclo de 70 dias foi de 267 mm, com valores máximos de 7,0 mm dia⁻¹ durante a mesma fase.

FIGUEIREDO et al. (2009) demonstraram que a evapotranspiração da melancia, cultivar Mickylee, utilizando diferentes níveis de salinidade da água de irrigação, diminuiu com o aumento da salinidade da água aplicada.

A estimativa do consumo de água por uma superfície vegetada pode ser feita através da estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c). Para fins de manejo de irrigação a ET_c é comumente estimada pelo produto entre o coeficiente de cultura (K_c) e a evapotranspiração de referência (ET_0), sendo esta, via de regra, estimada por meio de métodos que, de acordo com os princípios envolvidos em cada um, podem, segundo PEREIRA et al. (1997), ser agrupados em cinco categorias: i) empíricos; ii) aerodinâmicos; iii) balanço de energia; iv) combinados e v) correlação de turbilhões. Por outro lado, PEREIRA et al. (2002), referindo-se a esses métodos comentam que todos têm algum grau de empirismo, pois algumas parametrizações empíricas são necessárias para a sua plena aplicação.

No boletim 24 de irrigação e drenagem da FAO (DOORENBOS e PRUITT, 1977), quatro modelos de estimativa de evapotranspiração de referência (ET_0) foram recomendados: i) balanço de radiação; ii) Blaney-Criddle; iii) Penman e iv) tanque de evaporação. PEREIRA et al. (2002) apresentam, dentre os diversos métodos para estimativa de ET_0 , os métodos de Thornthwaite, Thornthwaite simplificado por Camargo, Camargo, Tanque Classe A, Hargreaves & Samani e Penman-Monteith padronizado pela FAO (PMFAO56), como os de maior potencial de aplicação prática.

Organizado para revisar e complementar os boletins 24 e 33 FAO, no boletim 56, ALLEN et al. (2006) recomendam enfaticamente a adoção do modelo de Penman-Monteith parametrizado para uma cobertura de grama hipotética (PMFAO56), como o método padrão para estimativa da ET_0 , por ser o que melhor resultado tem apresentado em comparação à medidas obtidas em lisímetros de precisão nas diversas condições climáticas. Também são citados os métodos do tanque de evaporação e o de Hargreaves-Samani.

O método de Penman-Monteith combina um termo energético, o qual exprime a contribuição do saldo de energia (Rn) no processo de evaporação, e um termo aerodinâmico, que indica a contribuição do ar na manutenção da demanda evapotranspirativa.

Os bons resultados do método PMFAO56 foram atestados por LOPÉZ-URREA et al. (2006) ao testarem equações de estimativa de ET_0 em um clima semi-árido, concluindo que o método de PMFAO56 foi o mais adequado para calcular a ET_0 média diária, quando comparado às medidas lisimétricas, embora tenha produzido subestimativas consideráveis.

A equação de Penman-Monteith parametrizada pela ASCE (American Society of Civil Engineers) para a grama como cobertura de referência (PMASCE) assume, para cálculos em base horária, valores da resistência da superfície (r_s) de 50 s m^{-1} , para o período diurno, e de 200 s m^{-1} , para o período noturno, e de 70 s m^{-1} , para períodos diários, (ASCE, 2002; GAVILÁN et al., 2007), enquanto que a equação da FAO (PMFAO56) mantém o valor de 70 s m^{-1} tanto para base horária quanto para diária. Embora com essas diferenças, o desempenho desses dois modelos, tanto em base horária como diária, tem sido semelhante em clima úmido e em clima árido (ALEXANDRIS & LIAKATAS, 2005).

A equação de Priestley-Taylor, dentre as com maior grau de empirismo, mas que mantém a base do método de Penman, como as formulações PMFAO56 e PMASCE, é segundo FONTANA (1992), possivelmente, a mais interessante simplificação do método de Penman. Essa simplificação vem da constante de proporcionalidade α que foi proposta com o valor médio 1,26 pelos autores do método, para as diversas superfícies vegetadas em condições de ótima disponibilidade hídrica. Esta constante representa, em termos percentuais, a contribuição média do termo aerodinâmico da equação de Penman (FONTANA, 1992; MEDEIROS, 2002).

O método de Thornthwaite, considerado um método clássico, foi proposto em 1948 como um modelo para a estimativa da evapotranspiração mensal de um gramado (ET_0) como elemento climatológico, visando à classificação climática. O conjunto de equações desenvolvido foi baseado em balanço hídrico de bacias hidrográficas e em

medidas de evapotranspiração realizadas em lisímetros utilizando apenas a temperatura média anual do ar, normal climatológica, como variável independente (PEREIRA et al., 1997).

O método proposto por Camargo (1971) simplifica a estimativa de ET_0 , em relação ao de Thornthwaite, por não ter necessidade de obter a temperatura média anual climatológica, mas apenas a temperatura média do ar do período considerado e por reproduzir bem os valores estimados por aquele método (PEREIRA et al., 1997 e 2002).

Com a finalidade de melhorar as estimativas de ET_0 pelo modelo de Thornthwaite que, via de regra, subestima a ET_0 diária estimada pelos modelos baseados na equação de PM, CAMARGO et al. (1999) propuseram a substituição da temperatura média climatológica do ar no método original de Thornthwaite pela temperatura efetiva. Baseados nessa proposição, PEREIRA & PRUITT (2003) propuseram que a temperatura diária efetiva proposta por aqueles pesquisadores fosse corrigida levando em consideração o efeito do fotoperíodo. Tais correções melhoraram as estimativas diárias de ET_0 comparadas ao modelo PMFAO56 e a dados lisimétricos.

Os métodos baseados na temperatura do ar, por serem empíricos, requerem cuidadosas calibrações locais para alcançarem resultados satisfatórios. Uma exceção possível é o método de Hargreaves-Samani (1985), que tem produzido resultados razoáveis de ET_0 , com certa validade global (ALLEN et al., 2006). Hargreaves-Samani (1985) propuseram uma equação para determinação de ET_0 baseada em dados de radiação solar e de temperatura do ar média, máxima e mínima. A raiz quadrada da diferença entre as temperaturas máxima e mínima está intimamente relacionada à da radiação solar diária em um dado local.

Embora ALLEN et al. (2006) salientem que a equação de Hargreaves-Samani tende a subestimar os valores de ET_0 sob condições de vento forte ($V > 3 \text{ m s}^{-1}$) e a superestimar a ET_0 sob condições de elevada umidade relativa, LOPÉZ-URREA et al. (2006), testando equações de ET_0 em clima semi-árido, enfatizaram o bom desempenho da equação de Hargreaves-Samani, devido à simplicidade do método.

O conceito do processo de ET_c e de ET_0 é considerado unidimensional, particularmente em relação aos processos de evaporação e de trocas de energia, significando que todos os fluxos de vapor d'água são uniformes e verticais ao longo da superfície horizontal coberta com a vegetação, que deve ser representativa de plantio de grande escala para evitar o efeito de bordadura de energia advectiva de áreas adjacentes ou efeito oásis (ALLEN et al., 2006; GOMIDE et al., 2008). PEREIRA et al. (2002) definem evapotranspiração de oásis como sendo a quantidade de água utilizada por uma pequena área vegetada (irrigada) que é circundada por uma extensa área seca, da qual provém a energia por advecção (transporte horizontal de calor por deslocamento de massa de ar), aumentando a quantidade de energia disponível. Por definição a evapotranspiração de oásis é superior à evapotranspiração de referência.

A advecção de calor sensível é uma fonte de energia extra disponível para a evapotranspiração; e em áreas irrigadas de ambientes áridos e semi-áridos, são provavelmente a maior fonte de erro na estimativa de ET_0 pela maioria dos métodos empíricos (BERENGENA et al., 2005). Em região de clima árido da Espanha, os modelos PMFAO56 e PMASCE mostraram-se praticamente insensíveis à advecção de calor sensível (BERENGENA & GAVILÁN, 2005).

Para fins de manejo de irrigação, valores diários de ET_c podem ser estimados a partir das curvas de coeficiente de cultura (K_c), os quais refletem as taxas de variação do uso da água de acordo com os estádios de crescimento, se os valores da evapotranspiração de referência (ET_0) estão disponíveis (BENLIN et al., 2006).

Os valores de K_c representam a utilização de água por uma cultura específica e são necessários para a estimativa precisa das necessidades de irrigação de diferentes culturas em uma dada área (KASHYAP & PANDA, 2001).

O coeficiente de cultura, K_c , pode ser determinado pela razão entre a evapotranspiração medida do cultivo (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_0) (DOORENBOS e PRUITT, 1977; DOORENBOS e KASSAN, 1994; ALLEN et al., 2006) e representa o resumo das diferenças físicas e fisiológicas entre as várias culturas e o cultivo de referência (ALLEN et al., 2006).

Os valores de K_c variam com a cultura, com seu estágio de desenvolvimento e com o método de estimativa da ET_0 . Em essência, K_c é uma função do índice de área foliar (IAF), e no caso de uma cultura com menor poder refletor e maior rugosidade aerodinâmica que o gramado de referência, o valor de K_c pode exceder a 1,0 (PEREIRA et al., 1997). Valor maior ou igual a 1,0 significa que a cultura é mais eficiente na utilização da energia do ambiente do que o gramado de referência. Isso ocorre, notadamente, em função da maior altura da cultura, que resulta em maior interação aerodinâmica com a atmosfera (PEREIRA et al., 2002).

As características do cultivo que variam durante seu crescimento também afetam o valor do coeficiente de cultura (K_c). E como a evaporação é um componente da evapotranspiração da cultura, os fatores que afetam a evaporação da água no solo também afetam o valor de K_c .

De acordo com ALLEN et al. (2006) os principais fatores que determinam o K_c são:

1.) **Tipo de cultivo:** no que diz respeito ao tipo de cultivo, as espécies que apresentam estômatos somente na parte inferior da folha e/ou que apresentam grande resistência nas folhas, apresentam valores relativamente menores de K_c . A maior altura e rugosidade da superfície de uma cultura produzem valores de K_c de 5% a 10% maiores que os valores da grama de referência.

2.) **Clima:** O K_c aumenta na maioria dos cultivos com o aumento da velocidade do vento e diminuição da umidade relativa do ar. Em condições de aridez climática e maior velocidade do vento, os valores de K_c aumentam.

3.) **Evaporação do solo:** quando o solo se encontra úmido, por longo tempo devido à irrigação ou chuva, a evaporação da água do solo será significativa e o valor de K_c poderá exceder a 1,0. Caso contrário, se a superfície do solo estiver seca o valor de K_c poderá atingir valores tão baixos como 0,1.

4.) **Estádios do crescimento da cultura:**

4.1.) **Inicial:** o valor de K_c é alto quando a superfície do solo se encontra úmida e baixo quando se encontra seca. Para condições de umedecimento freqüente, tal como nos casos de irrigação por aspersão (Pivô-Central), os valores de K_c inicial podem ser

incrementados substancialmente podendo aproximar-se de 1,0 e 1,20. Dependendo do intervalo de tempo entre os eventos de umedecimento, da magnitude dos eventos de umedecimento e do poder evaporante da atmosfera, representado por ET_o , o valor de K_c inicial pode variar entre 0,1 e 1,15.

4.2.) **Desenvolvimento:** nesta etapa o valor de K_c está relacionado com a percentagem de cobertura do solo, bem como com a arquitetura da vegetação e a altura do cultivo em relação a grama de referência.

4.3.) **Intermediária:** é nessa fase que o valor de K_c atinge seu valor máximo e relativamente constante. Em climas de maior aridez e condições de velocidade de vento maiores se apresentam valores mais altos de K_c .

4.4.) **Final:** nessa fase, se a cultura é irrigada frequentemente até o momento da colheita do fruto fresco, o valor de K_c será alto. Portanto, ao se permitir a senescência da planta e que a mesma seque antes da colheita, o valor de K_c final será baixo.

Sob o efeito oásis, onde a cultura tem maior disponibilidade de água que as áreas vizinhas, o valor máximo de K_c pode exceder os limites de 1,40. Em pequenas extensões isoladas de superfícies com vegetação, rodeadas de vegetação de menor altura (efeito “roupa estendida”) ou de terras secas (efeito “oásis”), o valor de K_c poderá exceder em 100% ou mais os valores obtidos com a grama de referência. (ALLEN et al., 2006).

Na Figura 1, a curva superior representa condições onde a cultura considerada está rodeada por vegetação morta, solo descoberto e seco ou asfalto. Nessa situação se geram grandes quantidades de calor sensível nas áreas circunvizinhas devido à falta de evapotranspiração. Parte deste calor sensível é transportada, por advecção, para a cultura que se encontra no sentido do vento. A curva inferior representa condições onde a cultura está rodeada por grama bem irrigada. Nessa situação se produzirá quantidade muito menor de calor sensível na área circundante para incrementar o valor de K_c e de ET da cultura, que se encontra na direção do vento. Isso evidencia, claramente, a influência da aridez das áreas circunvizinhas no valor de K_c de uma superfície reduzida. Exemplo desses efeitos de “roupa estendida” ou de efeito oásis seria a evapotranspiração que ocorre em uma fileira simples de árvores rodeada de

vegetação de baixo porte ou circundada por um cultivo não colhido e seco. Nessas condições se tem registrado valores de K_c tão altos ou maiores que dois (ALLEN et al., 2006).

As diferenças na evaporação e transpiração entre os cultivos e a grama de referência, segundo (ALLEN et al., 2006), podem ser integradas em coeficiente simples de cultura (K_c) ou em um composto por dois coeficientes (K_c dual): um coeficiente basal de cultura (K_{cb}) e um coeficiente de evaporação da água no solo (K_e), sendo $K_{cb} = K_c + K_e$. Coeficiente de cultura simples (K_c): neste os efeitos da transpiração da planta e da evaporação da água do solo são integrados em um K_c único. Pelo fato do K_c simples representar um valor médio da evaporação e transpiração, o mesmo é utilizado para estimar a ET_c em períodos de tempo semanais ou maiores, porém, os cálculos podem realizar-se na escala diária. Coeficiente de cultura dual ($K_{cb} + K_e$): para o cálculo desse coeficiente determinam-se, separadamente, os efeitos da transpiração da planta (K_{cb}) e da evaporação da água no solo (K_e) por meio de um balanço hídrico do solo. O K_{cb} é definido como o quociente entre ET_c e ET_0 quando a superfície do solo se encontra seca, mas o conteúdo de água na zona radicular é suficiente para que a transpiração da planta seja mantida na sua taxa potencial, ou seja, a transpiração não está limitada pela conteúdo de água na zona radicular.

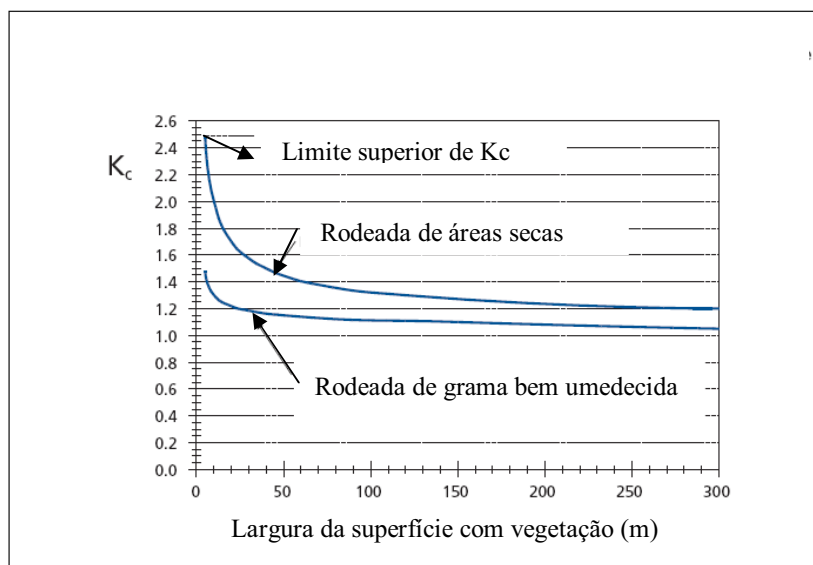


Figura 1. Curvas de K_c para áreas pequenas com vegetação sob efeito oásis, em função da largura da superfície com vegetação. (adaptada de ALLEN et al., 2006).

DOORENBOS & KASSAM (1994) registraram que os coeficientes de cultura (K_c) da melanciaira são: 0,4 a 0,5 para o estágio inicial; 0,7 a 0,8 para o estágio de desenvolvimento; 0,95 a 1,05 para o estágio intermediário e de 0,8 a 0,9 para o estágio final. ALLEN et al. (2006), revisando estes dados e a divisão dos estádios, propuseram os seguintes valores: 0,4 para o estágio inicial; 1,0 na floração e vingamento e de 0,75 da maturação à colheita.

Uma vez que os valores de K_c dependem do método de estimativa de ET_0 , BEZERRA & OLIVEIRA (1999) determinaram o coeficiente de cultura para melanciaira, variedade Crisomn Sweet, utilizando a evapotranspiração máxima da cultura calculada pelo método do balanço hídrico e a evapotranspiração de referência (ET_0) estimada pelos métodos: Penman-Monteith; Radiação FAO-24; Blaney-Criddle FAO-24 e obtiveram para os estádios inicial (0,32; 0,29; 0,35), de desenvolvimento (0,67; 0,60; 0,68), de floração (1,27; 1,09; 1,39), de enchimento dos frutos (1,18; 1,01; 1,15) e maturação (0,95; 0,82; 0,92) para os respectivos métodos. MIRANDA et al. (2004) obtiveram valores de K_c de 0,39; 1,31 e 0,70 para as fases inicial, intermediária e final,

respectivamente, quando os valores de ET_0 foram determinados por lisímetro de pesagem e valores de 0,30; 1,15 e 0,58 para as fases inicial, intermediária e final, respectivamente, quando a ET_0 foi estimada pelo método de Penman-Monteith-FAO56.

2.3. Irrigação por gotejamento

O sistema de irrigação por gotejamento, como um dos sistemas do método de irrigação localizada ou ainda, de forma mais abrangente, da microirrigação, tem se destacado pelo menor gasto hídrico e energético, principalmente em regiões áridas e semi-áridas e em condições mais desfavoráveis de solo e topografia em todo o mundo, resultando em áreas anuais crescentes de adoção desse sistema em detrimento de sistemas com menor eficiência.

De acordo com DOORENBOS & KASSAM (1994), em condições de demanda hídrica elevada e em solos com textura franca, os sistemas de irrigação por gotejamento têm sido utilizados com êxito. Registraram eficiência de utilização da água, pela cultura da melancia, variando de 5 kg m^{-3} a 8 kg m^{-3} , enquanto MIRANDA et al. (2004), encontraram eficiência de utilização da água de $21,6 \text{ kg m}^{-3}$, e comentam que, a eficiência de utilização da água da melancieira depende, entre outros fatores, da variedade plantada e dos níveis de adubação. Para SANTOS et al. (2004), a eficiência de utilização da água é melhor quando se adota a irrigação por gotejamento ($0,16 \text{ m}^3$ de água por kg de melancia) em relação à aspersão ($0,23 \text{ m}^3$ de água por kg de melancia) e à irrigação por superfície ($0,44 \text{ m}^3$ de água por kg de melancia).

Com relação às cultura de um modo geral, a irrigação por gotejamento aumenta a produção, adianta a colheita e melhora a qualidade dos frutos como consequência de ter as plantas satisfeitas suas necessidades em água e nutrientes a cada instante (SAN-JUAN, 1993).

Informações seguras sobre a estimativa da ET_0 são limitadas para serem utilizadas com precisão e obter alta eficiência de irrigação em ambientes semi-áridos, principalmente sob sistemas de microirrigação (DEHGANISANIJ et al., 2004).

2.4. Lisímetria de pesagem

Os lisímetros de pesagem com células de carga são equipamentos utilizados para efetuar medidas diretas de evapotranspiração de uma cultura (ET_c) em escala diária. Esses lisímetros são os melhores equipamentos para medir com precisão evapotranspiração de referência e de culturas (ABOUKHALED et al. (1982) e possuem capacidade de realizar mensurações em tempo quase real (inferior a uma hora), sendo que a sensibilidade da media da ET_c pelo lisímetro está relacionada com o tempo de integração das medidas, que torna-se geralmente impraticável para intervalos de 10 a 15 minutos (SILVA et al., 1999). Além disso, ALLEN et al. (2006) enfatizam que a vegetação interna e externa ao lisímetro deve ser a mesma e mantidas sob as mesmas condições, de forma a terem a mesma altura e o mesmo índice de área foliar.

Uma das maiores fontes de erro de medidas nos lisímetros é a força de pressão que o vento exerce sobre sua superfície. Uma solução é aumentar a frequência de medidas de massa do lisímetros e a média de seus intervalos de tempo oscilando entre 10 minutos e 30 minutos (LOPÉZ-URREA et al., 2006).

VAREJÃO-SILVA (2000) descreve sobre outros tipos de lisímetros: a) de drenagem: os quais possibilitam determinar a evapotranspiração (ET) média em intervalo de tempo de cinco a sete dias, pela diferença entre a água adicionada ao lisímetro e a água percolada; b) de lençol freático regulável: mantém-se no fundo do lisímetro, um lençol freático, cuja profundidade é controlada utilizando-se o princípio dos vasos comunicantes. A ET é medida pela variação do nível da água no reservatório e é indicada em uma escala, cuja confecção leva em conta a área do evapotranspirômetro; c) de pesagem: a determinação da ET é feita pela variação do peso do lisímetro, que é obtido através de balança hidráulica sobre a qual o lisímetro está montado; d) de flutuação: o lisímetro flutua imerso em um cilindro com água, em cuja superfície coloca-se uma fina camada de óleo para evitar a evaporação. A ET é medida pela diferença do nível do tanque flutuante.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área Experimental

3.1.1. Localização

O trabalho foi conduzido na base física da Embrapa Meio-Norte, localizada no município de Alvorada do Gurguéia, situado na mesorregião sul do Piauí, cujas coordenadas geográficas são: 8° 26' S e 43° 47' W e 251 m de altitude. A seguir o mapa do Piauí mostrando, em detalhe, o município de Alvorada do Gurguéia.

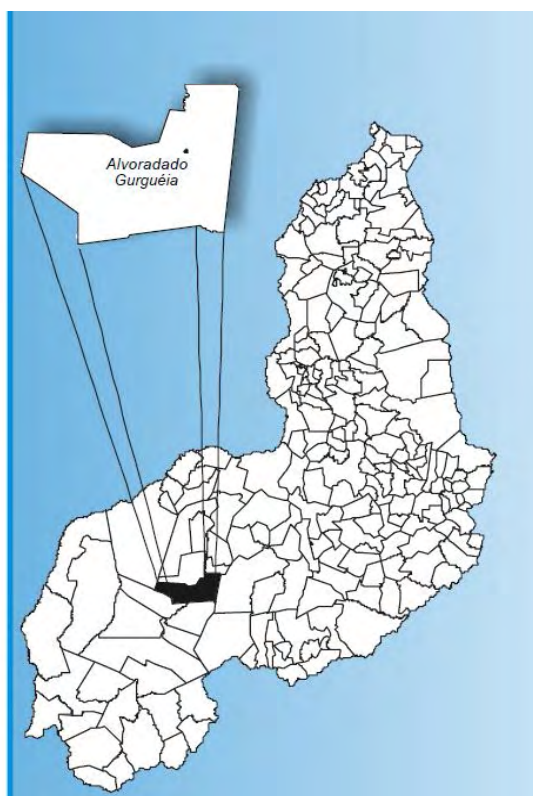


Figura 2: mapa do estado do Piauí mostrando, em detalhe, o município de Alvorada do Gurguéia.

3.1.2. O solo

O solo da área experimental é um Latossolo Amarelo (EMBRAPA/CNPS, 2006). Para a caracterização química e granulométrica do solo da área experimental foram retiradas, antes da semeadura, amostras de terra às profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm na área de bordadura e no interior dos lisímetros. Na bordadura, a área foi dividida ao meio e no centro de cada metade retirou-se, com auxílio de um trado, um conjunto de amostras a essas profundidades. Nos lisímetros, as amostras foram retiradas do centro de cada lisímetro. As análises foram realizadas no Laboratório de Água e Solos da Embrapa Meio-Norte, cujos resultados estão apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Resultados da análise química da terra amostrada do solo da área experimental em Alvorada do Gurguéia-PI.

¹ Prof. (cm)	⁴ M.O.	pH	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	S	CTC	V
Local	(g kg ⁻¹)	H ₂ O	(mg dm ⁻³)	----- (cmol _c .dm ⁻³) -----							----- % -----	
0 – 20 ² Lis.	16,41	5,55	12,50	0,12	1,40	1,11	0,13	0,13	2,90	2,76	5,66	48,73
20 – 40 Lis.	6,14	5,11	7,60	0,07	0,87	0,92	0,12	0,19	2,39	1,98	4,37	45,28
0 – 20 ³ Bord.	17,94	6,26	10,40	0,17	1,87	1,51	0,13	0,00	2,23	3,68	5,91	62,29
20 – 40 Bord.	12,57	4,87	5,90	0,12	0,78	0,57	0,14	0,18	2,66	1,61	4,27	37,74

¹ Profundidade; ² Lisímetros; ³ Bordadura; ⁴ Teor de matéria orgânica.

Tabela 2. Resultados da análise física da terra amostrada do solo da área experimental em Alvorada do Gurguéia-PI.

¹ Prof. (cm)	Granulometria (g kg ⁻¹)				Classificação Textural
Local	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	
0 – 20 ² Lis.	58,20	23,75	2,45	15,60	Franco Arenoso
20 – 40 Lis.	50,30	24,35	4,75	20,60	Franco Arenoso
0 – 20 ³ Bord.	63,25	22,95	2,20	11,60	Areia Franca
20 – 40 Bord.	53,25	24,30	3,85	18,60	Franco Arenoso

¹ Profundidade; ² Lisímetros; ³ Bordadura.

3.1.3. O clima

O clima da região é quente e semi-úmido apresenta temperatura mínima de 26 °C e máxima de 36 °C e precipitação média anual com isoetas em torno de 700 a 1200 mm AGUIAR & GOMES (2004).

Segundo DOORENBOS & KASSAN (1994) as temperaturas máximas e mínimas, para o crescimento da melancia, são em torno de 35 °C e 18 °C, respectivamente.

3.1.4. A cultura

A cultura implantada foi a da melancia, variedade Crimson Sweet, tendo sido escolhida essa variedade em função da sua aceitação no mercado e do seu ciclo precoce de desenvolvimento, que é de 65 a 75 dias para a região.

3.1.5. Preparo da área e tratos culturais

O preparo do solo da área foi realizado no início do mês de julho de 2008. Na bordadura, o preparo consistiu de uma aração com grade aradora e uma gradagem com grade niveladora, e nos lisímetros o solo foi preparado com escarificador manual. Depois dessas operações procedeu-se ao sulcamento manual em linhas espaçadas de 2,0 metros. Nesses sulcos, um dia antes da semeadura, foi realizada uma adubação utilizando-se 20 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 40 kg ha⁻¹ de K₂O, tendo como fontes a uréia, o superfosfato simples e o cloreto de potássio, respectivamente, e também foram adicionados 10 kg ha⁻¹ de FTE BR 12 como fonte de micronutrientes (9% Zn - 1,8% B - 0,8% Cu - 2% Mn - 3,5% Fe - 0,1% Mo).

A semeadura foi realizada no dia 15 de julho de 2008 colocando-se em cada sulco três sementes a cada um metro. A emergência das plântulas ocorreu cinco dias após a semeadura e dez dias após a emergência foi feito o desbaste deixando-se apenas uma planta por metro. A área total plantada foi de 12.672 m² (1,2672 ha),

resultando em população de 6336 plantas. Na Figura 3 pode-se visualizar a área após o desbaste das plantas.



Figura 3. Vista panorâmica da área experimental. As linhas de semeadura foram implantadas no sentido Leste-Oeste.

A adubação de cobertura foi realizada em duas etapas: aos 25 e aos 40 dias após a semeadura tomando como base indicação de FILGUEIRA (2008), fornecendo-se 80 kg ha^{-1} de nitrogênio, tendo por fonte a uréia, e 80 kg ha^{-1} de K_2O , tendo por fonte o cloreto de potássio.

O início do florescimento e da frutificação ocorreu nos dias 13 e 19 de agosto de 2008, aos 29 e 35 dias após a semeadura, respectivamente.

Foi aplicado, durante a condução do experimento, um esquema de prevenção de pragas e doenças (Tabela 3).

Tabela 3. Esquema de prevenção de doenças e pragas da melancia utilizado durante a condução do experimento.

ÉPOCA	PRODUTO COMERCIAL	DOSE	OBSERVAÇÕES
1ª Semana	Carbomax 500 SC	20 ml/20L	Pulverização dirigida para folhagem, colo e solo em torno das plantas
	Actara 250 WG	20 g/20L	Esguicho no solo
2ª semana	RECOP (oxicloreto de cobre)	50 g/20 L	Em cobertura total da folhagem
3ª Semana	Score	6 mL/20 L	Em cobertura total e dirigida para o colo das plantas
	Actara 250 WG	15 g/20 L	Em cobertura total da folhagem
4ª Semana	Carbomax 500 SC	20 mL/ 20 L	Pulverização dirigida para folhagem, colo e solo em torno das plantas
5ª Semana	Ridomil Gold	60 mL/ 20 L	Em cobertura total da folhagem
6ª Semana	Score	6 mL/20 L	Em cobertura total da folhagem
7ª semana	Carbomax 500 SC	20 mL/ 20 L	Em cobertura total da folhagem
	Decis 25CE	6 mL/20 L	
8ª Semana	Score	6 mL/20 L	Em cobertura total da folhagem
	Decis 25CE	6 mL/20 L	
9ª Semana	RECOP (oxicloreto de cobre)	50 g/20 L	Em cobertura total da folhagem

3.2. Sistema de irrigação

A cultura foi irrigada com um sistema de irrigação por gotejamento, utilizando-se uma linha de gotejadores por fileira de plantas, onde os mesmos estavam equiespaçados de 0,5 metro ao longo da linha. O gotejador utilizado tinha vazão média de $2,55 \text{ L h}^{-1}$ para uma pressão de funcionamento de 200 kPa, resultando, para o espaçamento de 2,0 m x 0,5 m, em uma taxa de aplicação de $2,55 \text{ mm h}^{-1}$.

Na Figura 4 pode-se observar a disposição das linhas laterais de gotejadores e dos “cavaletes” para distribuição da água na área.



Figura 4. Linhas laterais portagotejadores e “cavaletes” com registros de controle da vazão.

Anteriormente à sementeira, foram realizados os seguintes testes: a) para determinar o diâmetro do bulbo de solo molhado na superfície do solo para 1 hora, 2 horas e 3 horas de funcionamento de irrigação nos lisímetros e nas bordaduras. Nos lisímetros, os diâmetros médios dos bulbos molhados foram 30 cm; 34 cm e 36 cm e nas bordaduras foram 30 cm; 35 cm e 37 cm, para a primeira, segunda e terceira hora de funcionamento do sistema de irrigação, respectivamente e b) para avaliação do sistema de irrigação. Para isso, tomaram-se em cada setor, que representava um quarto da área, no sentido do fluxo de água na linha de derivação (LD), na primeira linha lateral (LL), na LL situada a um terço do comprimento da LD, na linha lateral situada a dois terços do comprimento da LD e na última linha lateral acoplada na LD, as vazões do primeiro gotejador, do gotejador situado a um terço do comprimento da LL, do situado a dois terços do comprimento da LL e do último gotejador dessas linhas laterais. Com esses valores calculou-se o coeficiente de uniformidade de Christiansen (*CUC*) por meio da seguinte expressão:

$$CUC = \left[1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n |q_i - \bar{q}|}{n \bar{q}} \right) \right] 100 \quad (1)$$

Em que:

q_i - vazão do i -ésimo gotejador em cada setor ($L\ h^{-1}$);

$\bar{q}$ - vazão média dos gotejadores em cada setor ($L\ h^{-1}$);

n – número de gotejadores.

O *CUC* médio entre os quatro setores foi de 94%. Os valores de *CUC* recomendados pela norma da ASAE EP405 devem estar entre 85% e 90%, para irrigação por gotejamento em cultivos anuais em zonas áridas e topografia uniforme (LOPEZ et al., 1997; CUENCA, 1998).

3.3. Lisímetros

Na área experimental encontram-se instalados quatro lisímetros de pesagem com células de carga, cada um composto por um recipiente de fibra de vidro, cuja área da superfície é de 2,25 m² com dimensões de 1,50 m x 1,50 m e profundidade de 1,0 m. Cada lisímetro estava apoiado sobre um mecanismo de alavancas redutoras conectado a uma célula de carga eletrônica e a um sistema automático de coleta e armazenamento de dados (modelo CR 23X, Campbell Scientific).

Antes da instalação dos lisímetros, no local em que cada um seria colocado, foram coletadas amostras de solo para determinação da sua densidade em camadas de 0,1 m até a profundidade de 0,9 m. O solo de cada local foi escavado manualmente e cuidadosamente separado em camadas de 0,1 m que foram acondicionadas sobre lonas de plástico e devidamente identificadas. Posteriormente as camadas de solo foram recolocadas no recipiente de fibra de vidro, na ordem inversa à de retirada e devidamente acondicionadas de forma a manter no recipiente densidade próxima à original do solo de cada camada anterior à escavação. Antes de começar a recolocar o solo no recipiente, foi colocada uma camada de 0,1 m de brita para facilitar a drenagem da água.

Após o término do enchimento dos lisímetros, estes foram cobertos com lona de plástico para evitar a evaporação da água do solo durante o procedimento de calibração dos mesmos.

Os lisímetros foram calibrados nos seus locais para uma lâmina máxima de 150 mm, adicionando-se gradativamente pesos que totalizaram 337,54 kg, de acordo com o seguinte procedimento: foram colocados sobre a lona de plástico, inicialmente, 40 sacos de pedra brita de 3,938 kg cada (de 4 em 4 a cada minuto), dos vértices para o centro das laterais do lisímetro, sendo 20 em cada lateral, seguidos da colocação de 10 sacos de 2,250 kg cada (de 1 em 1 a cada minuto) distribuídos na linha central paralela às laterais do lisímetro. Em seguida foram adicionados outros 40 sacos de 3,938 kg cada nas mesmas laterais e com o mesmo procedimento dos primeiros 40. Completado o peso total, os sacos foram sendo retirados na ordem inversa e nos mesmos intervalos de tempo de colocação. Por fim, esperou-se 5 minutos para coletar os dados no módulo de armazenamento do “datalogger” da estação. Esse procedimento foi realizado uma vez para cada lisímetro.

Os valores médios, em milivolt, como sinais de saída de cada célula de carga, correspondentes às variações de massa impostas pelos pesos colocados e retirados, em cada lisímetro, foram convertidos em milímetros de água resultando nas curvas e respectivas equações de calibração apresentadas na Figura I (ANEXO 1).

A conversão da variação de massa para milímetros de água evapotranspirada através da superfície de cada lisímetro em um determinado intervalo de tempo foi obtida por meio da expressão:

$$ETC_{Lis} = \frac{\Delta m}{A \Delta t \rho_a} 1000 \quad (2)$$

Em que:

ETC_{Lis} - evapotranspiração da cultura obtida no lisímetro, (mm dia⁻¹);

Δm - variação da massa medida no lisímetro, (kg);

A - área da superfície superior do lisímetro, (m²);

Δt - intervalo de tempo, (dia);

ρ_a - massa específica da água (1000 kg m^{-3});

A relação $\Delta m/\rho_a$ representa o volume de água (m^3) evapotranspirado através da superfície de cada lisímetro durante o intervalo de tempo Δt .

A ETc foi medida através da perda de água do sistema, efetuando-se a média da leitura de três lisímetros, ocorrida no intervalo das 6 às 18 horas.

Em cada lisímetro, depois do desbaste do excesso de plantas, ficou uma planta no centro com três gotejadores no trecho da linha lateral que passava sobre o mesmo. Na Figura 5 podem-se observar as condições iniciais de desenvolvimento da cultura e parte do conjunto que compunha cada lisímetro.

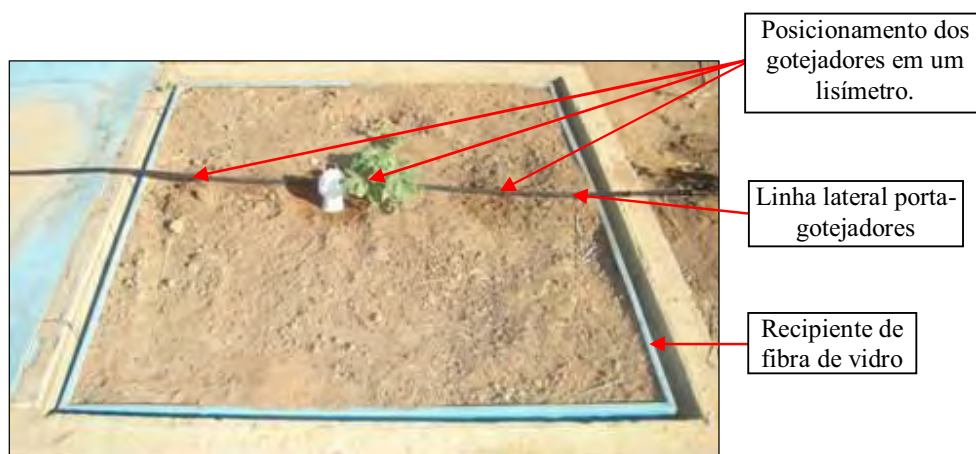


Figura 5. Vista da área superficial de um dos lisímetros.

3.4. Estação agrometeorológica

No centro da área experimental encontra-se instalada uma estação agrometeorológica automática (Figura 6) com um sistema de coleta de dados (modelo CR 23X, Campbell Scientific), composta por sensores de temperatura do ar; umidade relativa do ar (UR); radiação solar global (R_s); velocidade do vento e precipitação pluviométrica. Os sensores de temperatura, umidade relativa e radiação solar foram instalados na estação a 2,0 metros de altura enquanto que o pluviômetro foi a 1,5

metro. Tais dados foram coletados de 15 em 15 minutos e armazenados os valores médios, de hora em hora.

Os dados coletados dessas elementos meteorológicos foram utilizados para os cálculos das estimativas da evapotranspiração de referência (ET_0). Tendo em vista que o piranômetro dessa estação, em um determinado momento, deixou de funcionar corretamente, optou-se por excluir todos os dados já coletados dessa variável de R_s obtidos e utilizar os da estação agrometeorológica do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) situada a 120 metros da área experimental. O saldo de radiação (R_n) foi estimado pelo algoritmo descrito por ALLEN et al. (2006).



Figura 6. Estação agrometeorológica automática instalada no centro da área experimental.

3.5. Monitoramento da irrigação

O controle da irrigação tem por finalidade manter o conteúdo de água no solo em nível ótimo de forma que a condutividade hidráulica do solo na zona radicular não atinja um valor crítico, abaixo do qual o solo passa a restringir a evapotranspiração da cultura, principalmente em períodos de mais alta demanda evaporativa da atmosfera. Isso pode ocorrer em função da redução ou fechamento da abertura estomática causada por déficit hídrico gerado nas células adjacentes à câmara estomática nas folhas, por

desbalanço entre a taxa de saída de água por transpiração através dos estômatos e a de chegada dessa água às folhas através do sistema solo-planta. Tal desbalanço gera estresse hídrico na planta que pode resultar em diminuição do ganho de massa seca da planta, ou em flores estéreis, queda de flores e de folhas, aborto de frutos em formação, entre outros efeitos, que poderão resultar em diminuição da sua produtividade biológica.

Segundo MAROUELLI et al. (1996) a eficiência na irrigação por gotejamento varia entre 85% e 95%. Optou-se por uma eficiência média de 90%.

As definições das lâminas diárias e dos tempos de irrigação foram feitas a partir das seguintes expressões:

- Lâmina de reposição da água por irrigação:

$$I = \frac{ETc_{i-1}}{Ef} \quad (3)$$

Em que:

I – lâmina de irrigação, (mm);

ETc_{i-1} – valor médio da evapotranspiração da cultura (ETc) no dia anterior ao da irrigação, obtido nos lisímetros, considerando que foi adotada frequência diária de irrigação (mm);

Ef - eficiência de aplicação de água pelo sistema de irrigação considerada de 90%.

- Volume de água aplicado por planta em cada irrigação:

$$Vapl = I A \quad (4)$$

Em que:

$Vapl$ - volume de água aplicado por planta, (L);

A – área determinada pelo espaçamento entre plantas na linha e entre linha de plantio, (m²);

- Tempo de irrigação:

$$TI = \frac{V_{apl}}{q_{got}} 60 \quad (5)$$

Em que:

TI - tempo de irrigação, (min);

q_{got} - vazão média dos gotejadores, ($L h^{-1}$).

Foram confeccionadas curvas de retenção de água no solo com amostras de solo retiradas nos lisímetros e nas bordaduras Figuras II e III e Tabelas I e II (Anexo I). A partir dos dados das curvas referentes aos lisímetros, utilizou-se a metodologia a seguir para calcular o armazenamento de água no solo, na capacidade de campo, no ponto de murcha permanente e crítico.

1. Armazenamento de água no solo referente à capacidade de campo (Arm_{cc}):

$$Arm_{cc} = 10 \theta_{cc} z, \text{ (mm)} \quad (6)$$

2. Armazenamento de água no solo referente ao ponto de murcha permanente (Arm_{pmp}):

$$Arm_{pmp} = 10 \theta_{pmp} z, \text{ (mm)} \quad (7)$$

3. Armazenamento de água disponível total (Arm_{dt}):

$$Arm_{dt} = Arm_{cc} - Arm_{pmp}, \text{ (mm)} \quad (8)$$

4. Armazenamento crítico (Arm_{crit.}), o qual representa o teor de água remanescente no solo, após a água facilmente aproveitável ter sido completamente esgotada:

$$\text{Arm}_{\text{crit.}} = (1-p') \text{Arm}_{\text{dt}}, (\text{mm}) \quad (9)$$

$$p' = p + 0,04(5 - \text{ETc}) \quad (10)$$

Em que nas expressões de (7) a (10):

θ_{cc} – umidade do solo na capacidade de campo, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

θ_{pmp} - umidade do solo no ponto de murcha permanente, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

z – profundidade do sistema radicular, cm

p – fator de esgotamento de água no solo. Para a melanciaira $p = 0,4$ para $\text{ETc} = 5 \text{ mm dia}^{-1}$. Por isso optou-se por p' em função da variação diária da ETc .

3.6. Monitoramento do armazenamento de água no solo (ArmAs)

A lâmina de água remanescente no solo em um dia qualquer (armazenamento de água no solo - ArmAs) foi calculada em função do monitoramento diário da umidade do solo dentro e fora dos lisímetros. Esse monitoramento foi realizado com uma sonda de capacitância Diviner 2000[®] fabricada pela Sentek Environmental Technologies, cujo princípio baseia-se na medição da capacitância do solo, a qual está relacionada com a sua constante dielétrica através da geometria do campo elétrico estabelecido em torno de um par de eletrodos inseridos no solo. Eletromagneticamente, o solo é um meio que pode ser representado como uma mistura dielétrica de quatro componentes: ar, massa do solo, água retida e água livre (HALLIKAINEN et al. 1985, citado por PALTINEANU & STARR, 1997). A constante dielétrica da água pura a 20°C é 80,4, do solo está entre 3 e 7 e do ar é 1. Por isso, o dispositivo de capacitância responde a pequenas variações de umidade volumétrica, porque uma quantidade relativamente pequena de água com

sua alta constante dielétrica pode incrementar grandemente a constante dielétrica média de uma mistura solo, ar e água, possibilitando com esse dispositivo a determinação do conteúdo de água do solo (GARDNER et al., 1991; MORGAN et al., 1999).

A equação de calibração da sonda obtida para o solo do local foi $\theta_v = 0,397 FR^{2,533}$, com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,97 de acordo com ANDRADE JÚNIOR. et al. (2007), sendo θ_v a umidade volumétrica ($m^3 m^{-3}$) e FR a frequência relativa medida pelo sensor da sonda, que representa a saída dos dados fornecidos pelo datalogger. Os tubos de acesso para a sonda foram instalados próximos à planta e ao gotejador no interior do bulbo molhado por este, como mostra a Figura 7.

Foram realizadas leituras diárias dos sensores da sonda por volta das 8 horas, para cada 0,1 m de profundidade até 0,7 m em cada um dos setores nas bordaduras e em cada lisímetro.

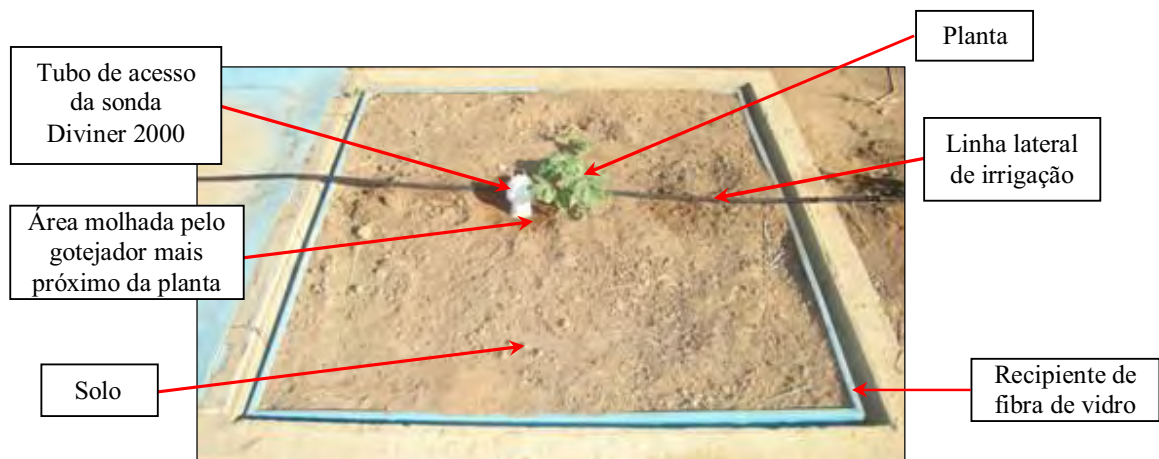


Figura 7. Lisímetro com uma planta em estágio inicial de desenvolvimento e tubo de acesso para sonda de capacitância Diviner 2000®.

O armazenamento atual diário de água no solo, em mm, para cada camada de 0,1 m de espessura foi calculado por meio da seguinte expressão:

$$ArmAt_j = \theta_{v_j} 100 \quad (11)$$

Em que:

j é a ordem da camada, de modo que $j = 1$ corresponde à camada de 0 a 0,1 m, $j = 2$ corresponde à camada de 0,1 a 0,2 m e assim sucessivamente até $j = 7$ que corresponde à camada de 0,6 a 0,7 m.

Com os valores de ArmAs foram calculadas as médias considerando os pontos de amostragem dos setores da bordadura e dos lisímetros, para cada camada j . Para monitorar o armazenamento de água no solo assumiu-se que a profundidade máxima do sistema radicular da planta seria de 0,3 m como indicado em ALBUQUERQUE (2007) e FILGUEIRA (2008). Assumiu-se ainda, as profundidades médias do sistema radicular da planta de 0,1 m; 0,2 m e 0,3 m para os estádios inicial (I), de crescimento (II) e intermediário (III), respectivamente.

3.7. Estimativas da evapotranspiração de referência (ET_0)

Para a comparação entre métodos de estimativa da ET_0 escolheu-se como referenciais os modelos classificados como “métodos combinados” por apresentarem em sua formulação uma combinação de efeitos do balanço de energia com os do poder evaporante do ar (PEREIRA et al., 1987). Esses métodos são fundamentados no modelo original de Penman-Monteith e na grama como cobertura vegetal de referência e podem ser considerados como padrões de estimativa de ET_0 por produzirem resultados com alto grau de concordância com os de lisímetros de precisão, na maioria das condições de clima. O primeiro é: o parametrizado pela FAO no boletim 56 (ALLEN et al., 2006) – PMFAO56. Nesse modelo, a ET_0 diária (mm dia^{-1}) foi calculada pelo somatório de valores horários de ET_0 (mm h^{-1}); o segundo é o parametrizado pela American Society of Civil Engineers (ASAE, 2002) – PMASCE calculado segundo os mesmos procedimentos utilizados para o PMFAO56.

Também se optou por métodos mais simplificados de estimativa da ET_0 , ou seja, métodos que necessitam de um número menor de elementos meteorológicas e também de elementos mais comumente encontradas na maioria das estações climatológicas. São eles: a) baseado no balanço de energia simplificado - método de Priestley-Taylor; b) métodos com maior grau de empirismo que se baseiam praticamente só na

disponibilidade de dados de temperatura do ar e da estimativa da radiação solar: o método de Thornthwaite na versão original e em mais quatro versões, o método de Camargo e o método de Hargraves-Samani.

3.7.1. Métodos baseados na equação de Penman-Monteith

3.7.1.1. Método de Penman-Monteith - padrão FAO-56 ($ET_{0PMFAO56}$)

A parametrização proposta por ALLEN et. al. (2006) no Boletim 56 de Irrigação e Drenagem da FAO parte da equação original de Penman-Monteith (1948) e das equações de resistência aerodinâmica e da superfície (resistência do dossel) parametrizadas para uma grama hipotética de referência, sendo que a primeira varia apenas com a velocidade do vento a 2 metros de altura e a segunda, como a altura da cultura é constante e igual a 0,12 m, assume valor constante de 70 s m^{-1} originando a seguinte expressão matemática para períodos horários ($ET_{0-PMFAO56}(h)$), não distinguindo o período diurno do noturno:

$$ET_{0PMFAO56} = \sum ET_0(h)_{PMFAO56} \quad (12)$$

Em que:

$ET_0(h)_{PMFAO56}$ - valor da ET_0 acumulada durante cada hora do dia (mm h^{-1}), calculado por meio da expressão:

$$ET_0(h)_{PMFAO56} = \frac{0,408 \Delta (Rn_h - G_h) + \gamma \frac{37}{T_{hr} + 273} U_2 (e^o(T_h) - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (13)$$

Para a determinação da ET_0 pela equação (13), utilizou-se o algoritmo proposto no Boletim FAO-56 (ALLEN et al., 2006), em que:

a) Δ - declividade da curva de pressão de vapor d'água em função da temperatura média do ar em cada hora do dia, (kPa °C⁻¹), calculada por:

$$\Delta = \frac{4098 \left[0,6108 \exp \left(\frac{17,27 T_h}{T_h + 237,3} \right) \right]}{(T_h + 237,3)^2} \quad (14)$$

Em que:

$\exp(.)$ - base dos logaritmos naturais (2,7183);

T_h - temperatura média do ar em cada hora do dia, (°C).

b) Rn_h - Saldo ou balanço de radiação ou radiação líquida disponível na superfície em cada hora do dia (MJ m⁻² h⁻¹) dado por:

$$Rn_h = Rns_h - Rnl_h \quad (15)$$

Em que:

Rns_r - saldo de radiação de ondas curtas em cada hora do dia (MJ m⁻² h⁻¹);

Rnl_h - saldo de radiação de ondas longas em cada hora do dia (MJ m⁻² h⁻¹).

Os valores horários de Rns_h foram estimados a partir da seguinte expressão:

$$Rns_r = (1 - \alpha) Rs_h \quad (16)$$

Em que:

α - coeficiente de reflexão do cultivo (albedo), que é de 0,23 para a grama hipotética de referência (adimensional);

Rs_h - Radiação solar global medida na estação agrometeorológica local em cada hora do dia (MJ m⁻² h⁻¹).

As estimativas dos valores horários de Rnl_h foram realizadas a partir da expressão:

$$Rnl_h = \sigma T_h, K^4 (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) (1,35 \frac{Rs_h}{Rso_h} - 0,35) \quad (17)$$

Em que:

σ - constante de Stefan-Boltzman para dados horários ($2,043 \cdot 10^{-10} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$);

T_h, K - Temperatura média horária do ar para cada hora do dia (K);

O termo $(0,34 - 0,14\sqrt{e_a})$, da equação (17), expressa a correção para umidade do ar, decrescendo com o aumento da umidade do ar.

O termo $(1,35 \frac{Rs_h}{Rso_h} - 0,35)$ representa o efeito da nebulosidade durante o horário avaliado.

e_a - média horária da pressão atual de vapor d'água no ar (kPa), calculada por meio da expressão:

$$e_a = e^0(T_h) \frac{UR_h}{100} \quad (18)$$

Em que:

$e^0(T_h)$ - pressão de saturação de vapor (kPa) à temperatura média horária do ar T_h , calculada pela expressão:

$$e^0(T_h) = 0,6108 \exp\left(\frac{17,27 T_h}{T_h + 237,3}\right) \quad (19)$$

Em que:

UR_h - média horária da umidade relativa do ar obtida na estação agrometeorológica (%).

Rs_h - Radiação solar global horária em ausência de nuvens ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).

Os valores de Rso_h foram calculados utilizando-se da expressão:

$$Rso_h = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5}) Ra_h \quad (20)$$

Em que Ra_h é a radiação solar extraterrestre horária ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$), calculada pela seguinte expressão:

$$Ra_h = \frac{12 \cdot (60)}{\pi} G_{sc} dr [(\omega_2 - \omega_1) \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) (\sin(\omega_2) - \sin(\omega_1))] \quad (21)$$

Em que:

G_{sc} - constante solar ($0,0820 \text{ MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$)

dr - inverso da distância relativa Terra-Sol, sendo dr calculada por:

$$dr = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (22)$$

Em que:

J - número do dia no ano entre 1 (1° de janeiro) e 365 (ano normal) ou 366 (ano bissexto);

δ - declinação solar (rad), calculada por meio da expressão:

$$\delta = 0,409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39\right) \quad (23)$$

φ - latitude do local (rad). Positiva para o hemisfério norte e negativa para o hemisfério sul;

ω_1 - ângulo horário do sol no início do período (rad);

ω_2 - ângulo horário do sol no final do período (rad).

Os ângulos de radiação solar no início e final do período são dados por:

$$\omega_1 = \omega - \frac{\pi t_1}{24} \quad \text{e} \quad \omega_1 = \omega + \frac{\pi t_1}{24} \quad (24a \text{ e } 24b)$$

Em que:

t_1 - duração do período considerado (h) - 1 para períodos horários.

ω - ângulo horário do sol no momento em que ocorre o ponto médio do período considerado (rad), calculado por:

$$\omega = \frac{\pi}{12} [(t + 0,06667(L_z - L_m)) + S_c - 12] \quad (25)$$

Em que:

t - hora no ponto médio do período considerado (h);

L_z - longitude do centro da zona de tempo local (graus a oeste de Greenwich). Para o município de Alvorada do Gurguéia-PI $L_z = 30^\circ$;

L_m - longitude do local de medição (graus a oeste de Greenwich). Para o município de Alvorada do Gurguéia-PI - $L_m = 43,87^\circ$.

S_c - correção estacional para o tempo solar (h), determinada por:

$$S_c = 0,1645 \sin(2b) - 0,1255 \cos(b) - 0,025 \sin(b) \quad (26)$$

$$b = \frac{2\pi(J - 81)}{364} \quad (27)$$

c) Fluxo de calor do solo para períodos horários (G_{hr}):

- Para períodos diurnos ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$):

$$G_{hr} = 0,1Rn_h \quad (28)$$

- Para períodos noturnos ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$):

$$G_{hr} = 0,5 Rn_h \quad (29)$$

d) γ - constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$)

$$\gamma = 0,665 \cdot 10^{-3} P \quad (30)$$

Em que:

P - pressão atmosférica local (kPa) que foi estimada em função da altitude local (z ; m) por meio da expressão:

$$P = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065 z}{293} \right)^{5,26} \quad (31)$$

e) U_2 - média horária da velocidade do vento a 2 metros de altura (m s^{-1}) - obtida a partir do anemômetro instalado na estação agrometeorológica automática.

3.7.1.2. Método de Penman-Monteith - ASCE ($ET_{0PMASCE}$)

A versão que a ASCE adotou para o método de Penman-Monteith padronizado para a grama de referência, difere da parametrização adotada no Boletim 56 da FAO, para cálculos horários, por considerar valores diferentes da resistência da superfície da grama de referência para o período diurno e o noturno. A expressão geral para o cálculo horário ET_0 por esse método é:

$$ET_0(h)_{PMASCE} = \frac{0,408 \Delta (Rn_h - G_h) + \gamma \frac{37}{T_h + 273} U_2 (e^\circ(T_h) - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + K U_2)} \quad (32)$$

Nesta expressão, a constante K no termo entre parênteses do denominador assume o valor de 0,24 para o período diurno, em que a resistência da superfície gramada é constante e igual a 50 s m^{-1} , e de 0,96, para o período noturno, em que a resistência da superfície é também constante e igual a 200 s m^{-1} . Comparando-se esta expressão com a (13) verifica-se que nessa a constante K assume o valor 0,34 para um valor diurno e noturno da resistência da superfície da grama de referência constante e igual a 70 s m^{-1} .

Dessa forma, o cálculo diário da ET_0 ($ET_{0PMASCE}$) foi elaborado com o somatório dos valores horários da ET_0 conforme a expressão:

$$ET_{0PMASCE} = \sum [ET_o(h_d)_{PMASCE} + ET_o(h_n)_{PMASCE}] \quad ; \text{ (mm dia}^{-1}\text{)} \quad (33)$$

Em que

$ET_o(h_d)_{PMASCE} - ET_o$ para as horas do período diurno (mm h^{-1}) e $ET_o(h_n)_{PMASCE} - ET_o$ para as horas do período noturno (mm h^{-1}).

Todos os termos da equação (32) têm o mesmo significado e as mesmas unidades dos termos da expressão (13), considerando a distinção entre as horas diurnas e as noturnas.

3.7.2. Métodos simplificados

3.7.2.1. Equação de Priestley–Taylor (ET_{0PT})

Para estimar a ET_0 por este método será também utilizada a equação descrita em PEREIRA et al. (2002), que apresenta a seguinte forma:

$$ET_{0PT} = \frac{1,26 \ W(Rn - G)}{2,45} \quad (34)$$

Em que:

Rn - saldo de radiação total diário ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

1,26 – representa, em termos percentuais, a contribuição média do termo aerodinâmico da equação de Penman-Monteith;

2,45 - calor latente de vaporização da água a 20 °C (MJ kg^{-1});

W - fator de ponderação dependente da temperatura do bulbo úmido e do coeficiente psicrométrico, podendo ser calculado segundo as expressões:

$$W = 0,407 + 0,0145 T \quad \text{para } 0^\circ\text{C} < T < 16^\circ\text{C} \quad (35)$$

$$W = 0,483 + 0,01 T \quad \text{para } 16,1^\circ\text{C} < T < 32^\circ\text{C} \quad (36)$$

Sendo T a temperatura média do ar no período considerado ($^\circ\text{C}$), substituindo a temperatura do bulbo úmido (Tu) na expressão original proposta por Wilson e Rouse (1972) e Vishwanadham et al. (1991), citados por PEREIRA et al. (1997) em função da não disponibilidade de dados de Tu na estação meteorológica local. PEREIRA et al. (1997) comentam que em condições de atmosfera não saturada, $T > Tu$, o que resultará em valores de W ligeiramente maiores, aumentando a estimativa de ET_0 . A temperatura média diária T_d foi calculada por:

$$T_d = 0,5 (T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}}) \quad (37)$$

Em que:

$T_{\text{máx}}$ - temperatura máxima diária do ar ($^\circ\text{C}$);

$T_{\text{mín}}$ - temperatura mínima diária do ar ($^\circ\text{C}$).

G - fluxo total diário de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), que foi calculado de acordo com a expressão proposta por WRIGTH & JENSEN (1972), citados por PEREIRA et al. (2002), como uma função da temperatura do ar:

$$G = 0,38 (T_d - T_{-3d}) \quad (38)$$

Em que:

T_d = temperatura média do ar do dia em questão (°C);

T_{-3d} = temperatura média do ar dos três dias anteriores (°C).

3.7.2.2. Método de Hargreaves-Samani (ET_{0HS})

HARGREAVES & SAMANI (1985) propuseram uma equação para determinação de ET_0 , baseada em dados de radiação solar e de temperatura do ar, cuja expressão matemática é:

$$ET_{0HS} = 0,0023 Ra (T_d + 17,8) \sqrt{T_{máx} - T_{min}} \quad (39)$$

Sendo:

ET_{0HS} - evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹);

Ra - radiação extraterrestre diária (MJ m⁻² dia⁻¹), calculada com a expressão:

$$Ra = \frac{24}{\pi} (60) G_{sc} dr [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad (40)$$

Em que:

ω_s - angulo horário ao pôr-do-sol (rad), calculado por:

$$\omega_s = \arccos[-\operatorname{tg}(\varphi) \operatorname{tg}(\delta)] \quad (41)$$

Os demais termos dessa equação já foram definidos na expressão (21).

3.7.2.3. Método de Camargo - 1971 (ET_{0CAM})

$$ET_{0CAM} = 0,01 Ra TND \quad (42)$$

Em que:

ND - número de dias do período considerado. Para período diário $ND = 1$ e $T = T_d$;

3.7.2.4. Métodos baseados na equação de Thornthwaite - 1948

a) Original (ET_{0THW})

$$ET_{0THW} = 16 \left(10 \frac{T_d}{I} \right)^a, 0^\circ\text{C} \leq T_d \leq 26^\circ\text{C} \quad (43)$$

Em que:

I - índice térmico em função da temperatura normal climatológica local (T_n), sendo calculado pela expressão:

$$I = \sum_{n=1}^{12} (0,2T_n)^{1,514}, T_n > 0^\circ\text{C} \quad (44)$$

a - expoente em função de I , expresso como:

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} I + 0,49239 \quad (45)$$

Para T acima de 26°C , WILLMOTT et al. (1985), citados por PEREIRA & PRUITT (2004), propuseram o cálculo de ET_{0THW} pela seguinte expressão:

$$ET_{0THW} = -415,85 + 32,24 T_d - 0,43 T_d^2, T_d > 26^\circ\text{C} \quad (46)$$

Como o método de Thornthwaite considera um mês padrão de 30 dias em que cada dia tem 12 horas de fotoperíodo (N), para converter ET_{0THW} da escala mensal para a diária, aplicou-se o seguinte fator de correção à expressão (43) ou à (46):

$$C = \frac{N_{i,n}}{12} \frac{ND}{30} \quad (47)$$

Em que:

ND - número de dias do período;

$N_{i,n}$ - fotoperíodo (h) para um dado dia i do mês n , calculado como:

$$N_{i,n} = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (48)$$

b) Com substituição da temperatura média (T) pela temperatura “efetiva” (T_{ef})

De acordo com PEREIRA & PRUITT (2004), CAMARGO et al. (1999) substituíram a temperatura média T pela temperatura “efetiva” T_{ef} , encontrando estimativas de ET_0 melhores. A T_{ef} foi computada empiricamente como uma função de T_d e da amplitude térmica diária A ($A = T_{máx} - T_{min}$), segundo a expressão:

$$T_{ef} = K (T_d + A) = \frac{1}{2} K (3T_{máx} - T_{min}) \quad (49)$$

b.1.) $ET_{0THW2(0,69)}$ e $ET_{0THW2(0,72)}$

CAMARGO et al. (1999), citados por PEREIRA & PRUITT (2004) encontraram que o valor de K da expressão (49), estatisticamente melhor para a estimativa de ET_0 em escala mensal, foi 0,72 quando comparados com dados lisimétricos, enquanto que PEREIRA & PRUITT (2004), testando diversos valores de K para estimativa de ET_0 em escala diária, encontraram o valor 0,69 como o melhor.

Dessa forma, foram estabelecidos mais dois modelos derivados do modelo original de Thornthwaite com a temperatura “efetiva” diária expressa pela equação (49) substituindo a temperatura média diária (T_d) e utilizando esses dois valores de K : 0,69 ($ET_{0THW2(0,69)}$) e 0,72 ($ET_{0THW2(0,72)}$).

b.2.) $ET_{0THW3(0,69)}$ e $ET_{0THW3(0,72)}$

PEREIRA & PRUITT (2004) propuseram a inclusão de um fator de correção na expressão (49) em função da razão entre o fotoperíodo (N) e as horas sem luz de um mesmo dia, tendo em vista que pela expressão (49) dois dias com a mesma T_{ef} mas com fotoperíodos muito diferentes terão, provavelmente, taxas de evapotranspiração diferentes. Assim, a nova temperatura “efetiva” (T_{ef}^*) tem a seguinte apresentação:

$$T_{ef}^* = T_{ef} \frac{N}{24 - N} \quad (50)$$

Em que $N/(24 - N)$ é a razão entre as horas de luz ou o fotoperíodo (N) e as sem luz ($24 - N$) de um dia.

Da mesma forma que em (b.1.) foram aplicados na equação (49) os valores de K iguais a 0,69 ($ET_{0THW3(0,69)}$) e a 0,72 ($ET_{0THW3(0,72)}$).

3.8. Avaliação do desempenho dos modelos de estimativa de ET_0

Com a finalidade de se verificar o grau de concordância entre os valores de ET_0 estimados pelos demais métodos e o estimado pelo método considerado como padrão, o $ET_{0PMFAO56}$, foram utilizados os seguintes índices de desempenho estatístico:

- de precisão: dado pelo coeficiente de determinação R^2 ; indica que quanto menor/maior for a dispersão dos valores obtidos, em torno do valor médio, maior/menor será a repetibilidade da medida e, conseqüentemente, mais/menos preciso será o método. É calculado conforme a expressão:

$$R^2 = \frac{[\sum (ET_{0,x} - ET_{0PMFAO56})]^2}{\sum (ET_{0,x})^2 \sum (ET_{0PMFAO56})^2} \quad (51)$$

Em que:

ET_{0x} – em que o índice x representa os demais modelos de estimativa de ET_0 testados.

- de exatidão ou concordância: dado pelo índice de concordância (d) de WILLMOT et al. (1985), o qual representa a acurácia dos dados estimados; graficamente representa a aproximação da reta de regressão da linha 1:1. É calculado pela seguinte expressão:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - O_m| + |O_i - O_m|)^2} \right], \quad 0 \leq d \leq 1 \quad (52)$$

Em que:

N - número de observações;

P_i - valores de ET_0 estimados com os modelos não padrões (mm dia^{-1});

O_i - valores de ET_0 estimados com o modelo padrão (mm dia^{-1});

O_m - valor médio da ET_0 estimada com o modelo padrão durante o período total considerado (mm dia^{-1}).

Existirá uma perfeita concordância entre o valor estimado (P_i) e valor observado (O_i) de ET_0 quando $d = 1$.

- de variância: raiz quadrada do erro médio ($RMSE$) – Permite avaliar as desigualdades entre os valores medidos e os estimados. E fornece uma boa medida de como dois conjuntos de dados independentes estão intimamente relacionados. (VENTURA et al., 1999).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}} \quad (\text{mm dia}^{-1}) \quad (53)$$

Foi calculado também o erro percentual absoluto médio *MAPE* (mean absolute percentage error) para todos os modelos tomando como padrão $ET_{0PMFAO56}$.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^N APE_i}{N}; \quad APE_i = \left| \frac{P_i - O_i}{P_i} \right| 100 \quad (54)$$

Em que:

APE_i - é o erro percentual absoluto entre o valor estimado no dia i pelo método não padrão (P_i) e o valor estimado pelo método padrão (O_i) para o mesmo dia.

Foi também aplicada uma análise de regressão do tipo $Y = \alpha X + \beta$ para testar a qualidade do ajuste entre os modelos simplificados (X) e o padrão (Y) de estimativa de ET_0 .

$$ET_{0PMFAO56} = \alpha ET_{0X} + \beta \quad (55)$$

Em que:

α e β - são o coeficiente angular e o coeficiente linear (intercepto no eixo Y), respectivamente, das equações lineares resultantes das correlações testadas.

Foram utilizadas as estatísticas t e F (pois só se aplica o teste t se for significativo o valor do teste F calculado), realizando-se testes de hipóteses para o coeficiente β das equações de regressão. Foi testado se o coeficiente linear β não diferiu estatisticamente de zero pelo teste t , a 1% de probabilidade, para qualquer das combinações de regressão definidas pela expressão (55); quando β não diferiu estatisticamente de zero, nova regressão linear foi feita considerando a passagem da reta resultante pelo ponto de coordenadas (0,0), ou seja, aplicou-se novo modelo de regressão linear $Y = \alpha X$, determinando-se os novos valores de α e R^2 .

Os dados também foram submetidos à análise de variância aplicando-se o teste de SCOTT & KNOTT (1974) a 1% de probabilidade, às médias dos valores de

evapotranspiração de referência estimados pelos diversos modelos aqui analisados utilizando-se o programa computacional SAEG V9.1. Esse teste foi escolhido por facilitar a interpretação dos resultados, pois os dados são classificados em grupos distintos e não há sobreposição entre grupos; permitindo a separação das médias em grupos homogêneos.

Foi utilizada a regressão polinomial aplicada a dados sem repetição (PIMENTEL GOMES & GARCIA, 2002).

3.9. Coeficientes de cultura (K_c)

Os estádios de desenvolvimento da cultura foram caracterizados em função da variação do coeficiente de cultura com base no cálculo diário dos seus valores verificando-se quando os mesmos mudavam de comportamento, indicando a passagem de uma fase para outra: estágio: I - da semeadura aos 22 dias após a semeadura (DAS); II - dos 23 aos 49 DAS; III - dos 50 aos 65 DAS e IV- dos 66 aos 72 DAS.

Os valores diários de evapotranspiração da cultura (ET_c), obtidos pela média das leituras dos três lisímetros, foram relacionados com os valores de ET_o estimados diariamente pelos métodos anteriormente descritos, para obtenção dos valores diários de K_c por meio da aplicação da expressão geral:

$$K_{c\phi} = \frac{ET_{c_{Lis}}}{ET_{o\phi}} \quad (56)$$

Em que o subscrito ϕ refere-se a cada um dos métodos de estimativa de ET_o .

3.10. Índice de advecção (IA)

Com o objetivo de caracterizar a ocorrência de condições advectivas na área durante o período experimental, foi calculado o índice de advecção (IA). Este índice é a

relação percentual da energia disponível que é utilizada na conversão de calor latente de vaporização e, qual percentual é convertido em calor sensível. Para PEREIRA et al. (2002), quando o solo se mantém em boas condições de disponibilidade de água, a maior parte da energia disponível é utilizada na evapotranspiração, o que representa aproximadamente 70% a 80% da radiação líquida (Rn). Portanto, se houver advecção de calor sensível para uma determinada área, essa relação passa de 100%.

O índice de advecção foi determinado de acordo com BERENGENA & GAVILÁN (2005), pela expressão:

$$IA = \frac{ET_0}{Rn} \quad (57)$$

Em que:

ET_0 – evapotranspiração de referência determinada por PMFAO56 (mm dia^{-1});

Rn – saldo de radiação (mm dia^{-1}).

3.11. Índice de cobertura do solo (IC)

O índice de cobertura do solo pela cultura foi determinado tendo em vista a relação estabelecida entre a cobertura da superfície do solo pela área foliar da cultura e a evolução da curva de Kc ao longo de quatro estádios principais de crescimento de culturas com ciclo anual: fase inicial ($0 \leq IC \leq 10\%$); fase de desenvolvimento vegetativo ($10 < IC \leq 80\%$), fase de florescimento e formação do fruto ($IC = 80\%$) e fase de maturação e colheita em que o IC pode se manter ou diminuir em função da senescência e queda de folhas em algumas culturas (DOORENBOS & PRUITT, 1977; DOORENBOS & KASSAN, 1994 e ALLEN et al., 2006). Para isso, foram fotografadas as áreas delimitadas pelos lisímetros (LIS) e por parcelas de bordadura (BA e BB) com área superficial igual à dos lisímetros (Figura 8) e posteriormente fez-se a relação percentual da área coberta pela planta (ApI) com a área dos lisímetros (A_{Lis}) e com as áreas previamente delimitadas nas bordaduras. As áreas eram fotografadas duas vezes

por semana, de uma posição pré-fixada, próxima a cada lisímetro e de cada bordadura a uma altura de aproximadamente 1,5 metros, utilizando-se máquina fotográfica digital SONY DSC-S600 6.0 Mega pixels e "zoom" de 3 X.

A A_{pl} foi medida projetando-se em papel milimetrado a área foliar da planta fotografada e a área superficial do lisímetro/bordadura. Desse modo, fazia-se a contagem das quadrículas referentes à área superficial do lisímetro/bordadura e à área foliar, e a razão entre elas fornecia o IC.

Na Figura 8 está apresentado o croqui da área experimental com a posição dos lisímetros e das parcelas de bordadura em que foram determinados os índices de cobertura do solo (IC), segundo a expressão:

$$IC = \frac{A_{pl}}{A_{Lis}} 100 \quad (58)$$

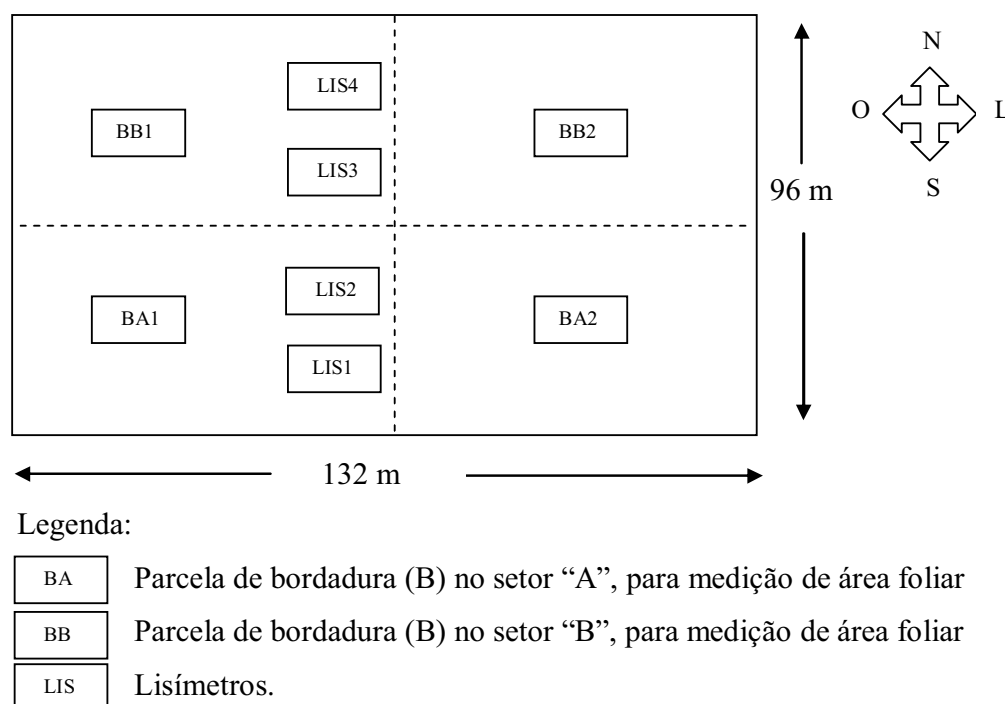


Figura 8. Representação esquemática da área experimental mostrando sua posição em relação aos pontos cardeais, suas dimensões (132 m x 96 m), a disposição dos lisímetros, das áreas de bordadura e das parcelas da bordadura para a determinação do índice de cobertura do solo (IC).

3.12. Produtividade de frutos X lâmina total de irrigação aplicada (PFLIA)

Este parâmetro foi determinado através da relação entre a produtividade de frutos da cultura ($PF; \text{kg ha}^{-1}$) e a lâmina total de irrigação aplicada (I) (mm):

$$PFLIA = \frac{PF}{10I} , \text{ kg m}^{-3} \quad (59)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Condições climáticas durante o experimento

As condições climáticas predominantes durante o ciclo de desenvolvimento da cultura, que foi de 72 dias, representadas pelos valores médios totais dos principais elementos climatológicas (Tabela 4), foram favoráveis ao crescimento e desenvolvimento da melancia tendo em vista que a temperaturas mínima média (18,6 °C) e a máxima média (35,9 °C) estiveram muito próximas das temperaturas basais inferior, 18 °C, e superior, 35 °C, preconizadas por DOORENBOS & KASSAN (1994) e ONSINEJAD & ABAK (1999), para a melancia.

Tabela 4. Valores médios e totais dos elementos climáticos por estágio de desenvolvimento da cultura.

Estádios	¹ Duração (dias)	² Temp. do ar (°C)			⁶ P (mm)	⁷ UR média (%)	⁸ U média (m s ⁻¹)	⁹ Rs (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	¹⁰ Rs/Rso
		³ Máx.	⁴ Mín.	⁵ Méd.					
Inicial	22	34,2	16,5	25,4	0	23,3	1,23	21,87	0,84
Crescimento	27	35,3	18,2	26,7	0	20,4	1,36	23,76	0,84
Intermediário	16	36,8	19,8	28,4	0	16,4	1,33	25,17	0,82
Final	7	37,3	19,8	29,3	0	13,8	1,33	25,10	0,76
Total	72	-	-	-	-	-	-	1701,01	

¹Duração dos estádios da cultura desde a semeadura até a última colheita; ²Temperatura; ³Máxima; ⁴Mínima; ⁵Média; ⁶Chuva; ⁷UR - Umidade relativa do ar; ⁸U - velocidade do vento; ⁹Rs – radiação solar global; ¹⁰Índice de nebulosidade, em que Rso é a radiação solar em dia completamente isento de nebulosidade calculado pelo somatório dos valores horários dado pela expressão (20) entre as 6 horas e as 18 horas de cada dia.

A temperatura média do ar ocorrida durante a fase de germinação favoreceu o processo germinativo das sementes, de forma que a emergência das plântulas aconteceu aos cinco dias após a semeadura. Segundo RESENDE et al. (2006), quando a temperatura média do ar é de 30 °C, o processo da germinação à emergência das

plântulas ocorre em 5 dias, em média. Os mesmos autores relatam que a temperatura ideal do ar para o desenvolvimento da melancia deve estar em torno de 25 °C.

Neste experimento, a temperatura média do ar do período experimental foi em torno de 27 °C, variando de cerca de 25 °C, no período inicial, até cerca de 29 °C, no período final. Portanto, as variações de temperatura do ar ao longo do período experimental ocorreram aproximadamente dentro dos limites ótimos para a melancieira.

Analisando os dias médios dos três meses durante os quais a cultura se desenvolveu, verifica-se que no 15º dia de julho, dia da semeadura, as temperaturas mínimas e máximas foram 15,3 °C e 32,3 °C, respectivamente (Figura 9 a), em 15 de agosto foram 18,1 °C e 33,0 °C (Figura 9 b) e em 15 de setembro 22,0 °C e 37,1 °C (Figura 9 c). As temperaturas médias durante o período experimental (Figura 9 d) variaram entre a mínima de 23,9 °C, ocorrida aos 13 DAS, e a máxima de 30,4 °C, aos 70 DAS, o que reflete o aumento das temperaturas mínimas e máximas e, conseqüentemente, a diminuição da umidade relativa média do ar (Figura 9), do início (julho) para o final do ciclo da cultura (setembro). A combinação de condições de temperatura do ar elevada e umidade relativa do ar baixa no final do ciclo, além de alta luminosidade caracterizada pelos altos valores de radiação solar global (R_s) (Tabela 4 e Figura 10 a, b, c e d) e de valores próximos de 1,0 de índice de nebulosidade (valor médio de 0,82 - Tabela 4), proporcionaram, conforme RESENDE et al. (2006), condições climáticas ideais para desenvolvimento da cultura.

Quanto mais alta a temperatura do ar, maior sua capacidade para armazenar vapor d'água. Em condições normais de tempo, a pressão atual de vapor (e_a) varia muito pouco durante o dia e a pressão de saturação (e_s) tende a aumentar com o aumento da temperatura do ar. Com isso, há acréscimo no déficit de saturação ($e_s - e_a$), o qual é um indicador da real capacidade evaporativa do ar e aumento no consumo de água pelas plantas. Condições estas que ocorreram durante o ciclo da cultura, como podem ser observadas pelas Figuras 9 a, b, c e d.

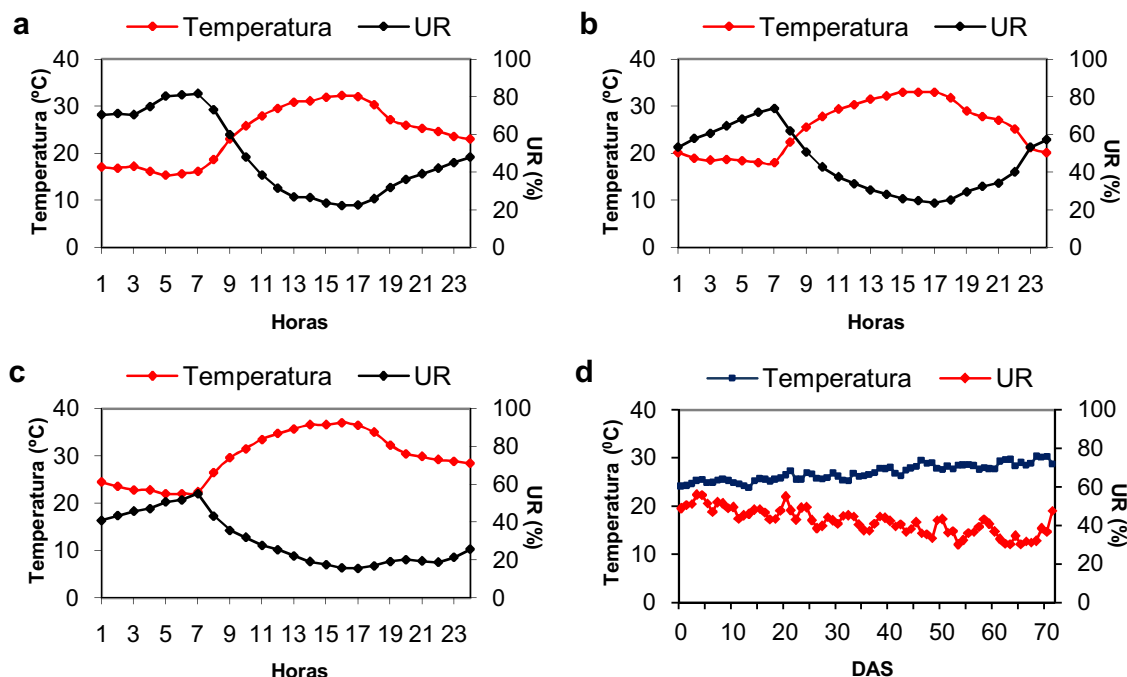


Figura 9. Variação horária da temperatura e da umidade relativa (UR) do ar observadas nos dias 15-07-2008 (a), 15-08-2008 (b) e 15-09-2008 (c) e diária durante o experimento (d).

Embora a velocidade média do vento durante o experimento tenha sido em torno de $1,3 \text{ m s}^{-1}$ (Tabela 4), verifica-se pela Figura 11 (a), (b) e (c), que a velocidade do vento durante o dia no período das 8 horas às 17 horas é, geralmente, superior a $1,5 \text{ m.s}^{-1}$, atingindo valores máximos variando de $3,0 \text{ m s}^{-1}$ a $3,5 \text{ m s}^{-1}$ às 10 horas, valores esses que, segundo o boletim FAO-56 (ALLEN et al., 2006), são classificados como de moderados a fortes.

As condições de tempo quente e seco devido ao ar seco e à quantidade de energia disponível como radiação solar direta e calor latente, como as que predominaram durante o ciclo da cultura favoreceram, conforme ALLEN et al. (2006), a ocorrência de demanda evapotranspiratória alta. Nessas condições, segundo os mesmos autores, o aumento da velocidade do vento promove o aumento da evapotranspiração, sendo que pequenas variações na velocidade do vento podem dar lugar a significativas variações no processo evapotranspiratório.

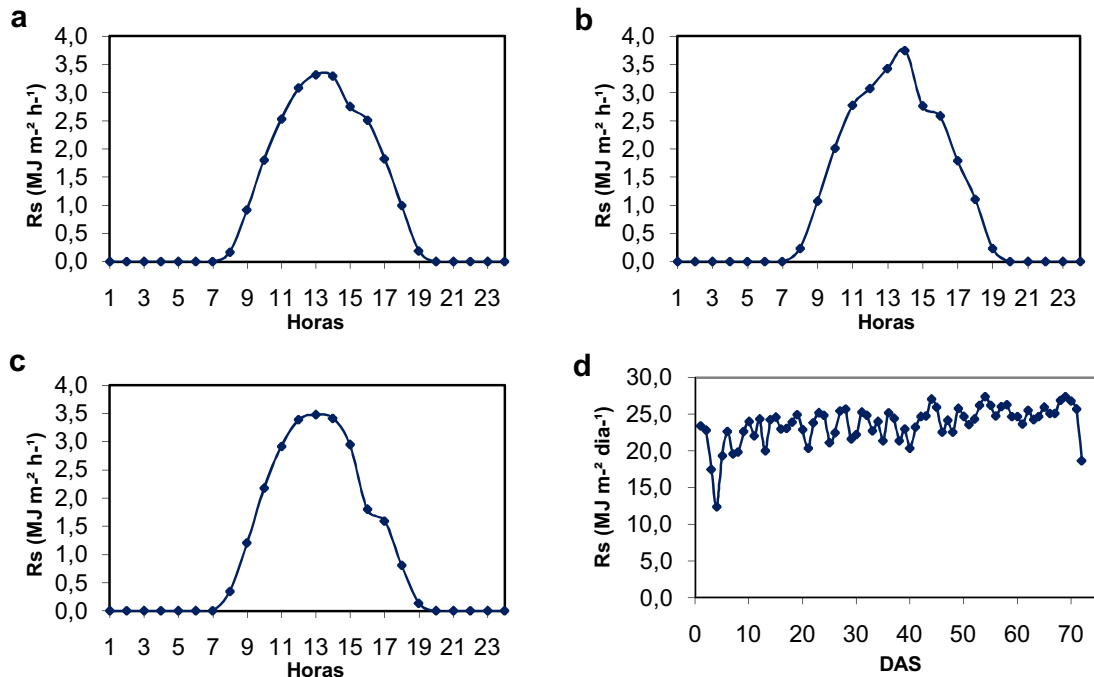


Figura 10. Variação horária da radiação solar global (R_s) observada nos dias 15-07-2008 (a), 15-08-2008 (b) e 15-09-2008 (c), e diária durante o experimento (d).

O vento afeta o crescimento das plantas sob três aspectos: transpiração, absorção de CO_2 e efeito mecânico sobre as folhas e ramos. A fotossíntese aumenta com o aumento do suprimento de CO_2 , que é favorecido pelo aumento da turbulência devido ao aumento da velocidade do vento (MOTA, 1986).

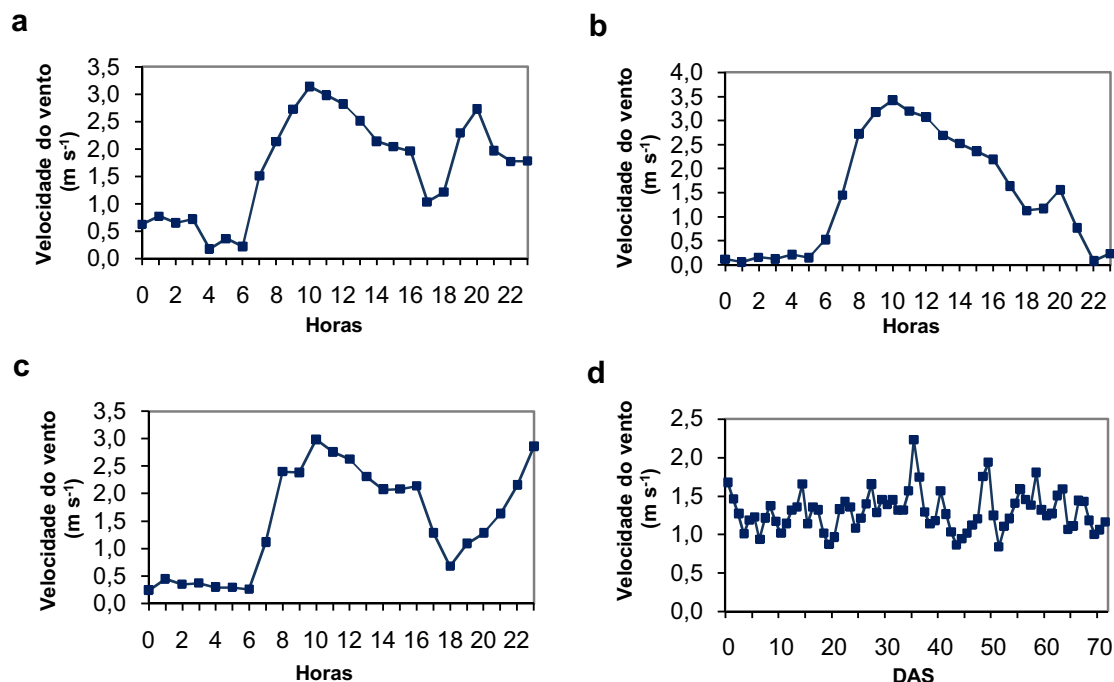


Figura 11. Variação horária da velocidade do vento observada nos dias 15-07-2008 (a), 15-08-2008 (b) e 15-09-2008 (c), e diária durante o experimento (d).

4.2. Evapotranspiração de referência (ET_0)

Os valores diários de ET_0 dos meses de julho, agosto e setembro, calculados para todos os modelos, durante o período em que a cultura permaneceu no campo são apresentados nas Tabelas III, IV, V, VI, VII e VIII do Anexo 2.

Comparando-se estatisticamente, a 1% de probabilidade, as médias gerais dos modelos de ET_0 pelo teste de Scott-Knott, verifica-se, que os modelos de estimativa de ET_0 cujas médias não diferiram significativamente da média do modelo padrão *PMFAO56* foram os modelos *PMASCE*, *THW2*(0,69) e *THW3*(0,72) (Tabela 5). Esta análise é uma primeira aproximação para a comparação entre os modelos, em que já se observa que as correções efetuadas no modelo original *THW*, substituindo a temperatura média do ar pela temperatura efetiva (*THW2*) (CAMARGO et al., 1999) e, além disso, considerar também os efeitos do fotoperíodo (*THW3*), melhoraram a

concordância do modelo *THW* para dados diários com o modelo *PMFAO56*, conforme também observaram PEREIRA & PRUITT (2004).

Tabela 5. Comparação pelo teste Scott-Knott dos valores médios de ETo obtidos durante o período experimental.

Modelos	Médias (mm dia ⁻¹)	Comparação (1%) ^(*)
HS	5,8549	A
THW2(0,72)	5,6660	A
PM-FAO56	5,5146	B
PM-ASCE	5,5114	B
THW3(0,72)	5,4376	B
THW2(0,69)	5,4252	B
THW3(0,69)	5,1738	C
PT	4,8414	D
THW	4,7000	D
CAM	3,7223	E

(*) médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ao nível de significância de 1%, pelo teste de SCOTT e KNOTT (1974).

As médias mais elevadas foram as dos modelos *HS* e *THW2(0,72)* que não diferiram entre si, formando um grupo que diferiu estatisticamente do segundo grupo formado pelos métodos *PMFAO56*, *PMASCE*, *THW3(0,72)* e *THW2(0,69)*. Em seguida, em ordem decrescente, vem o *THW3(0,69)*, com média menor do que os dos dois grupos anteriores, mas com média superior ao grupo formado por *PT* e *THW*. A menor média geral foi a do *CAM*.

O teste t, aplicado ao coeficiente linear ou intercepto (β) das equações de regressão obtidas (Tabela 6), evidenciou que apenas para as regressões dos modelos *PMASCE* e *CAM* os valores de β diferiram estatisticamente de zero a 1% de probabilidade, não sendo possível ajustar uma nova regressão para esses modelos forçando a passagem da reta de regressão pela origem (0;0).

Pode-se visualizar pela Figura 12 (a), que a linha de regressão entre os métodos *PMFAO56* e *PMASCE*, praticamente sobrepõe a linha 1:1 e, conjuntamente com a Tabela 6, que a dispersão dos pontos em relação à linha de regressão é pequena ($R^2=0,99$), que o grau de concordância entre esses modelos é máximo ($d=1,0$) e que os

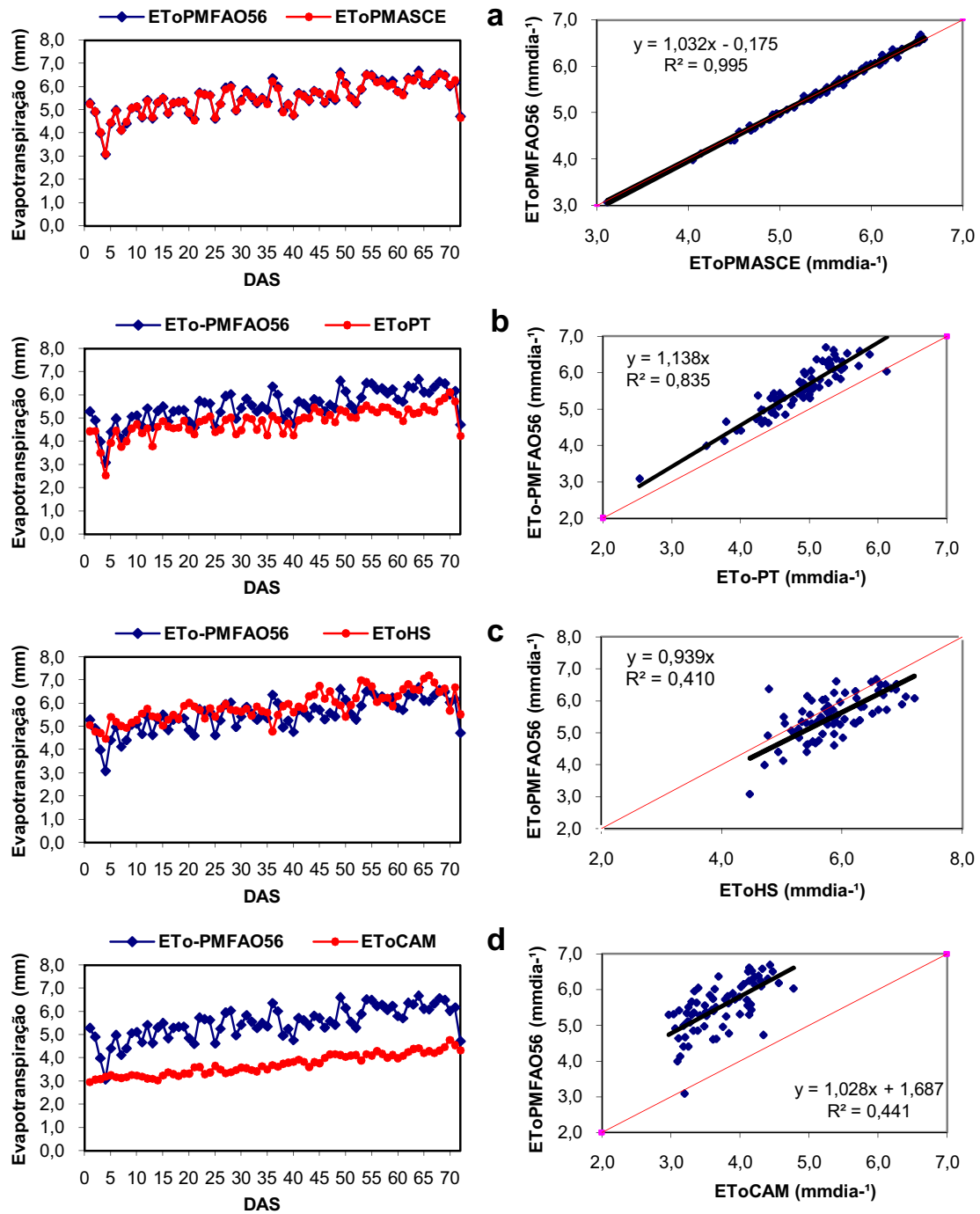


Figura 12. Comparação entre os valores diários de evapotranspiração de referência ET_0 estimados pelo método PMFAO56 (a) e pelos métodos: (b) - PT; (c) - HS; (d) - CAM.

erros da estimativa são muito pequenos ($RME=0,05 \text{ mm dia}^{-1}$ e $MAPE=0,74\%$). Assim, os resultados das Tabelas 5 e 6 mostram que, para as condições ambientais do período analisado e estimando-se a ET_0 diária utilizando-se de cálculos horários, a admissão de dois valores diferentes da resistência da superfície, um para o período diurno ($r_s=50 \text{ s m}^{-1}$) e outro para o noturno ($r_s=200 \text{ s m}^{-1}$) pelo modelo *PMASCE*, não resultou em diferenças importantes de precisão e acurácia deste em relação ao *PMFAO56* que se utiliza de um valor único de 70 s m^{-1} para a r_s . Dessa forma, a maior simplicidade no processamento computacional para os cálculos de ET_0 por *PMFAO56* do que por *PMASCE* e a excelente concordância entre esses métodos, são vantagens do *PMFAO56* para a aplicação prática em manejo da água em parcelas irrigadas.

Tabela 6. Estatística, parâmetros do modelo de regressão $ET_{0PMFAO56} = \alpha ET_{0x} + \beta$ e índices de desempenho, em relação ao modelo padrão (*PMFAO56*), dos modelos ET_{0x} : ASCE (*PMASCE*); Hargreaves-Samani (*HS*); Priestley-Taylor(*PT*); Camargo (*CAM*); Thornthwaite: *THW*; *THW2(0,69)*; *THW2(0,72)*; *THW3(0,69)*; *THW3I(0,72)*.

Modelos	t_β (1%)	α	β	R^2	D	RMES (mm d ⁻¹)	MAPE (%)
<i>PMASCE</i>	3,79	1,0324	-0,1752	0,99	1,0	0,05	0,74
<i>PT</i>	1,84 ^{NS}	1,1384		0,83	0,76	0,73	14,01
<i>HS</i>	0,74 ^{NS}	0,9399		0,41	0,76	0,64	8,99
<i>CAM</i>	3,26	1,0281	1,6875	0,44	0,40	1,87	48,90
<i>THW</i>	0,70 ^{NS}	1,1725		0,34	0,54	0,99	18,90
<i>THW2(0,69)</i>	0,22 ^{NS}	1,0167		0,30	0,67	0,59	8,77
<i>THW2(0,72)</i>	1,23 ^{NS}	0,9751		0,30	0,64	0,60	8,50
<i>THW3(0,69)</i>	1,27 ^{NS}	1,0646		0,41	0,73	0,63	9,84
<i>THW3(0,72)</i>	0,01 ^{NS}	1,0141		0,43	0,77	0,53	8,02

t_β – valores de t a 1% de probabilidade estatística para o coeficiente β ; ^{NS} valores de t na coluna de t_β não seguidos de NS indicam que esse coeficiente difere significativamente de zero a 1% de probabilidade. α - coeficiente angular; β - intercepto; R^2 - coeficiente de determinação; d - índice de concordância; RMES - raiz quadrada do erro médio quadrático (mm dia⁻¹); MAPE - erro percentual absoluto médio. *THW* - ET_0 estimada pelo método de Thornthwaite original ; *THW2(0,69)* e *THW2(0,72)* - ET_0 estimadas pelo método *THW* com a temperatura média corrigida pela temperatura efetiva e fatores K = 0,69 e 0,72; *THW3(0,69)* e *THW3(0,72)* - ET_0 estimada pelo método de Thornthwaite com a temperatura efetiva corrigida pela duração do fotoperíodo e fatores K = 0,69 e 0,72.

Entre os modelos com maior grau de empirismo, o *PT* foi o que apresentou a menor dispersão dos dados em relação à reta de regressão ($R^2=0,83$), portanto, maior precisão (Tabela 6). A concordância com o *PMFAO56*, que representa a acurácia do método, dado pelo índice *d*, foi de 0,76, semelhante ao de *HS* e *THW3*(0,72). Esses valores de R^2 e *d* indicam que a simplificação do método de Penman apresentada no *PT* (PEREIRA et al.,1997), com o parâmetro de Priestley-Taylor, α , igual a 1,26, diminuiu a precisão e a acurácia do método para as condições climatológicas da região, durante o período experimental. Houve também aumento dos índices de erro, apresentando RMSE de 0,73 mm dia⁻¹ e MAPE de 14,01%, valores estes superados apenas pelos do *CAM* (1,87 mm dia⁻¹ e 48,90%) e *THW* (0,99 mm dia⁻¹ e 18,90%). Isso pode ter ocorrido devido ao fato de o modelo *PT* ser muito sensível à advecção, enquanto o *PMFAO56* é praticamente insensível. De acordo com BERENGENA & GAVILÁN (2005), para as condições semi-áridas advectivas do sul da Espanha, nem a correção local para o parâmetro α em função da temperatura, foi suficiente para melhorar a acurácia do método *PT*. Pelo gráfico da Figura 11(b) e pela Tabela 6, observa-se que *PT* subestimou em aproximadamente 14% a ET_0 calculada por *PMFAO56*.

Entre os métodos originais baseados principalmente na temperatura do ar (*HS*, *CAM* e *THW*) o *HS* foi o que teve melhor desempenho geral (Tabela 6 e Figura 11c) apresentando a maior acurácia e os menores erros. Os três modelos apresentaram valores de R^2 abaixo de 0,4, indicando precisão muito baixa desses métodos para estimativas diárias de ET_0 em condições de clima seco. *HS* superestimou *PMFAO56* em cerca de 6% e *THW* subestimou em cerca de 17%. O modelo *CAM* também subestimou *PMFAO56*, em aproximadamente 47%, sendo, entre todos os modelos testados, o de pior desempenho geral (Tabela 6 e Figuras 11 a, b, c e d).

De um modo geral, esses modelos têm melhor desempenho quando são considerados valores médios de períodos mais longos do que um dia, geralmente de uma semana a um mês (PEREIRA et al., 1994; BERENGENA & GAVILÁN, 2005).

Os modelos baseados no método *THW* (Tabela 6 e Figura 13), com substituição da temperatura média pela temperatura efetiva do ar (*THW2*(0,69); *THW2*(0,72), *THW3*(0,69) e *THW3*(0,72)) acrescentaram pequena melhora no desempenho geral desse método, principalmente devido à diminuição nos valores dos índices relativos à variância dos dados, RMSE e MAPE. A acurácia dos métodos melhorou, indo de 0,54 no *THW* para 0,77 no *THW3*(0,72), passando por 0,67 (*THW2*(0,69)), 0,64 (*THW2*(0,72)) e 0,73 *THW3*(0,72). Verifica-se com isso, que os métodos em que a temperatura efetiva foi corrigida pela duração do fotoperíodo, (*THW3*), tiveram desempenho geral ligeiramente superior àqueles em que a temperatura efetiva não considerou a variação fotoperiódica (*THW2*). Usar valor 0,69 ou 0,72 para o fator K, dentro de cada variação do método, praticamente não acrescentou melhora no desempenho geral desses métodos.

O método *THW* subestimou a ET_0 por *PMFAO56* em cerca de 17% (Tabela 6) e produziu uma nuvem de pontos deslocados da reta 1:1 (Figura 13a), com a maioria dos pontos acima dessa reta. Um efeito claro da aplicação da temperatura efetiva no lugar da temperatura média é o deslocamento da nuvem de pontos para a reta 1:1, e com maior simetria de distribuição dos pontos em torno dessa reta (Figura 13-b, c, d, e). Nesse sentido, o modelo *THW3*(0,72) (Figura 13e) é o que tem a melhor simetria de distribuição, com subestimativa da ET_0 de apenas 1,4%, e o *THW3*(0,69) (Figura 13d) é a de maior assimetria com subestimativa de 6,5%. Dos modelos *THW2*, o com K=0,69 subestimou em 1,7% a ET_0 , enquanto que o modelo com K=0,72 superestimou a ET_0 em 2,5%, sendo o único a inverter a tendência clássica de subestimativa do modelo *THW* em relação ao *PMFAO56*.

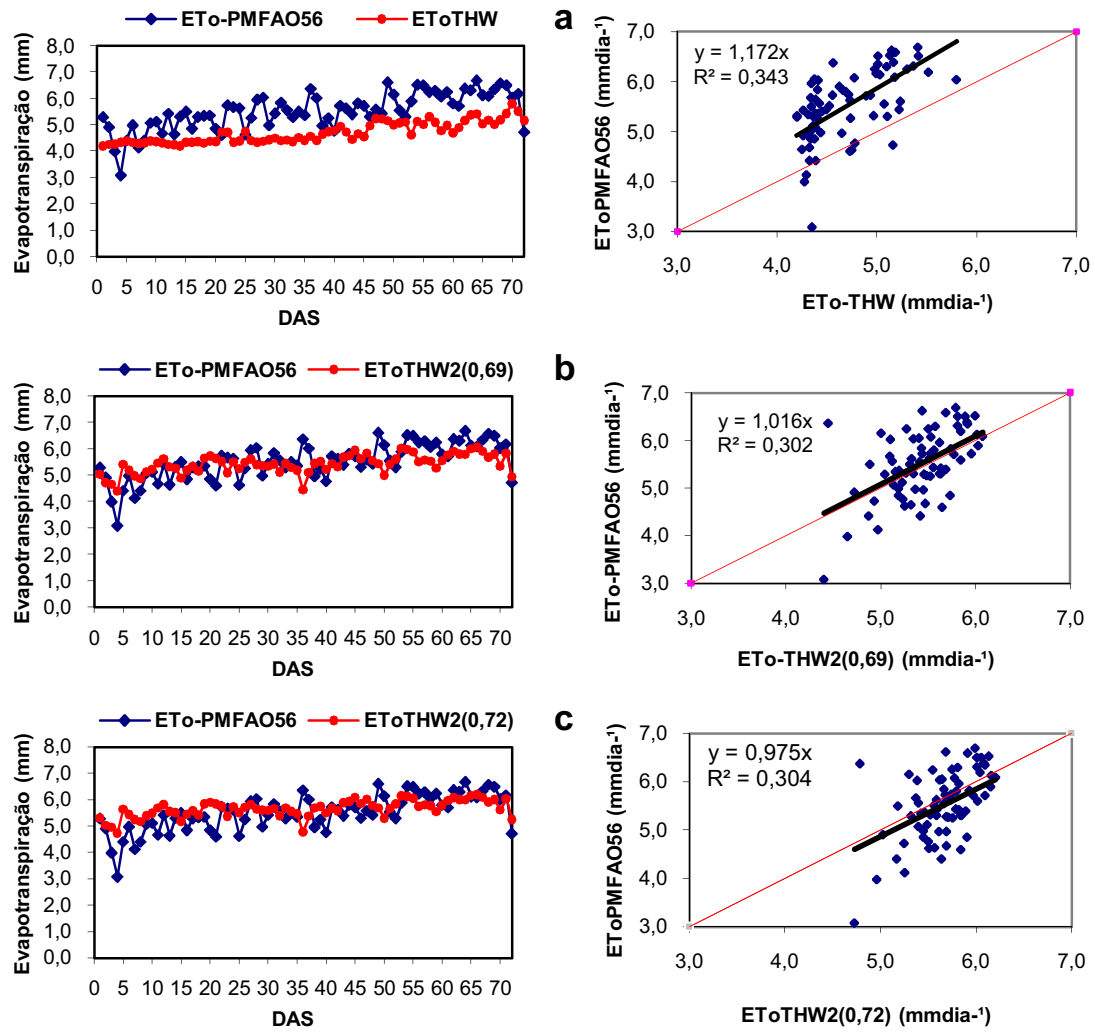


Figura 13. Comparação entre a $ET_{0PMFAO56}$ e as ET_0 estimadas com os métodos baseados no modelo de Thornthwaite (*THW*).

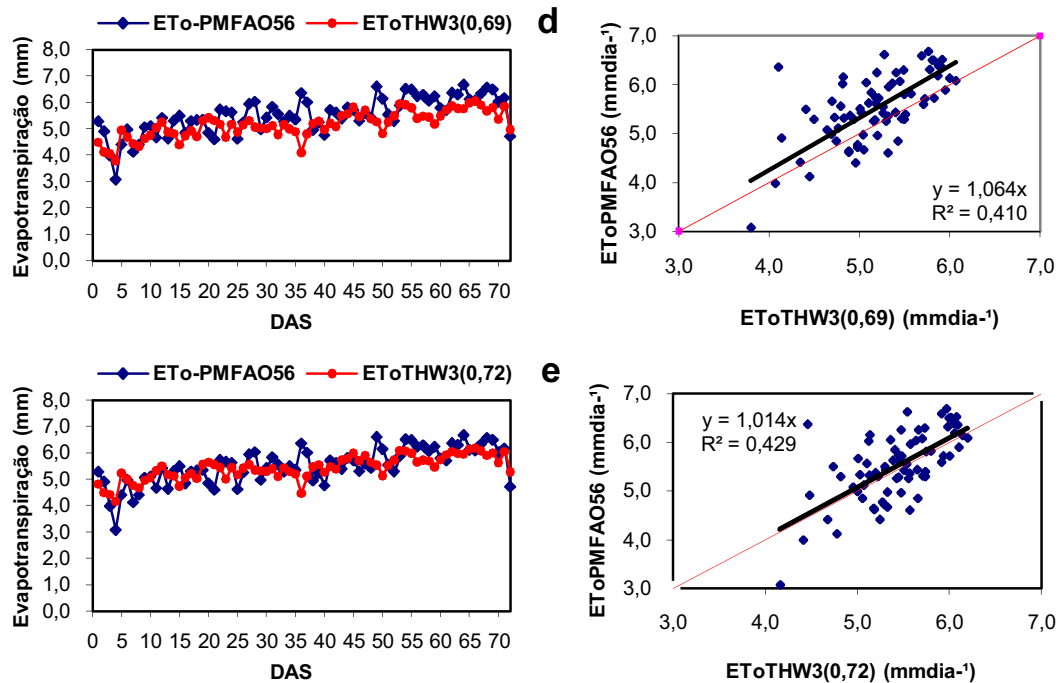


Figura 13 (Continuação): Comparação entre a $ET_{oPMFAO56}$ e as ET_o estimadas com os métodos baseados no modelo de Thornthwaite (THW).

4.3. Evapotranspiração da cultura (ET_c)

A contabilização da ET_c foi determinada pela perda de água no sistema, realizando-se a média das leituras de três lisímetros, ocorrida das 6 às 18 horas (Figura 14). Observa-se por essa figura que durante o período noturno até as 6 horas da manhã que a quantidade de água saída do sistema é pequena, devido ao saldo de radiação ser negativo e, representar o principal elemento meteorológico que participa do processo evapotranspirativo.

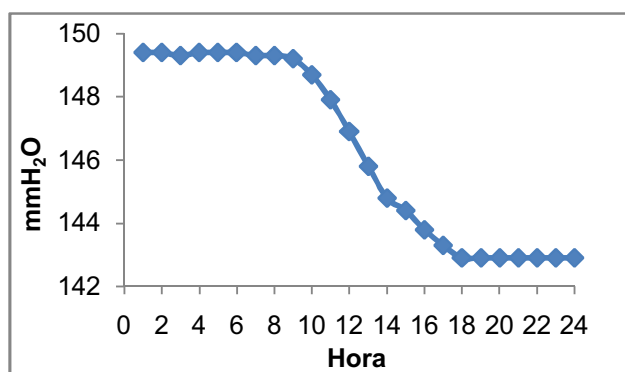


Figura 14: curva de lisímetro representando a perda de água do sistema no dia 235.

A evapotranspiração da cultura, obtida com a média das leituras de três lisímetros, para fim da determinação dos coeficientes de cultura, deve ser a máxima em todas as fases do desenvolvimento da cultura. Para isso, o conteúdo de água no solo da região radicular das plantas deve ser mantido em níveis que não restrinjam a evapotranspiração por deficiência hídrica no solo. Nesse contexto as Figuras 15, 16 e 17 mostram, respectivamente, a variação do armazenamento de água no solo para os primeiros 22 dias referentes ao estágio inicial (I), considerando a profundidade do sistema radicular nesse período, de 0,10 m (Figura 15); para os 27 dias referentes ao estágio de crescimento (II), considerando a profundidade do sistema radicular de 0,20 m (Figura 16) e para o estágio intermediário (III), considerando a profundidade do sistema radicular de 0,30 m (Figura 17).

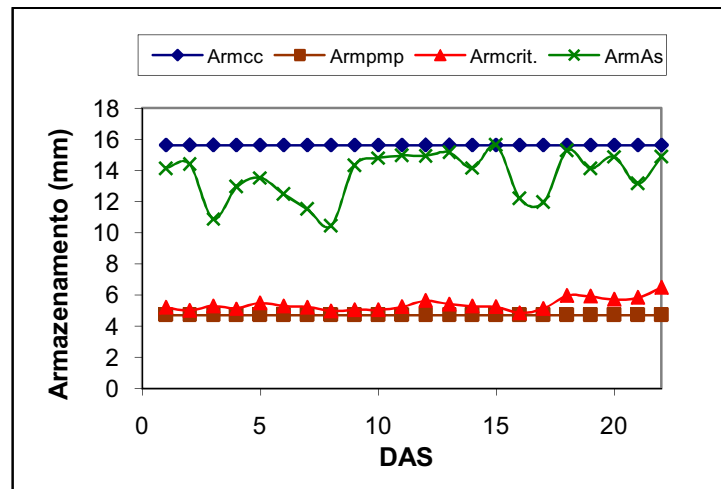


Figura 15. Variação do armazenamento (ArmAs) de água na camada de solo de 0 m a 0,10 m de profundidade até os 22 dias após a semeadura (DAS).

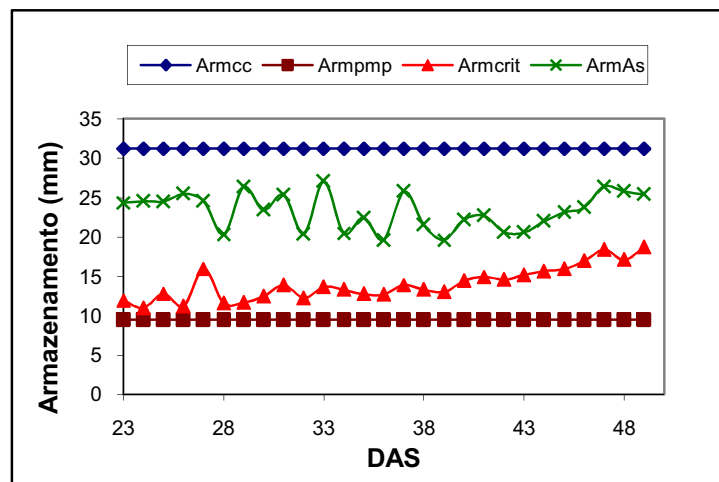


Figura 16: Variação do armazenamento (ArmAs) de água na profundidade de 0 m a 0,20 m de profundidade, dos 23 aos 49 dias após a semeadura (DAS).

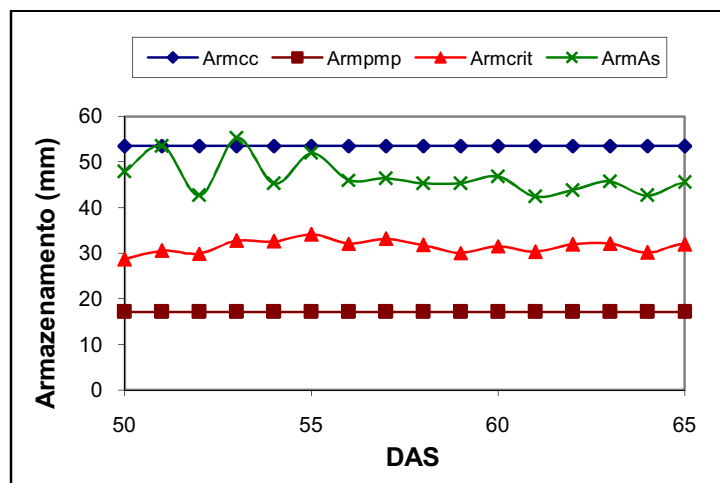


Figura 17: Variação do armazenamento (ArmAs) de água no solo, na profundidade de 0 m a 0,30 m dos 50 aos 65 dias após a semeadura (DAS).

O armazenamento de água no solo na zona radicular da cultura até 30 cm de profundidade, no interior do volume de solo molhado pela irrigação por gotejamento, em nenhum instante atingiu ou ultrapassou o armazenamento crítico de água no solo (Armcrit). Isso implica que a frequência de irrigação e o volume de água aplicado por irrigação foram suficientes para manter o conteúdo de água no solo da zona radicular sempre em condição de manter a máxima taxa de evapotranspiração.

Na área experimental, aos 24 dias após a semeadura, a área de solo seco na superfície e não coberto pelas plantas era grande dentro e fora dos lisímetros (Figuras 18 e 19). Nesse caso, provavelmente, grande parte da energia solar incidente sobre essas áreas secas foi utilizada apenas para aquecer o solo e o ar em contato com esse, uma vez que, por estarem já a pelos menos 24 dias sem receber água por chuva ou irrigação, a evaporação da camada superficial do solo dessas áreas era, provavelmente, mínima ou inexistente. Isso favoreceu a geração de microadvecção de calor sensível dentro da própria área irrigada, das áreas secas para as mais frias e úmidas (plantas e áreas de solo umedecidas pelos gotejadores) em função do gradiente de calor sensível estabelecido entre essas áreas.

Apesar disso, a ET_c ainda se manteve menor que a ET_0 (Figura 20) nos primeiros 24 dias após a semeadura, isso por que a área foliar da cultura ainda era

muito pequena gerando uma cobertura do solo pela folhagem, em torno de apenas 3%, conjugado com a pequena área molhada por gotejador, cujo diâmetro médio do bulbo molhado, na superfície do solo, alcançou nessa época cerca de 37 cm no interior dos lisímetros e nas áreas de bordadura. Essa pequena área para evaporação era efetivamente mais reduzida ainda uma vez que parte dessa área dos gotejadores que estavam junto às plantas, estava coberta pela folhagem das plantas, portanto, não recebendo radiação solar diretamente. Este conjunto (pequena área foliar e pequena área umedecida efetivamente exposta à radiação solar e ao vento) propiciou, provavelmente, taxas de evaporação e de transpiração que somadas resultaram em valores de ET_c inferiores aos das taxas de ET_0 (Figura 20).

Quanto maior a camada superficial seca do solo e mais e menor o conteúdo de água dessa camada, menor é a taxa de evaporação através da superfície do solo. Essa redução da taxa evaporatória é causada pelo forte aumento da resistência à difusão de vapor d'água das camadas mais profundas para a superfície do solo e desta para a atmosfera. A manutenção da camada mais superficial do solo com umidade fornecida pelas camadas mais profundas depende, principalmente da condutividade hidráulica do solo em condições não saturadas, a qual diminui exponencialmente com o decréscimo do teor de água no solo. (PREVEDELLO, 1996; REICHARDT & TIMM, 2004a e b; LIBARDI, 2005, ALLEN et al., 2006).



Figura 18. Área experimental com melanciaira, mostrando a ausência de bordadura, dentro da própria parcela irrigada, aos 24 dias após a semeadura cobertura do solo de 3,37%.



Figura 19. Melancia aos 24 dias após o plantio cobrindo aproximadamente 3,37% da superfície do lisímetro

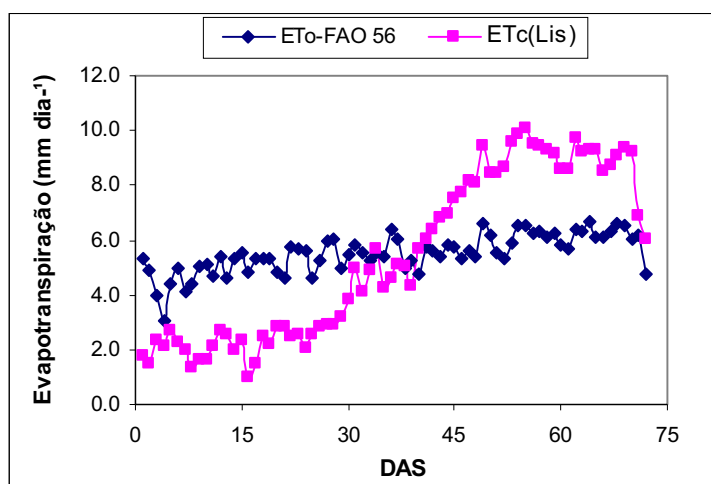


Figura 20. Evapotranspiração de referência diária $ET_{0PMFAO56}$ e evapotranspiração média diária da cultura medida nos lisímetros (ET_{cLis}).

A partir dos quarenta dias após a semeadura (Figura 20), a evapotranspiração da cultura (ET_{cLis}) passa a superar a evapotranspiração de referência ($ET_{0PMFAO56}$). A cobertura do solo pelas plantas na bordadura, aos trinta e sete dias, e nos lisímetros aos quarenta e cinco dias após a semeadura, foi de 34% e 57%, respectivamente (Figuras 21 e 22), evidenciando que o processo transpiratório passou a ser preponderante ao da evaporação para a composição da ET_c . Depois dos 40 DAS as

características aerodinâmicas da cultura, como altura e arquitetura foliar, adicionadas à advecção de calor sensível das áreas adjacentes à área experimental, mais secas e mais aquecidas que esta (efeito oasis), propiciaram que os valores de ET_c superassem exageradamente os de ET_0

Considerando que a área experimental era cercada por áreas adjacentes áridas e secas e totalmente desprovidas de vegetação, e que essa situação era a predominante na região, pode-se dizer que as áreas de bordadura da cultura em torno dos lisímetros não foram suficientes para funcionarem como áreas tampão que minimizassem os efeitos advectivos de calor sensível.

Embora a superação da ET_0 pela ET_c tenha acontecido somente por volta dos 40 DAS, os efeitos da advecção se intensificaram depois dos 20 DAS. A partir daí, na maioria dos dias, os valores do índice de advecção (IA) (Figura 23) se mantiveram acima de 1,0.

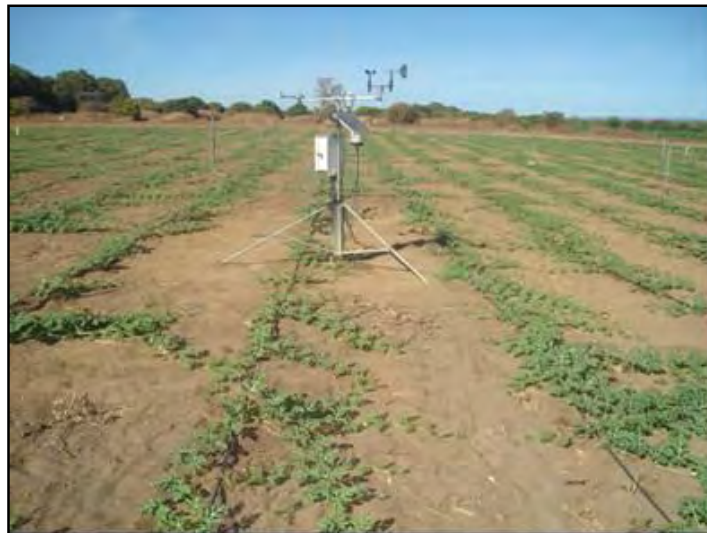


Figura 21. Área experimental com melanciaira mostrando a porcentagem de área de solo seco em relação à área coberta pelas plantas que era de cerca de 34% aos 37 dias após a semeadura.



Figura 22. Melancia aos 45 dias após a semeadura cobrindo cerca de 57% da superfície do lisímetro

Anteriormente aos 20-25 DAS, poucos dias se apresentaram com IA acima de 1,0, ou seja, dias com advecção característica. Apesar da frequência de irrigação ter sido diária para manter as plantas sem déficit hídrico na zona radicular, a baixíssima relação entre área úmida (cobertura foliar e área umedecida pela irrigação) e área seca não irrigada e exposta completamente à radiação solar e vento (área não irrigada e não coberta pela cultura), o somatório dos componentes transpiração da planta e evaporação do solo, resultaram em valores de ET_c menores do que os de ET_o (Figura 20) conforme já discutido.

ALVES et al. (1998), trabalhando em condições de semi-árido no nordeste brasileiro, com a cultura do melão irrigada por gotejamento, registraram que 138 % da energia disponível foram utilizados na evapotranspiração. Comentam ainda que, a advecção de calor sensível ou latente constitui-se em fonte adicional de energia para o processo de evapotranspiração e aquecimento ou resfriamento do ar e, que na prática, isto ocorre quando a energia utilizada na evapotranspiração supera o saldo de radiação.

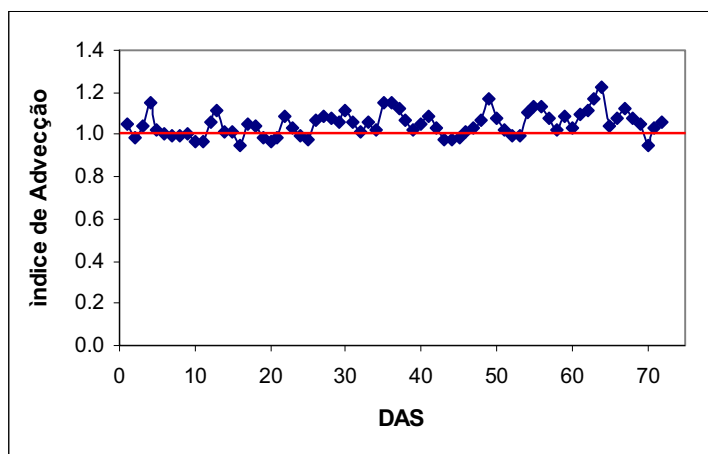


Figura 23: Variação do índice de advecção durante o desenvolvimento da cultura da melancia.

A quantidade total de água consumida pela cultura (ET_{cLis}) foi de aproximadamente 381 mm (Tabela 7), correspondendo a um volume de $3.816 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, e a lâmina total de irrigação aplicada, durante o ciclo de 72 dias, foi de 393,92 mm (Tabela 7).

O curto ciclo da cultura, de apenas 72 dias (Tabela 7), justifica o consumo menor que o relatado por DOORENBOS & KASSAN (1994), de 400 a 600 mm para o período total de crescimento da cultura de 100 dias. BEZERRA et al. (1999) registraram lâmina total de irrigação 335,2 mm para um ciclo da cultura de 65 dias.

O pico da demanda hídrica ocorreu no estágio intermediário (III) e foi de $9,21 \text{ mm dia}^{-1}$ (Tabela 7). Os valores de ET_c foram elevados (acima de $5,0 \text{ mm dia}^{-1}$), na maior parte do ciclo da cultura (estádios de crescimento, intermediário e final) (Figura 20 e Tabela 7) evidenciando que à medida que a cobertura da folhagem da planta aumentava sobre as áreas de solo umedecido pela irrigação, diminuindo a evaporação nessas áreas, e sobre as áreas de solo seco não umedecidos e anteriormente expostos diretamente à radiação solar e ao vento, a área efetiva para a transpiração na área cultivada aumentou a área de superfície mais fria na área experimental, aumentando o gradiente de calor sensível entre a área experimental (mais úmida e mais fria) e as áreas mais secas ao redor da área experimental (mais secas e mais quentes). Isso faz com que o taxa de fluxo horizontal de calor sensível das áreas adjacentes para a área

cultivada aumente, causando acréscimo da energia total disponível para a evapotranspiração nessa área. (CHANY, 1968, citado por VAREJÃO SILVA, 2006; MATZENAUER, 1992; BERENGENA et al., 2005). Valor máximo de ET_c para a melancia irrigada por gotejamento, de $9,0 \text{ mm dia}^{-1}$, foi obtido por SILVA et al. (2007).

Tabela 7. Divisão e duração dos estádios de desenvolvimento da cultura, valores de lâmina aplicada (LI), evapotranspiração da cultura (ET_{cLis} e $ET_{cmédia}$) e evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith ($ET_{0PMFAO56}$) para cada estágio da cultura.

Estádio de desenvolvimento da cultura	Duração (dias)	LI (mm)	ET_{cLis} (mm)	$ET_{cmédia}$ (mm dia^{-1})	$ET_{0PMFAO56}$ (mm)
I. Inicial	22	49,35	46,26	2,10	106,98
II. Crescimento	27	149,86	139,43	5,16	149,76
II. Intermediário	16	156,74	147,33	9,21	97,82
IV. Final	7	37,98	48,60	6,94	42,48
Total	72	393,92	381,62		397,05

4.4. Índice de cobertura do solo pela planta (IC)

Os índices de cobertura do solo pela planta, dentro e fora dos lisímetros, foram praticamente idênticos (Figura 24), o que evidencia a similaridade no desenvolvimento da cultura dentro e fora dos lisímetros, o que garante que as medidas da ET_c e, conseqüentemente, a obtenção dos valores de K_c , são representativos das condições reais de uma área com características aerodinâmicas uniformes, conforme preconizam ALLEN et al. (2006).

Até os 22 DAS, a cobertura do solo pela cultura era muito pequena, traduzindo-se em índices de cobertura do solo (IC) insignificantes. A partir daí, com o crescimento mais acelerado da cultura, a taxa de acréscimo da cobertura foi incrementando de forma mais significativa, evidenciado pela acentuada inclinação da curva de IC, principalmente após os 35 DAS, aproximadamente, até por volta de 55 DAS, quando

atinge cerca de 80%. Daí até os 70 DAS a taxa de crescimento do IC vai diminuindo, atingindo o patamar de cerca de 95% por volta dos 63 DAS.

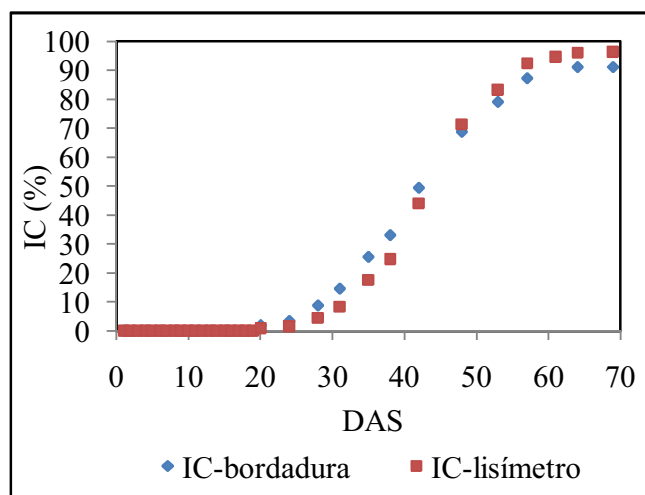


Figura 24. Índice de cobertura do solo pela cultura nos lisímetros (IC-lisímetro) e nas bordaduras (IC-bordadura).

4.5. Coeficiente de cultura

4.5.1. Coeficientes de cultura determinados com o método *PMFAO56*

Os coeficientes de cultura (K_c) determinados pelo método *PMFAO56*, são apresentados por fases de desenvolvimento da cultura, cujos valores médios de K_c obtidos com os valores de ET_c de três lisímetros foram de 0,44 (inicial), 1,51(intermediária) e 1,28 (final). Esses valores são praticamente idênticos aos valores de K_c obtidos com o método *PMASCE* (Tabela 8), uma vez que os valores de ET_0 estimados por esses dois métodos foram muito próximos, conforme já foi discutido (Tabelas 5 e 6; Figura 12a).

Os valores recomendados por DOORENBOS & KASSAM (1994), no boletim FAO-33, para as mesmas fases (I, III e final - colheita), variam de 0,4 a 0,5; de 0,95 a 1,05 e de 0,65 a 0,75. ALLEN et al. (2006), no boletim FAO-56, recomendam os valores

0,4, 1,0 e 0,75, que são, aproximadamente, a média dos recomendados no boletim FAO-33 para cada fase. Porém, estes são para as seguintes condições padrões: clima sub-úmido, umidade relativa mínima de 45%, ventos moderados em torno de 2 m s^{-1} e altura máxima da cultura apresentada na tabela de K_c simples desse boletim. Como os valores das fases intermediária e de colheita (final) são maiores do que 0,45, os valores diários de K_c dessas fases, nos dias em que as condições ambientais foram diferentes das condições padrões relatadas, foram corrigidos conforme metodologia proposta no boletim FAO-56, e os valores médios desses períodos são os apresentados na Tabela 8 (K_{CFAO56}).

Tabela 8. Valores médios de K_c da melanciaira por fases de desenvolvimento, obtidos com os métodos *PMFAO56* ($K_{CPMFAO56}$), *PMASCE* ($K_{CPMASCE}$) e os do boletim 56 da FAO (K_{CFAO56}).

Estádios de desenvolvimento	$K_{CPMFAO56}$	$K_{CPMASCE}$	K_{CFAO56}
I. Inicial	0,44	0,44	0,40
III. Intermediário	1,51	1,52	1,05
IV. Final	1,28	1,29	0,78

Os valores de K_c da melanciaira encontrados por BEZERRA et al, (1999) para os três estádios foram 0,32; 1,27 e 1,18, respectivamente, valores esses praticamente intermediários entre os obtidos neste experimento (K_{CPMFAO} e $K_{CPMASCE}$) e os do boletim 56 da FAO (K_{CFAO56}).

Os valores de K_c , no período intermediário do ciclo, dos modelos *PMFAO56* e *PMASCE* (1,51 e 1,52, respectivamente) foram cerca de 50% maiores do que o do K_c do boletim FAO-56 (K_{CFAO56}). Isso evidencia as condições advectivas ocorridas durante o período experimental pois, de acordo com ALLEN et al. (2006), sob condições de oásis, o valor máximo de K_c pode exceder o limite de 1,4; ou poderá exceder em 100% ou mais o K_c obtido com a grama de referência, podendo chegar a 2,5, em área irrigada circundada por áreas secas. O K_c final, determinado pelo método *PMFAO56*, foi 1,28

contra 0,78 do K_{CFAO56} . Essa diferença pode ser devido à advecção já comentada adicionado ao fato de a cultura ter sido irrigada até dois dias antes de se efetuar a colheita, mantendo a planta com sua área foliar máxima ativa, sem demonstrar senescência, e, portanto, mantendo taxas elevadas de evapotranspiração.

Analisando-se a evolução da curva do K_c (Figura 25), verifica-se que no período de 0 a 22 DAS os valores de K_c foram baixos e variaram em torno de um plano paralelo ao do eixo horizontal seguindo os muito baixos índices de cobertura do solo pelas plantas (IC) nesse período. A partir dos 49 DAS e até os 65 DAS, os valores foram os máximos e variaram também em torno de um patamar horizontal em que os valores de IC variaram de cerca de 80% a até cerca de 95%.

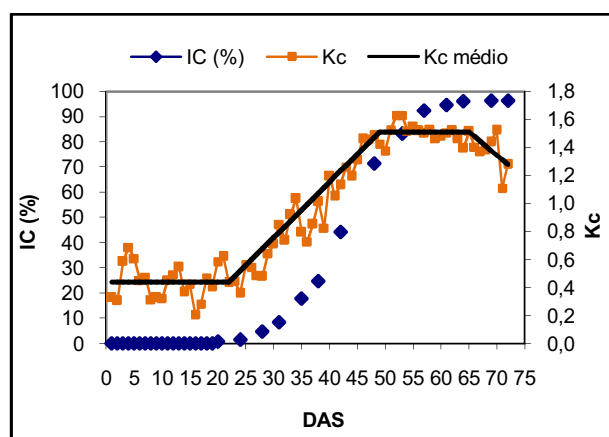


Figura 25: Representação gráfica da variação diária do coeficiente de cultura (K_c), da curva simplificada do coeficiente de cultura ($K_{cmédio}$) e índice de cobertura do solo (IC %), durante os 72 dias do ciclo da melancia.

O crescimento acelerado dos valores de $K_{CPMFAO56}$ durante a fase de crescimento vegetativo mais intenso (estádio II) que ocorreu do 23º ao 49º DAS pode ser determinado pela equação de regressão $K_{CPMFAO56} = -0,4318 + 0,0396DAS$ que representa a reta que liga o final do patamar do K_c médio constante do período inicial (I) com o início do patamar de valor constante do estágio intermediário (III). Da mesma forma, a reta que representa o decréscimo do K_c desde o final do período III até a colheita final no estágio IV, que ocorreu do 66º ao 72º DAS, pode ser representada pela equação $K_{CPMFAO56} = 3,6457 - 0,0328DAS$ (Figura 25).

GAVILÁN & BERENGENA. (2004), LOPÉZ-URREA et al. (2006) e BERENGENA & GAVILÁN (2008) confirmaram que o modelo *PMFAO56* subestima a ET_0 em clima semi-árido e em condições de alta demanda evaporativa. Como este experimento foi realizado em condições semelhantes a estas, pode-se inferir que houve aumento da ET_c , devido a contribuição do transporte horizontal de calor sensível das áreas do entorno, e com isso a relação ET_c/ET_0 , produziu maiores valores de K_c , em relação aos indicados no boletim FAO-56. Isto não ocorreria se a ET_0 em vez de ter sido estimada, fosse medida em lisímetros com grama, sob as mesmas condições advectivas a que a cultura foi submetida.

4.5.2. Coeficientes de cultura determinados com os demais métodos e comparados com o PMFAO56.

A curva da variação diária e a curva simplificada de K_c obtidas com o método *PMFAO56* comparadas com as curvas diárias e as curvas simplificadas obtidas com os demais métodos estão apresentadas nas Figura 26. Não foi feita a comparação das curvas de K_c do *PMFAO56* com as do *PMASCE* tendo em vista a excelente concordância entre esses dois métodos ($d=1,0$ – Tabela 6) para a estimativa da ET_0 (Tabela 6 e Figura 12a), o que, evidentemente, resulta em curvas concordantes de K_c .

Os modelos que produziram valores médios de K_c superestimados em relação ao *PMFAO56*, nos três estádios principais (inicial (I), intermediário (III) e colheita – final (IV)), foram, em ordem decrescente, *CAM*, *THW* e *PT* (Figura 26 c; d; a, respectivamente, e Tabela 9), evidenciando que esses métodos subestimaram claramente os valores de ET_0 na maioria dos dias do ciclo da cultura, conforme já foi discutido (Tabela 6 e Figuras 12d, 13a e 12d, respectivamente), notadamente o *CAM*. No estágio I, o modelo *CAM* superestimou o valor médio de K_c obtido com *PMFAO56* em 47,7%, o *THW* em 9,1% e o *PT* em 13,6 %; no estágio III a superestimativa foi de 47,0% para o *CAM*, 21,1% para o *THW* e 15,2% para o *PT*; no estágio IV o *CAM* superestimou em 8,6%, o *THW* subestimou em 8,6% e o *PT* superestimou em 11,7%,

lembrando que o valor de K_c desse último estágio é o de apenas um dia, o da colheita, o qual, para a curva simplificada de K_c (coluna do lado direito da Figura 26) determina a inclinação da reta de decréscimo dos valores de K_c a partir do final do estágio III, enquanto que os valores de K_c dos estádios I e III são médios de um período e definem a inclinação da reta de valores crescentes de K_c durante o estágio II (desenvolvimento) da curva simplificada de K_c . Esses três estádios (I, II e III) são os mais importantes por definirem a estimativa da necessidade de água da cultura durante as fases em que, principalmente em regiões semi-áridas, a irrigação é fundamental para o desenvolvimento e boa produtividade da cultura e o manejo da irrigação com valores de ET_c os mais próximos possíveis do real, resultarão em menor desperdício de água e em maior produtividade econômica da água aplicada, traduzida por menor unidade de volume de água aplicado por quilograma de fruto produzido.

O modelo HS foi o único que produziu valores médios de K_c subestimados em relação aos do *PMFAO56* nos três estádios (Figura 26b). Comparando-se os valores entre esses modelos, para cada estágio, as subestimativas foram de 9,1%, 4,6% e 14,8%, para os estádios I, III e IV, respectivamente.

Os modelos *THW* baseados na temperatura efetiva (*THW2*) e na temperatura efetiva corrigida em função da variação do fotoperíodo (*THW3*), ao melhorarem as estimativas de ET_0 em relação ao modelo *THW* original, produziram valores de K_c diários e médios de cada estágio, mais próximos aos produzidos com o *PMFAO56* (Figura 26 e; f; g; h). Isto se deu principalmente no estágio intermediário (III) em que as necessidades hídricas da cultura são mais acentuadas e, como consequência, os valores de K_c foram os mais elevados. Nesse estágio, os modelos *THW* com a temperatura efetiva diminuíram de 21,1% a superestimativa de K_c para 4,6% (*THW2*(0,69)), 4,0% (*THW2*(0,72)), 9,3% (*THW3*(0,69)) e 4,6% (*THW3*(0,72)), conforme se pode verificar da comparação dos valores médios de K_c desses modelos em comparação ao do *PMFAO56* (Tabela 9).

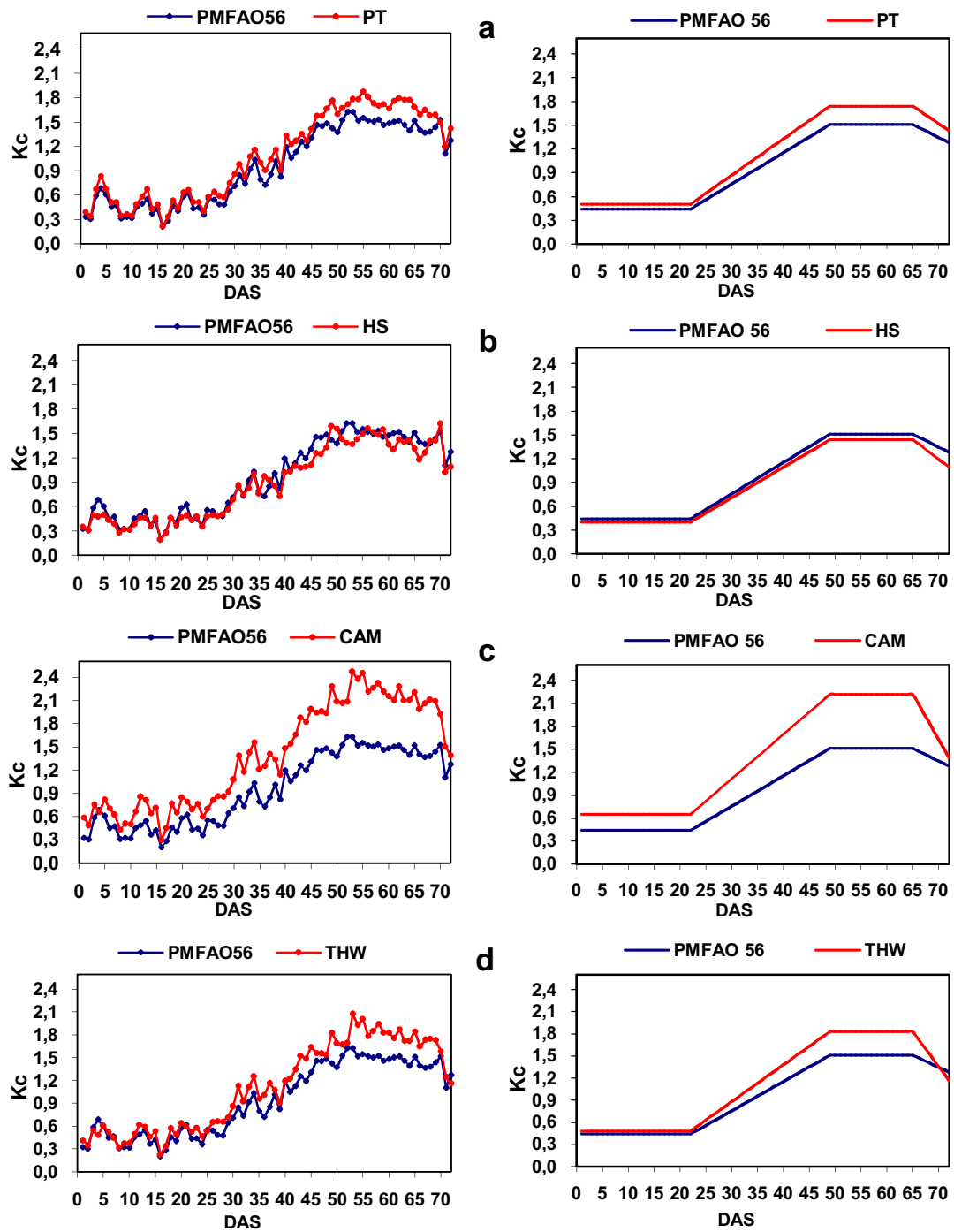


Figura 26. Curva com as variações diárias (coluna do lado esquerdo) e curva simplificada (coluna do lado direito) de K_c obtidas com o método PMFAO56 e comparadas com as curvas obtidas com demais métodos: (a) – PT; (b) – HS; (c) – CAM; (d) – THW;...

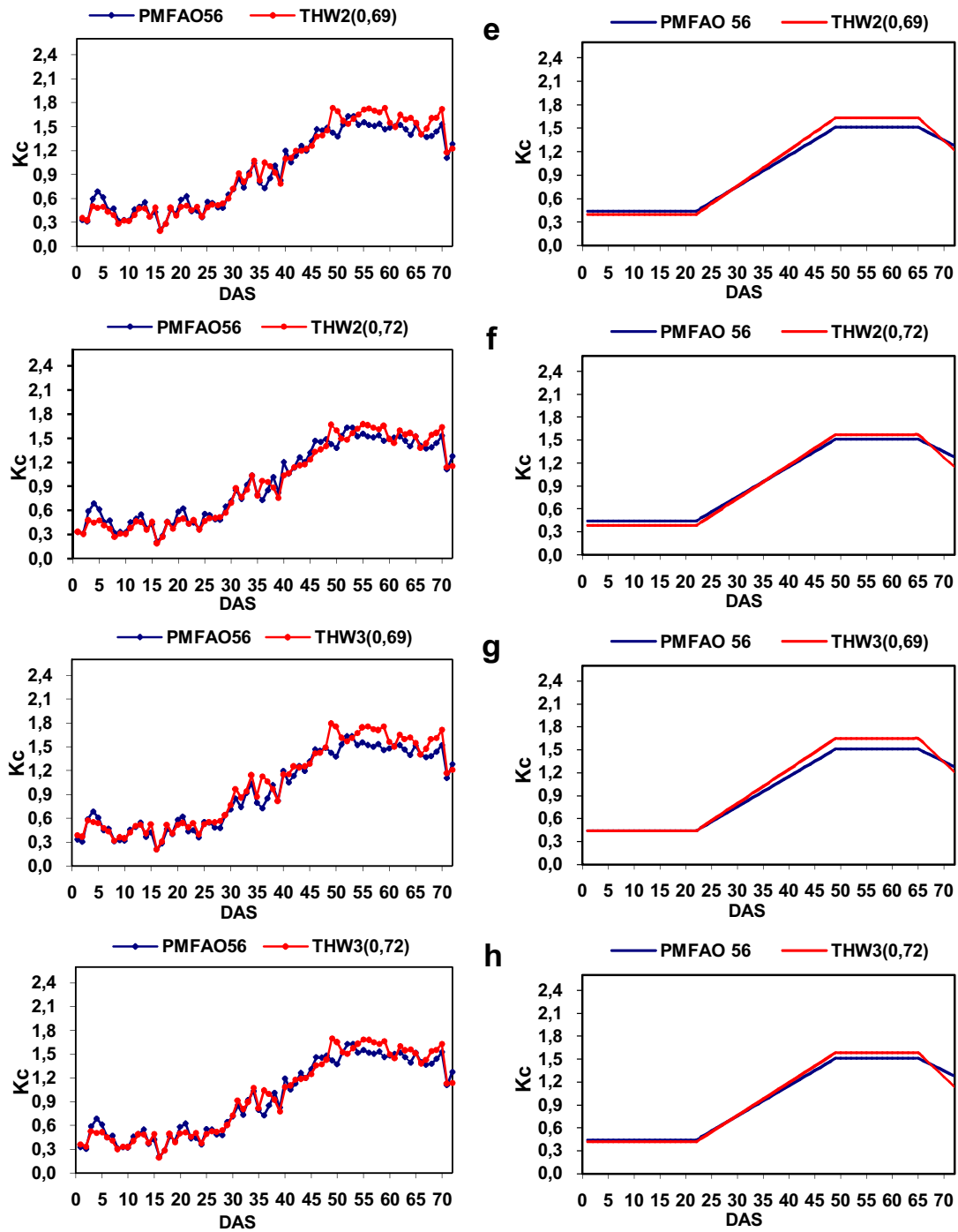


Figura 26. (Continuação): Curva das variações diárias de K_c (coluna do lado esquerdo) e curva simplificada (coluna do lado direito) obtidas com o método PMFAO56 e comparadas com as curvas obtidas com os demais métodos: ...; (e) – THW2(0,69); (f) – THW2(0,72); (g) – THW3(0,69); (h) – THW3(0,72).

Durante o estágio inicial (I), o modelo *THW* modificado que melhor estimou o K_c médio foi o *THW3(0,69)*, que produziu valor médio igual ao do *PMFAO56* (0,44 – Tabela 9). O modelo original produziu valor médio superior em 9,1% enquanto que os demais modelos modificados subestimaram o K_c desse período em 9,1%, 13,6% e 4,5% (*THW2(0,69)*, *THW2(0,72)* e *THW3(0,72)*, respectivamente).

Tabela 9. Valores médios de K_c para os estádios I (inicial), III (intermediário) e IV (final).

Estádios	K_c								
	<i>PMFAO56</i>	<i>PT</i>	<i>HS</i>	<i>CAM</i>	<i>THW</i>	<i>THW2(0,69)</i>	<i>THW2(0,72)</i>	<i>THW3(0,69)</i>	<i>THW3(0,72)</i>
I	0,44	0,50	0,40	0,65	0,48	0,40	0,38	0,44	0,42
III.	1,51	1,74	1,44	2,22	1,83	1,58	1,57	1,65	1,58
IV	1,28	1,43	1,09	1,39	1,17	1,22	1,15	1,21	1,14

Considerando o conjunto dos três estádios, *THW3(0,72)*, *THW2(0,69)*, *THW3(0,69)* e *THW2(0,62)* foram, nesta ordem, entre todos os métodos de estimativa de ET_0 , os que produziram valores médios de K_c por estágio mais próximos aos do *PMFAO56*, Depois seguem-se o *HS*, *THW* e, por último, o *CAM*.

4.6. Produtividade de frutos X lâmina total de irrigação aplicada (PFLIA)

A produtividade média alcançada foi de $56,95 \text{ t ha}^{-1}$, A eficiência de utilização da água para esse rendimento foi de $14,45 \text{ kg m}^{-3}$. Isso significa que foram necessários 1000 litros de água para produzir 14,45 kg de melancia.

Para DOORENBOS & KASSAN (1994), produtividades da ordem de 25 e 35 t ha^{-1} , em regiões de clima tropical, com alto nível de utilização de insumos agrícolas sob condições de agricultura irrigada, são consideradas boa em nível de comercialização. Comentam ainda que a eficiência de utilização da água pode variar de 5 a 8 kg m^{-3} .

SNIRVAS et al. (1988) utilizando irrigação por gotejamento, na cultura da melancia, com um emissor por planta e com um emissor por duas plantas, obtiveram eficiência de utilização da água de $9,6 \text{ kg m}^{-3}$ e $10,7 \text{ kg m}^{-3}$, respectivamente.

FREITAS et al. (1999) e ANDRADE JÚNIOR et al. (1997) obtiveram com a variedade Crimson Sweet, produtividades de $63,37 \text{ t ha}^{-1}$ e $65,4 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente.

O rendimento médio no Brasil é de $20,93 \text{ t ha}^{-1}$, no Nordeste $17,3 \text{ t ha}^{-1}$, no Piauí $24,5 \text{ t ha}^{-1}$ e no município de Alvorada do Gurguéia-PI de 30 t ha^{-1} (IBGE, 2008). Os percentuais médios de açúcar dos frutos colhidos, nos lisímetros e nas bordaduras, foram 11,97% e 12,24%, respectivamente. Estes valores elevados devem-se às condições quentes e secas que ocorreram durante o experimento e ao fornecimento adequado de água pelo sistema de irrigação. De acordo com DOORENBOS & KASSAN (1994), os frutos produzidos em condições quentes e secas tem elevado teor de açúcar, cerca de 11%, em comparação com os 8% daqueles produzidos em condições frias e úmidas.

Temperatura do ar e velocidade do vento elevadas, associadas à baixa umidade relativa do ar e ao manejo adequado da irrigação (Figuras 15, 16 e 17), como mostram as Figuras 9 (a; b; c) e 11 (a; b;c), proporcionaram condições ideais para boa produtividade da cultura comparada ao rendimento médio no Brasil e principalmente em Alvorada do Gurguéia-PI e, obtenção de frutos de ótima qualidade com teores médios de açúcar de 12%.

5. CONCLUSÕES

Diante os resultados obtidos em função das condições climáticas da região e da época em que o experimento foi desenvolvido no Vale do Rio Gurguéia, Piauí, as seguintes conclusões foram evidenciadas:

A evapotranspiração média da cultura medida, nos lisímetros, para as fases inicial, de crescimento, intermediária e final foram, respectivamente: 2,10 mm dia⁻¹, 5,16 mm dia⁻¹, 9,21 mm dia⁻¹ e 6,94 mm dia⁻¹;

Os valores do coeficiente de cultura determinados, utilizando-se a evapotranspiração média medida nos lisímetros e a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith FAO56, para os estádios inicial, intermediário e final foram, respectivamente: 0,44; 1,51 e 1,28;

As condições advectivas resultaram em valores de evapotranspiração da cultura (ET_c) muito elevados, o que resultou em valores de (K_c) superiores aos preconizados pela FAO no boletim 56 de irrigação e drenagem;

O método *PMASCE* apresentou excelente precisão e acurácia com o método *PMFAO56*;

Entre os métodos baseados na temperatura do ar, testados nas suas formulações originais, o que apresentou o melhor desempenho geral foi o de Hargreaves-Samani (*HS*);

No método de Thornthwaite, o de melhor desempenho geral foi o que considera a temperatura efetiva corrigida pelo fotoperíodo e o fator 0,72 ($THW3(0,72)$);

Não sendo possível a aplicação dos métodos *PMFAO56* ou *PMASCE* recomendamos para a região do Vale do Gurguéia e para a época em que o experimento foi desenvolvido, o método de Hargreaves-Samani (*HS*);

Independentemente do método utilizado para a estimativa de ET_0 , os valores de K_c devem ser regionalizados e para o método de ET_0 específico.

6. REFERÊNCIAS

- ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. **Lysimeters**. Rome: FAO, 1982. 68p. (Irrigation and Drainage Paper, 39).
- AGUIAR, R. B., GOMES, J. R.C. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea estado do Piauí: diagnóstico do município de Alvorada do Gurguéia. **Ministério de Minas e Energia**, Fortaleza:CPRM, 21 p., março/2004.
- ALLEN R. G.; PEREIRA L. S.; RAES D.; SMITH M.; **Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de água de los cultivos**. Roma: FAO, 2006. 298p. (Estudio FAO Riego y Drenaje , 56).
- ALMEIDA, D. P. F. **Melancia**. Faculdade de Ciências: Universidade do Porto, 2003.
- ALVES, A. V.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B. Balanço de energia e reflectância de um cultivo de melão. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 6(2):139-146, 1998.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RODRIGUES, B. H. N.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; MELO, F. B.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q. Produtividade e qualidade dos frutos de melancia em função de diferentes níveis de irrigação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.15, n.1, p. 43 – 46, 1997.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; DIAS, N. da S.; FIGUEIREDO JÚNIOR, L. G. M.; RIBEIRO, U. P.; SAMPAIO, D. B. Produção e qualidade de frutos de melancia à aplicação de nitrogênio via fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.4, Campina Grande, oct/dez. 2006.
- ARNOLD, C. Y. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system, **Journal of the Americam Society for Horticulture Science**, Alexandria , n.74, p. 430 – 445, 1959.

ASCE – American Society of Civil Engineers. **The ASCE standardized reference evapotranspiration equation**. ASCE, 2002. 54p. Draft.

BENLIN, B.; KODAL, S.; ILBEYI, A.; USTUN, H. Determination of evapotranspiration and basal crop coefficient of alfalfa with a weighing lysimeter. **Agricultural Water Management**. 81, p, 358-370, 2006.

BERENGENA, J.; GAVILÁN, P. Reference evapotranspiration estimation in highly advective semiarid environment. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 131, n. 2, 2008.

BEZERRA, F. M. L.; OLIVEIRA, C. H. C. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura nos estádios fenológicos da melancia irrigada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v.3, n.2, p, 173–177, 1999.

CAMARGO, A. P.; MARIN, F. R.; SENTELHAS, P. C.; PICINI, A. G. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e superúmidos, com base na amplitude térmica diária. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.2, p. 251 – 257, 1999.

CUENCA, R. H. **Irrigation System Design: An engineering approach**. New Jersey. 1989. 547 p.

DEHGHANISANIJ, H.; YAMAMOTO, T.; RASIAH, V, Assessment of evapotranspiration estimation models for use in semi- arid environments. **Agricultural Water Management**, 64, p, 91-106, 2004.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Estudos FAO- Irrigação e Drenagem, nº 33, p, 306, 1994, (Traduzido por Gheyi H, R, et al,- UFPB).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A. L. Irrigação. In: _____ **Produção de Feijão**. Guaíba: Agropecuária, 2000. cap. 4, p. 135–173.

FIGUEIRÊDO, V. B.; MEDEIROS, J. F.; ZOCOLER, J. L.; SOBRINHO, J. E. Evapotranspiração da cultura da melancia irrigada com água de diferentes salinidades. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.29, n.2, p.231-240, abr/jun. 2009.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliça. 3. Ed., Viçosa-MG, Ed. UFV, 2008, cap. 20, p. 342-348.

FREITAS, A. A.; BEZERRA, F. M. L.; FONTENELE, F. C. Determinação da evapotranspiração máxima e real e do fator de sensibilidade ao déficit hídrico da melancia em Canindé, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 3, p. 298–303, Campina Grande-UFPB, 1999.

GAVILÁN, P.; BERENGENA, J. Influencia de la advección de calor sensible em la precisión de los métodos de cálculo de la evapotranspiración de referencia en el valle del Guadalquivir. **Ingeneria del Agua**, v. 11, n. 1, 2004.

GAVILÁN, P.; LORITE, I. J.; TORNERO, S.; BERENGENA, J. Regional calibration of Hargreaves equation for estimating reference ET in a semiarid environment. **Agricultural Water Management**, 81, p, 257-281, 2006.

GAVILÁN, P.; BERENGENA, J.; ALLEN, R. G. Measuring versus estimating net radiation and soil heat flux: impact on Penman-Monteith reference ET estimates in semiarid regions. **Agricultural Water Management**. 89, p. 275 – 286, 2007.

GOMIDE, R. L.; ALBUQUERQUE, P. E. Agrometeorologia e otimização do uso da água na irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 29, n. 246, p. 72 – 85, 2008.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. Chicago, **Amer. Soc. Agric. Eng. Meeting**. (Paper 85 – 2517), 1985.

IBGE. Sistema IBGE de recuperação automática. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela>. Acesso em: 14 jan. 2010.

KASHYAP, P. S.; PANDA, R. K. Evaluation of evapotranspiration estimation methods and development of crop-coefficients for potato crop in a sub-humid region. **Agricultural Water Management**, 50. p. 9-25, 2001.

LIBARDI, P. L. Balanço hídrico. In: _____ **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005. p.261-273

LÓPEZ-URREA, R.; OLALLA, F. M. S.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M, Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. **Agricultural Water Management**, 85, p,15-26, 2006.

LOPEZ, R. J.; HERNÁNDEZ ABREU, J.M.; PÉREZ REGALADO, A.; GONZÁLEZ HERNÁNDEZ, J.F. **Riego localizado**. 2 ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1997. 405p.

MARQUELLI, W. A., SILVA, W. L. C., SILVA, H. R. Manejo da irrigação em hortaliças, 5. ed. Brasília: Embrapa-SPI, **Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças**, 1996, 72 p.

MATZENAUER, R. Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficientes de cultura. In: BERGAMASCHI, H. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1992, cap 3, p. 33 – 47.

MEDEIROS, A, T. **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba-CE**. 2002, 103 p, Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M. The influence of crop canopy on evapotranspiration and crop coefficient of beans (*Phaseolus vulgaris* L). **Agricultural Water Management**, 49, p, 211-224, 2001.

MIRANDA, F.R.; OLIVEIRA, J. J. G.; SOUZA, F. Evapotranspiração máxima e coeficientes de cultivo para a cultura da melancia irrigada por gotejamento. **Revista Ciência Agronômica**, V. 35, n.1, p,36-43, 2004.

MOTA, F. S. **Meteorologia agrícola**. 7ª edição. São Paulo: Livraria Nobel S.A., 1983. 376 p.

ONSINEJAD, R.; ABAK, K. Determination of a suitable formula for the calculation of sum growing degree days in watermelon (*Citullus Lanatus* (thunb,) Mansf.). **Acta Horticulturae** (492): 297 – 302, 1999,

PEREIRA, A. R., VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, B. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ,183 p. 1997.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Evapotranspiração. In: _____ **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**, Guaíba: Agropecuária, 2002, p. 213 – 245.

PEREIRA, A. R; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Temperatura como fator agrônômico. In: _____ **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**, Guaíba: Agropecuária, 2002, p, 331 – 338.

PEREIRA, A. R.; PRUIT, W. O. Adaptation of the Thornthwaite scheme for estimating daily reference evapotranspiration. **Agricultural Water Management**. 66, p. 251 – 257, 2004.

PREVEDELLO, C. L. Dinâmica da água no solo não saturado, In:_____ **Física do solo: com problemas resolvidos**. Universidade Federal do Paraná, 1996, p, 214 – 241.

REICHARDT, K; TIMM, L. C. Redistribuição da água no solo. In: _____ **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri-SP, Manole, 2004a, p.269-291.

REICHARDT, K; TIMM, L. C. Evaporação e evapotranspiração. In: _____ **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri-SP, Manole, 2004b, p.293-309.

RESENDE, G. M.; DIAS, R. C. S.; COSTA, N. D. Cultivo de melancia-Clima. **Embrapa semi-árido**. Sistema de produção, 4. Versão eletrônica, dez/2006.

SAN-JUAN, J. A. M. **Riego por Goteo: Teoría y práctica**. 3 ed, Madrid: Mundi- Prensa, p. 20, 1993.

SANTOS, F. J. S.; LIMA, R. N.; RODRIGUES, B. H. N.; CRISÓSTOMO, L. A.; SOUZA, F.; OLIVEIRA, J. J. G. **Manejo da irrigação da melancia: Uso do Tanque Classe “A”**. Embrapa; Fortaleza, CE, Dezembro, 2004.

SANTIAGO, A. V. **Evapotranspiração de referência medida por lisímetro de pesagem e estimada por Penman-Monteith (FAO-56), nas escalas mensal e decenal**. 2001, 37 f. Dissertação (Mestrado em Física do ambiente agrícola). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**. Raleigh, v. 30, n. 3, p. 507 – 512, 1974.

SNIRVAS, K., HEGDE, D. M., HAVANACI, G. V. Plant water relations, canopy temperature, yield and water-use efficiency of watermelon *Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum et Nakai under drip and furrow irrigation. **Division of soil science, Indian Institute of horticultural Research**, Hessaraghatta Lake, P.O., Bangalore, India, 1988.

VAREJÃO SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Brasília: INMET, Gráfica e Editora Stilo, p, 448-479,2006.

VENTURA, F., SPANO, D., DUCE, P., SNYDER, R. L. An evaluation of common evapotranspiration equations. **Irrigation Science**, v.18, p.163-170, 1999.

WILLMOT, C. J., ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**. v.90, s.n., p.8995 -9005, 1985.

ANEXO 1

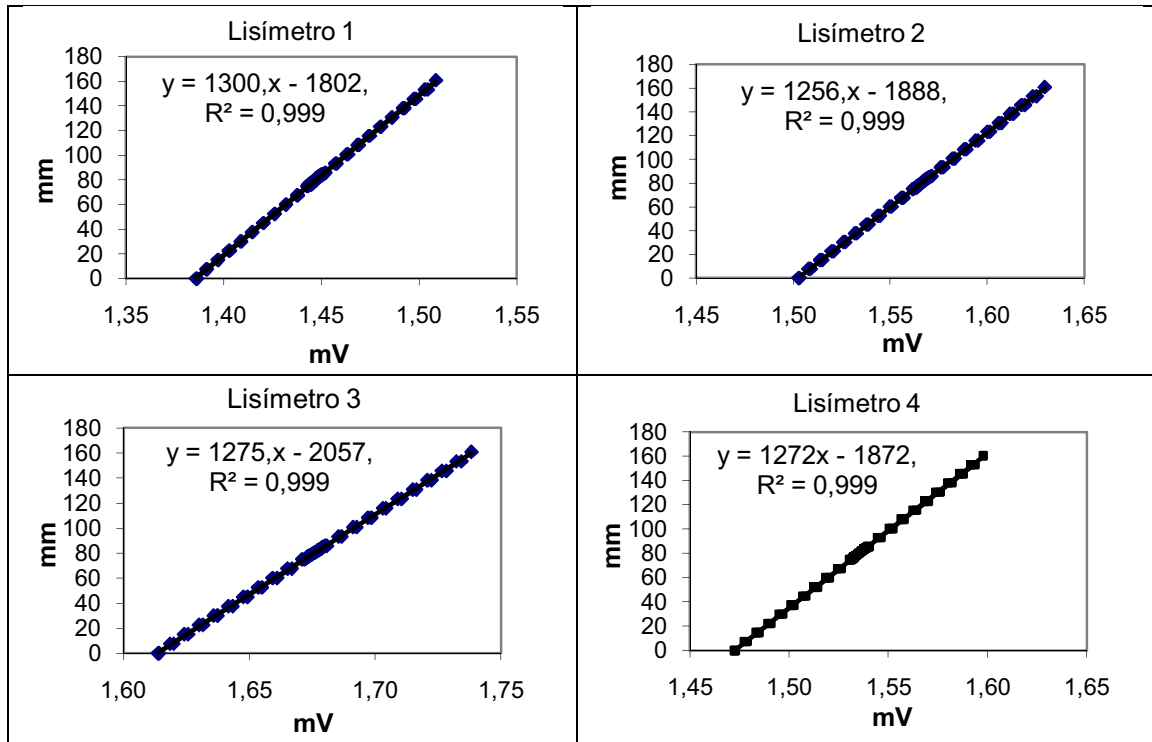


Figura I : curvas de calibração dos lisímetros

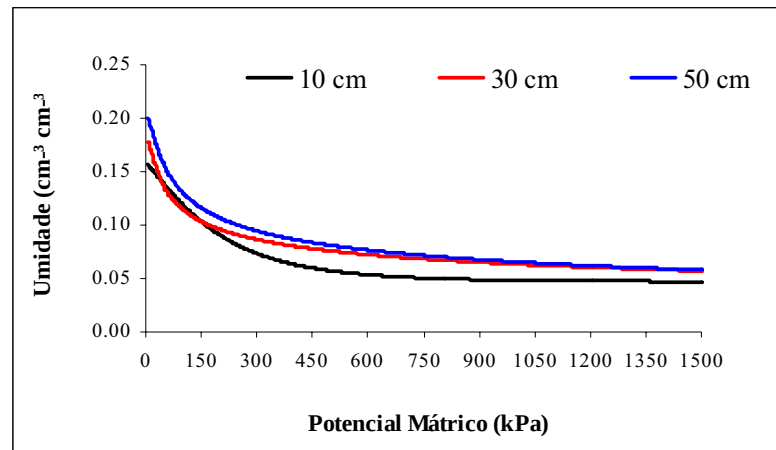


Figura II: Curvas de retenção de água no solo confeccionadas com amostras de solos retiradas nos lisímetros.

Tabela I: Parâmetros da equação de Van Genuchten referentes à curva de retenção de água no solo dos lisímetro

Parâmetros	10 cm	30 cm	50 cm
A	0,0012	0,0570	0,0406
M	5,4653	0,1120	0,1768
N	1,1795	2,3034	1,7239
Θ_r	0,047	0,000	0,000
Θ_s	0,158	0,180	0,203
$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$			
Θ_{cc}	0,1562	0,1784	0,200
θ_{pmp}	0,0473	0,0571	0,058
Mm			
Armcc	15,62	53,52	100,00
Armpmp	4,73	17,13	29,00

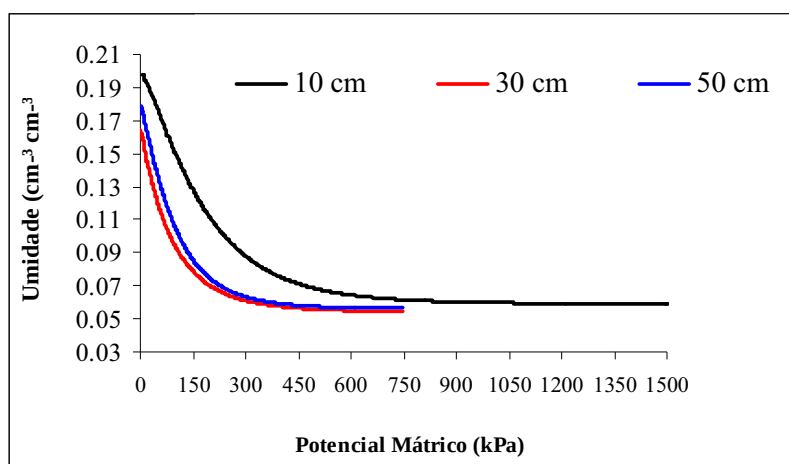


Figura III: Curvas de retenção de água no solo confeccionadas com amostras de solo retiradas da bordadura.

Tabela II: Parâmetros da equação de Van Genuchten referentes à curva de retenção do solo da área de bordadura,

Parâmetros	10 cm	30 cm	50 cm
A	0,0014	0,0011	0,0012
M	5,5353	5,5357	5,4625
N	1,2732	1,0440	1,1887
θ_r	0,054	0,049	0,051
θ_s	0,195	0,163	0,176
cm³ cm⁻³			
θ_{cc}	0,1932	0,1597	0,1741
θ_{pmp}	0,0541	0,0495	0,0513
Mm			
Armcc	19,32	47,91	87,05
Armpmp	5,41	14,85	25,65

ANEXO 2

Tabela III - Valores diários de evapotranspiração de referência (ET_o) estimados pelos métodos PMFAO56, PMASCE, Priestley-Taylor (PT), Hargreaves-Samani (HS) e Camargo (CAM) para o mês de julho de 2008.

Data	DAS (dias)	ET _o (mm dia ⁻¹)				
		PMFAO56	PMASCE	PT	HS	CAM
15-07	0	5,29	5,27	4,44	5,05	2,97
16-07	1	4,91	4,94	4,45	4,77	3,06
17-07	2	3,99	4,05	3,50	4,71	3,09
18-07	3	3,08	3,12	2,53	4,47	3,19
19-07	4	4,41	4,46	3,94	5,41	3,25
20-07	5	4,98	4,97	4,46	5,20	3,18
21-07	6	4,13	4,14	3,77	5,03	3,14
22-07	7	4,41	4,50	4,01	4,94	3,18
23-07	8	5,07	5,08	4,56	5,16	3,27
24-07	9	5,12	5,16	4,74	5,28	3,25
25-07	10	4,67	4,73	4,35	5,56	3,20
26-07	11	5,43	5,39	4,57	5,76	3,12
27-07	12	4,64	4,69	3,79	5,44	3,11
28-07	13	5,32	5,33	4,64	5,40	3,04
29-07	14	5,50	5,52	4,88	5,03	3,25
30-07	15	4,85	4,88	4,65	5,29	3,39
31-07	16	5,30	5,31	4,57	5,49	3,30

Tabela IV - Valores diários de evapotranspiração de referência (ET_o) estimados pelos métodos PMFAO56, PMASCE, Priestley-Taylor (PT), Hargreaves-Samani (HS) e Camargo (CAM) para o mês de agosto de 2008.

Data	DAS (dias)	ET _o (mm dia ⁻¹)				
		PMFAO56	PMASCE	PT	HS	CAM
01-08	17	5,34	5,34	4,59	5,33	3,23
02-08	18	5,36	5,38	4,90	5,88	3,33
03-08	19	4,85	4,89	4,51	6,01	3,33
04-08	20	4,60	4,56	4,31	5,87	3,61
05-08	21	5,74	5,72	4,86	5,72	3,61
06-08	22	5,67	5,67	4,93	5,34	3,30
07-08	23	5,63	5,64	5,07	5,79	3,37
08-08	24	4,62	4,68	4,40	5,42	3,66
09-08	25	5,26	5,26	4,51	5,76	3,51
10-08	26	5,96	5,90	4,94	5,97	3,34
11-08	27	6,05	5,99	5,02	5,72	3,39
12-08	28	4,98	5,00	4,30	5,68	3,48
13-08	29	5,43	5,39	4,48	5,64	3,59
14-08	30	5,84	5,78	5,04	5,77	3,56
15-08	31	5,56	5,58	4,97	5,47	3,49

Tabela V - Valores diários de evapotranspiração de referência (ET_o) estimados pelos métodos PMFAO56, PMASCE, Priestley-Taylor (PT), Hargreaves-Samani (HS) e Camargo (CAM) para o mês de agosto de 2008. (**Continuação**).

Data	DAS (dias)	ET _o (mm dia ⁻¹)				
		PMFAO56	PMASCE	PT	HS	CAM
16-08	32	5,28	5,34	4,51	5,86	3,42
17-08	33	5,50	5,50	4,91	5,65	3,65
18-08	34	5,37	5,26	4,26	5,59	3,51
19-08	35	6,37	6,24	5,11	4,78	3,69
20-08	36	6,02	5,95	4,92	5,50	3,63
21-08	37	4,97	4,92	4,34	5,87	3,75
22-08	38	5,26	5,25	4,77	5,97	3,80
23-08	39	4,77	4,80	4,26	5,61	3,84
24-08	40	5,72	5,71	4,91	5,85	3,93
25-08	41	5,62	5,60	5,03	5,77	3,83
26-08	42	5,40	5,44	5,01	6,30	3,62
27-08	43	5,82	5,82	5,46	6,36	3,82
28-08	44	5,72	5,74	5,28	6,74	3,78
29-08	45	5,31	5,36	4,91	6,19	4,00
30-08	46	5,59	5,69	5,15	6,51	4,16
31-08	47	5,43	5,51	4,83	6,05	4,16

Tabela VI - Valores diários de evapotranspiração de referência (ET_o) estimados pelos métodos PMFAO56, PMASCE, Priestley-Taylor (PT), Hargreaves-Samani (HS) e Camargo (CAM) para o mês de setembro de 2008.

Data	DAS (dias)	ET _o (mm dia ⁻¹)				
		PMFAO56	PMASCE	PT	HS	CAM
01-09	48	6,62	6,52	5,36	5,91	4,13
02-09	49	6,15	6,11	5,29	5,42	4,05
03-09	50	5,55	5,52	5,05	5,92	4,11
04-09	51	5,30	5,34	5,01	6,23	4,14
05-09	52	5,89	5,92	5,39	7,00	3,89
06-09	53	6,52	6,52	5,55	6,91	4,17
07-09	54	6,50	6,49	5,37	6,72	4,11
08-09	55	6,25	6,20	5,25	6,05	4,30
09-09	56	6,30	6,26	5,48	6,23	4,18
10-09	57	6,07	6,04	5,47	6,24	4,01
11-09	58	6,25	6,12	5,31	5,87	4,13
12-09	59	5,80	5,80	5,16	6,32	3,99
13-09	60	5,71	5,65	4,88	6,61	4,10
14-09	61	6,38	6,34	5,39	6,81	4,27
15-09	63	6,31	6,29	5,19	6,60	4,40
16-09	64	6,69	6,54	5,25	6,57	4,43
17-09	65	6,13	6,15	5,50	7,06	4,21
18-09	66	6,09	6,11	5,35	7,20	4,30
19-09	67	6,35	6,33	5,29	6,90	4,21
20-09	68	6,59	6,58	5,74	6,49	4,32
21-09	69	6,50	6,49	5,88	6,64	4,48
22-09	70	6,04	6,09	6,13	5,68	4,78
23-09	71	6,19	6,29	5,72	6,69	4,56

Tabela VII - Valores diários de evapotranspiração de referência (ET_o) estimados pelos métodos de Thornthwaite: THW; THW2(K=0,69); THW2(K=0,72); THW3(K=0,69) e THW3(K=0,72) para o mês de julho de 2008.

Data	¹ DAS (dias)	ET _o (mm dia ⁻¹)				
		² THW	³ THW2 (K=0,69)	⁴ THW2 (K=0,72)	⁵ THW3 (K=0,69)	⁶ THW3 (K=0,72)
15-07	0	4,20	5,04	5,32	4,50	4,82
16-07	1	4,26	4,72	5,02	4,14	4,49
17-07	2	4,28	4,65	4,96	4,07	4,42
18-07	3	4,35	4,40	4,73	3,80	4,16
19-07	4	4,39	5,41	5,64	4,96	5,24
20-07	5	4,33	5,19	5,45	4,69	5,00
21-07	6	4,30	4,97	5,26	4,45	4,78
22-07	7	4,32	4,87	5,17	4,35	4,68
23-07	8	4,39	5,13	5,40	4,64	4,96
24-07	9	4,36	5,23	5,48	4,76	5,07
25-07	10	4,32	5,47	5,69	5,05	5,33
26-07	11	4,26	5,63	5,82	5,26	5,51
27-07	12	4,25	5,32	5,56	4,88	5,18
28-07	13	4,20	5,27	5,52	4,83	5,13
29-07	14	4,34	4,89	5,18	4,40	4,74
30-07	15	4,34	5,18	5,45	4,75	5,06
31-07	16	4,37	5,34	5,59	4,94	5,23

¹DAS – Dias após a semeadura; ²THW - ET_o estimada pelo método de Thornthwaite original; ³e ⁴THW2(K=0,69) e THW2(K=0,72) - ET_o estimadas pelo método de Thornthwaite com temperatura efetiva calculada em função da temperatura média e da amplitude diária e fator K = 0,69 e K = 0,72; ⁵e ⁶THW3(K=0,69) e THW3(K=0,72) - ET_o estimadas pelo método de Thornthwaite com a mesma temperatura efetiva mas para fotoperíodos diferentes e fator K = 0,69 e K = 0,72.

Tabela VIII - Valores diários de evapotranspiração de referência (ET_o) estimados pelos métodos de Thornthwaite: THW; THW2(K=0,69); THW2(K=0,72); THW3(K=0,69) e THW3(K=0,72) para o mês de agosto de 2008.

Data	¹ DAS (dias)	ET _o (mm dia ⁻¹)				
		² THW	³ THW2 (K=0,69)	⁴ THW2 (K=0,72)	⁵ THW3 (K=0,69)	⁶ THW3 (K=0,72)
01-08	17	4,31	5,15	5,42	4,72	5,03
02-08	18	4,38	5,65	5,84	5,32	5,57
03-08	19	4,37	5,73	5,91	5,43	5,66
04-08	20	4,73	5,64	5,84	5,32	5,57
05-08	21	4,72	5,53	5,74	5,18	5,45
06-08	22	4,34	5,10	5,37	4,70	5,01
07-08	23	4,38	5,52	5,74	5,18	5,45
08-08	24	4,75	5,25	5,51	4,88	5,18
09-08	25	4,40	5,48	5,71	5,16	5,43
10-08	26	4,35	5,62	5,82	5,32	5,58
11-08	27	4,38	5,40	5,64	5,08	5,36
12-08	28	4,43	5,36	5,61	5,04	5,33
13-08	29	4,50	5,34	5,59	5,02	5,31
14-08	30	4,40	5,43	5,67	5,13	5,41
15-08	31	4,42	5,12	5,40	4,79	5,10
16-08	32	4,37	5,45	5,69	5,17	5,45
17-08	33	4,52	5,30	5,56	5,01	5,30
18-08	34	4,42	5,19	5,46	4,90	5,20
19-08	35	4,56	4,44	4,78	4,10	4,46
20-08	36	4,41	5,10	5,38	4,81	5,12
21-08	37	4,65	5,45	5,69	5,20	5,47
22-08	38	4,73	5,52	5,75	5,30	5,56
23-08	39	4,78	5,23	5,50	4,98	5,28
24-08	40	4,94	5,44	5,68	5,21	5,49
25-08	41	4,73	5,33	5,59	5,10	5,39
26-08	42	4,45	5,69	5,89	5,51	5,74
27-08	43	4,66	5,74	5,93	5,58	5,80
28-08	44	4,55	5,95	6,09	5,83	6,00
29-08	45	4,97	5,63	5,85	5,47	5,71
30-08	46	5,23	5,84	6,02	5,71	5,91
31-08	47	5,22	5,56	5,79	5,40	5,65

Tabela IX - Valores diários de evapotranspiração de referência (ET_o) estimados pelos métodos de Thornthwaite: THW; THW2(K=0,69); THW2(K=0,72); THW3(K=0,69) e THW3(K=0,72) para o mês de setembro de 2008.

Data	¹ DAS (dias)	ET _o (mm dia ⁻¹)				
		² THW	³ THW2 (K=0,69)	⁴ THW2 (K=0,72)	⁵ THW3 (K=0,69)	⁶ THW3 (K=0,72)
01-09	48	5,15	5,44	5,68	5,28	5,55
02-09	49	4,99	5,00	5,30	4,82	5,14
03-09	50	5,07	5,41	5,66	5,26	5,54
04-09	51	5,10	5,62	5,84	5,50	5,74
05-09	52	4,62	6,03	6,15	5,95	6,10
06-09	53	5,13	5,99	6,13	5,92	6,08
07-09	54	5,01	5,89	6,06	5,81	6,00
08-09	55	5,31	5,50	5,75	5,41	5,66
09-09	56	5,10	5,58	5,81	5,49	5,74
10-09	57	4,77	5,53	5,77	5,45	5,70
11-09	58	4,98	5,27	5,55	5,19	5,48
12-09	59	4,69	5,56	5,80	5,50	5,74
13-09	60	4,89	5,77	5,97	5,72	5,94
14-09	61	5,17	5,91	6,08	5,87	6,05
15-09	63	5,37	5,81	6,01	5,78	5,98
16-09	64	5,41	5,79	5,99	5,77	5,97
17-09	65	5,03	6,01	6,16	6,00	6,15
18-09	66	5,18	6,08	6,20	6,07	6,20
19-09	67	5,01	5,92	6,09	5,92	6,09
20-09	68	5,19	5,69	5,91	5,69	5,91
21-09	69	5,42	5,81	6,01	5,82	6,02
22-09	70	5,80	5,35	5,62	5,37	5,64
23-09	71	5,52	5,84	6,04	5,87	6,06

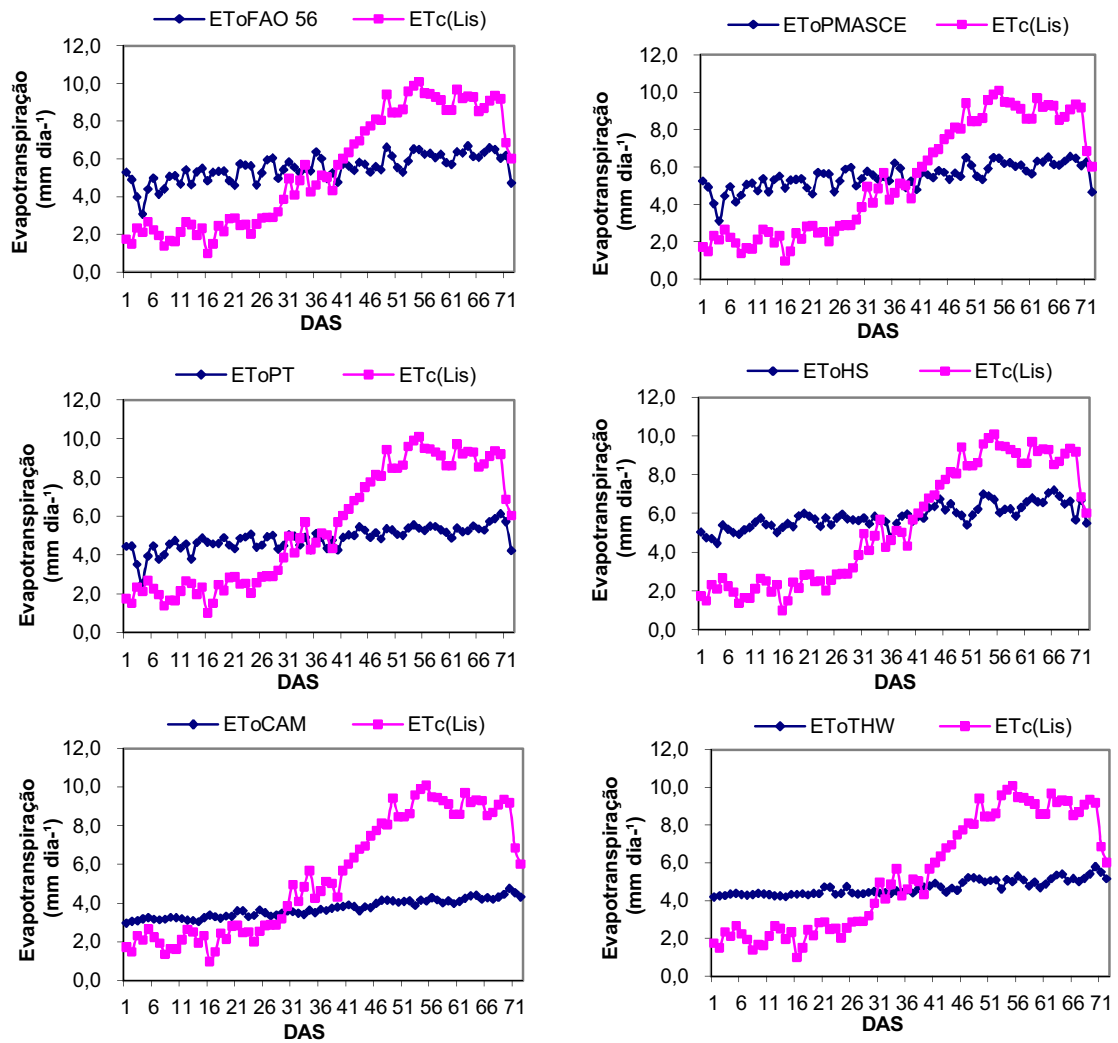


Figura IV. Variação diária da ET_c e da ET_0 para os modelos *PMFAO*, *PMASCE*, *PT*, *HS*, *CAM* e *THW* durante todo o ciclo da cultura.

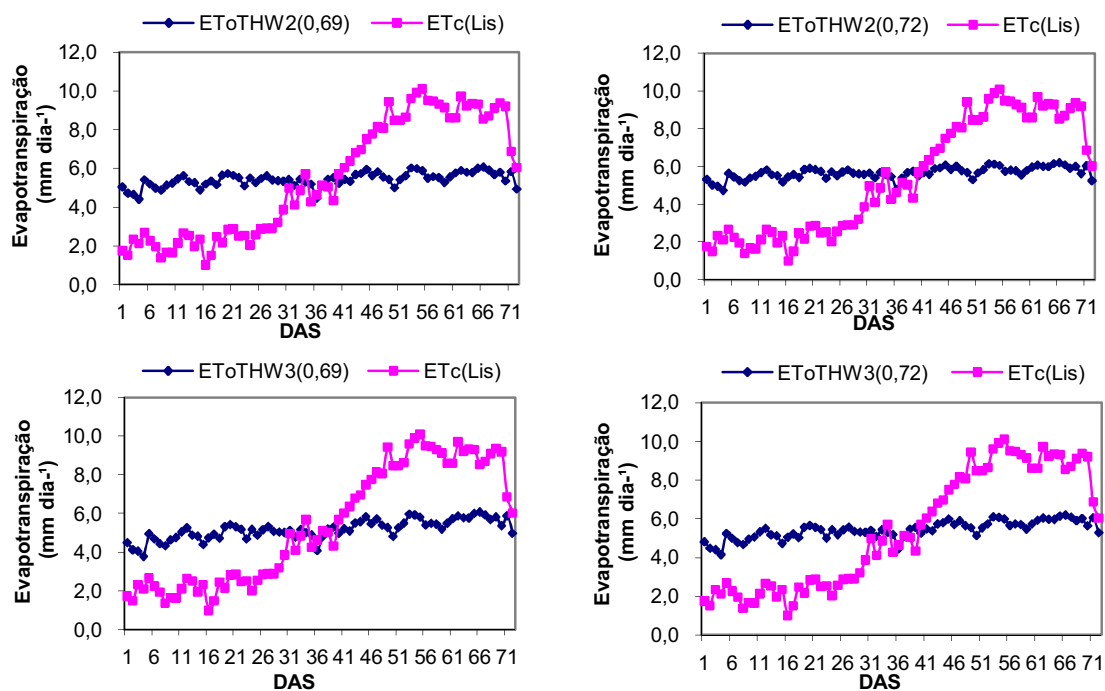


Figura V. Variação diária da ET_c e da ET_0 para os modelos $THW2(0,69)$, $THW2(0,72)$, $THW3(0,69)$ e $THW3(0,72)$ durante todo o ciclo da cultura.

Tabela X: Dados de ETc referentes ao estágio inicial de desenvolvimento da cultura.

ETc (mm)			ETc
ETc1	ETc2	ETc3	Médio
1,95	1,57	1,71	1,74
1,51	0,82	2,19	1,51
2,80	1,32	2,91	2,34
2,40	1,24	2,71	2,12
3,70	1,57	2,77	2,68
2,95	2,1	1,71	2,25
2,20	1,36	2,30	1,95
0,70	1,42	2,03	1,38
2,50	1,38	1,12	1,67
2,40	1,50	1,03	1,64
2,90	2,10	1,40	2,13
3,10	2,30	2,60	2,67
2,50	2,70	2,40	2,53
2,00	1,70	2,20	1,97
2,90	2,70	1,40	2,33
1,00	1,10	0,90	1,00
1,90	1,60	1,00	1,50
2,60	2,50	2,30	2,47
2,10	2,10	2,30	2,17
2,40	4,30	1,80	2,83
2,60	3,30	2,70	2,87
2,80	2,80	1,90	2,50

Tabela XI: Dados de ETc referentes ao estágio de crescimento da cultura.

ETc (mm)			ETc
ETc1	ETc2	ETc3	Médio
2,60	2,90	2,10	2,53
1,60	3,10	1,40	2,03
2,10	3,00	2,60	2,57
2,50	3,00	3,10	2,87
2,60	3,10	3,00	2,90
2,70	3,10	2,90	2,90
3,90	3,30	2,40	3,20
4,80	4,20	2,60	3,87
5,20	4,30	5,40	4,97
4,20	3,70	4,40	4,10
4,60	4,70	5,30	4,87
5,80	6,10	5,20	5,70
4,70	2,60	5,50	4,27
3,70	4,30	5,90	4,63
4,50	5,60	5,30	5,13
5,60	5,30	4,20	5,03
4,70	4,00	4,30	4,33
5,40	5,90	5,80	5,70
5,60	6,20	6,30	6,03
5,80	6,40	6,90	6,37
6,50	7,00	6,90	6,80
6,40	6,70	7,80	6,97
6,50	7,80	8,20	7,50
7,00	8,00	8,30	7,77
7,40	8,50	8,50	8,13
7,60	8,50	8,10	8,07
8,60	10,20	9,50	9,43

Tabela XII: Dados de ETc referentes ao estágio intermediário de desenvolvimento da cultura.

ETc (mm)			ETc
ETc1	ETc2	ETc3	Médio
8,40	8,40	8,60	8,47
8,30	8,60	8,50	8,47
8,70	8,70	8,50	8,63
9,30	9,40	10,10	9,60
9,60	10,00	10,10	9,90
9,90	10,30	10,10	10,10
9,90	9,80	8,80	9,50
9,20	9,90	9,30	9,47
9,40	9,50	9,00	9,30
9,70	9,10	8,60	9,13
8,70	8,40	8,70	8,60
8,70	8,70	8,40	8,60
9,70	9,90	9,50	9,70
9,40	9,20	9,10	9,23
9,80	9,40	8,80	9,33
9,00	9,00	9,90	9,30

Tabela XIII: Dados de ETc referentes ao estágio final de desenvolvimento da cultura.

ETc (mm)			ETc
ETc1	ETc2	ETc3	Médio
8,50	8,70	8,40	8,53
8,70	8,50	8,90	8,70
9,40	9,30	8,60	9,10
9,40	9,40	9,30	9,37
9,30	9,10	9,20	9,20
7,30	7,30	6,00	6,87
6,00	6,00	6,10	6,03