

39373

**OSVALDO JOSÉ DE OLIVEIRA**

**COEFICIENTE DE CULTURA ( $K_c$ ) PARA O MILHO PIPOCA-GRUPO  
EVERTA (*Zea mays* L. CV. CMS - 43/EMBRAPA)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador

**Dr. ANTÔNIO MARCIANO DA SILVA**

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
1995**

**FICHA CATALOGRÁFICA PREPARADA PELA SEÇÃO DE CATALOGAÇÃO  
E CLASSIFICAÇÃO DE BIBLIOTECA CENTRAL DA UFLA**

Oliveira, Osvaldo José de

Coeficiente de cultura (Kc) para o milho pipoca grupo everta  
(Zea mays L. cv. CMS-43/EMBRAPA) / Osvaldo José de Oliveira.--  
Lavras : UFLA, 1995.

87p. : il.

Orientador: Antônio Marciano da Silva.  
Dissertação (Mestrado) - UFLA.  
Bibliografia.

1. Evapotranspiração. 2. Balanço hídrico. 3. Coeficiente de cultura. 4. Lisímetro. 5. Meteorologia agrícola. 6. Milho pipoca  
I. Universidade Federal de Lavras. II Título.

CDD-551.572

# OSVALDO JOSÉ DE OLIVEIRA

## COEFICIENTE DE CULTURA ( $K_c$ ) PARA O MILHO PIPOCA - GRUPO EVERTA (*Zea mays* L. CV. CMS - 43/EMBRAPA)

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 25 de agosto de 1995

  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Angela Maria Soares

  
Prof. Dr. Pedro Castro Neto

  
Prof. Dr. Antônio Marciano da Silva  
(Orientador)

**À DEUS**

**À minha querida Mãe, Anastácia Dias de Oliveira (In memorian)**

**Ao meu querido Pai, Abílio José de Oliveira ( In memorian)**

**À minha querida esposa Rozimeiry Gomes Bezerra de Oliveira**

**Aos meus amados irmãos, queridas sobrinhas, sobrinhos, e amigos,**

**OFEREÇO**

**“Desejamos somente que cada um de vós**

**demonstre o mesmo ardor em levar até o fim o**

**pleno desenvolvimento da esperança, para não**

**serdes lentos à compreensão, e sim imitadores**

**daqueles que, pela fé e pela perseverança,**

**recebem a herança das promessas”**

**(Hebreus 6, 11-12).**

**Àqueles que acreditam**

**no BRASIL.**

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade de realização deste curso;

À Escola Agrotécnica Federal de Cuiabá-MT, por acreditar em mim;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento à Pesquisa - CNPq, pela bolsa concedida;

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), através do Centro Nacional de pesquisa de Milho e Sorgo, pelos subsídios fornecidos para realização deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Ataíde Batista da Silva, pelo incentivo e apoio;

Ao Professor Dr. José Holanda Campelo Júnior, pelas valiosas e oportunas trocas de idéias;

Aos Professores Abimael Antunes Marques e José Libêncio Babilônia pela oportuna visita e colaboração;

Aos Professores do departamento de Engenharia Agrícola - UFLA; pelos ensinamentos concedidos ao longo do curso;

Aos colegas Professores e Funcionários da Escola Agrotécnica Federal de Cuiabá-MT; por acreditar na educação;

Ao Prof. Dr. Antônio Marciano da Silva, pela orientação acadêmica, amizade e constante apoio;

Ao Ministério de Agricultura do Estado de ISRAEL através dos Engenheiros agrônomos, Ari Fischer, Hillel Manor e outros , pela receptividade , apoio, incentivo e ensinamentos recebidos no campo da agricultura irrigada;

Ao Comitê de Orientação acadêmica, Prof. Marcelo Silva de Oliveira; Prof. Pedro Castro Neto; Prof<sup>a</sup> Maria Laene Moreira de Carvalho, pelas valiosas sugestões;

Aos companheiros de turma e profissão - Eng. Agrícola José Antônio Alves Dias; Eng. Agrícola José Aparecido de Oliveira Leite; Eng. Agrônomo João Carlos Guimarães e Eng. Agrícola Tadayuki Yanagi Júnior, pelo convívio e companheirismo;

Aos amigos, Ademir Conte e família, Marcão e família, Othon e família, José Antônio e família; pela amizade, solidariedade e companhia em todos os momentos de luta;

Aos colegas de Universidade, de biblioteca e de congressos;

A quantos que de forma anônima, proporcionaram condições para a conclusão de todas as etapas ao longo do curso.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMO.....	xii
SUMMARY.....	xiv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	27
3.1 Local .....	27
3.1.1 Solo .....	28
3.2 Instalação do experimento .....	32
3.2.1 Preparo do solo .....	32
3.2.2 Adubação .....	32
3.2.3 Preparo dos lisímetros .....	32
3.2.4 Semeadura .....	34
3.2.5 Irrigação da bordadura .....	35
3.2.6 Amontoa .....	35
3.2.7 Lisímetro de lençol freático constante e consumo de água.....	35
3.3 Cálculo de Graus-dia e parâmetros quantitativos de desenvolvimento vegetal.....	39
3.4 Determinação da Evapotranspiração de Referência-ET <sub>o</sub> .....	40
3.4.1 Método direto.....	41
3.4.2 Método de Penman Original.....	41
3.4.3 Método Radiação Solar.....	45
3.4.4 Método Tanque Classe A.....	46
3.4.5 Método Blaney & Criddle modificado pela FAO.....	47

3.4.6 Método de Linacre.....	48
3.4.7 Método Thornthwaite.....	48
3.4.8 Método Hamon.....	50
3.4.9 Método Hargreaves.....	50
3.4.10 Método Makkink.....	51
3.4.11 Método Papadakis.....	51
3.4.12 Método Budyko.....	52
3.4.13 Método Penman modificado .....	52
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>54</b>
4.1 Evapotranspiração máxima medida na cultura do milho .....	54
4.2 Considerações sobre o solo.....	60
4.3 Evapotranspiração de referência.....	62
4.4 Coeficiente de cultura (Kc).....	74
4.5 Características do desenvolvimento vegetal.....	77
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>80</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>82</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>88</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Densidade de partículas e densidade global associada a granulometria, em quatro camadas do perfil 0-80 cm, do solo constituinte da área experimental. UFLA-Lavras, 1994.....	29
2	Características físico-hídricas do solo referente a área experimental (umidade expressa em $\text{g.g}^{-1}$ ). UFLA-Lavras, 1994.....	30
3	Características químicas do solo referente a área experimental na camada 0 - 30 cm. UFLA-Lavras, 1994.....	30
4	Porcentagem de microorganismos recuperados (método do papel de filtro), em sementes de milho pipoca cultivar CMS-43. Laboratório de Patologia de Sementes (LPS). UFLA-Lavras, 1994.....	34
5	Resultado da avaliação da qualidade fisiológica de sementes milho pipoca cultivar CMS-43. Laboratório de análise de sementes (LAS). UFLA-Lavras, 1994.....	35
6	Valores médios por pêntadas de evapotranspiração máxima determinado nos tanques lisimétricos, cultivados com milho ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ). UFLA-Lavras, 1994.....	56
7	Valores médios de evapotranspiração por pêntadas medido nos tanques lisimétricos cultivado com grama, ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ). UFLA-Lavras, 1994.....	63
8	Valores de evapotranspiração de referência medida e estimada pelos diferentes métodos, para as 29 pêntadas, expressas em $\text{mm.dia}^{-1}$ . UFLA-Lavras, 1994.....	68

9	Análise de variância dos valores de evapotranspiração de referência dado em $\text{mm.dia}^{-1}$ , medida e estimada pelos diferentes métodos de relações climatológicas. UFLA-Lavras, 1994.....	69
10	Teste bilateral de Dunnet para comparação entre valores médios de evapotranspiração de referência dado em $\text{mm.dia}^{-1}$ , medido (tratamento testemunha) e os valores estimados pelos diferentes métodos. UFLA-Lavras, 1994.....	69
11	Coefficiente de cultura medido e estimado ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ), UFLA-Lavras, 1994.....	75
12	Desenvolvimento vegetativo do milho associado aos parâmetros; IAF, AP, consumo hídrico (acumulado), e ao acúmulo de graus-dia. UFLA-Lavras, 1994.....	77
13	Características do crescimento vegetal comparados aos coeficientes de cultura ( $K_c$ ), para períodos quinzenais. UFLA-Lavras, 1994.....	77
14	Coefficientes de cultura- $K_c$ , medido e estimados pelos diferentes métodos, comparados aos estádios de desenvolvimento vegetal (critério FAO), graus-dia acumulado e por estádio. UFLA-Lavras, 1994.....	80

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
1	Ascensão de água por capilaridade em colunas de solo com 4 e 6 polegadas de diâmetro (Latossolo roxo distrófico), [a]. Curva característica de umidade do solo constituinte da parcela experimental, ajustada pelo modelo proposto por Van Genuchten (1980), com potencial mátrico expresso em centímetros de coluna de água - c.c.a. [b]. Curva de infiltração acumulada e instantânea do solo utilizado na área da parcela experimental [c]. UFLA-Lavras, 1994.....	31
2	Esquema dos tanques lisimétricos com detalhes dos dispositivos de funcionamento (colunas de alimentação e colunas coletoras de água percolada). UFLA-Lavras, 1994.....	33
3	Colunas de alimentação de água com reservatório intermediário, controlando o nível do lençol freático e coletores de água percolada dos tanques lisimétricos [a]. Vista parcial da área experimental com as linhas de plantio dispostas ao longo dos tanques lisimétricos e bateria de tensiômetros [b]. Disposição das baterias de tensiômetros dentro e fora dos tanques lisimétricos [c].UFLA-Lavras, 1994.....	38
4	Comparação entre as tendências dos valores de evapotranspiração máxima da cultura do milho, evapotranspiração de referência (ambos em valores acumulados expressos em $\text{mm.dia}^{-1}$ ), e área foliar das plantas de milho (também em valores acumulados expressos em $\text{cm}^2$ ), para todo o ciclo da cultura. UFLA-Lavras, 1994.....	59

- 5 Potenciais matriciais média por pântada do perfil do solo  $\psi_m$  (expresso em centímetros de coluna de água-c.c.a.) constituinte dos tanques lisimétricos cultivados com a grama [a]; da bordadura experimental [b]; e dos tanques lisimétricos cultivados com milho [c]; durante todo o ciclo da cultura do milho expresso em pântadas, para as profundidades de 15 e 30 cm. UFLA-Lavras, 1994..... 61
- 6 Correlação entre temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), evaporímetro de piche, termo aerodinâmico (ambos dados em  $\text{mm.dia}^{-1}$ ), da equação de Penman, para as condições de Lavras-MG (dados médios mensais de 1989, 1990 e 1991), [a]. Comparação entre evapotranspiração de referência estimada pelo método original de Penman (1956), e seus componentes, termo aerodinâmico  $[(E_a \cdot \gamma) \cdot (\Delta + \gamma)^{-1}]$ , e termo referente ao balanço de energia  $[(R_n \cdot \Delta) \cdot (\Delta + \gamma)^{-1}]$ , [b]. UFLA-Lavras, 1994..... 67
- 7 Comparação entre evapotranspiração de referência medida (variável dependente), e estimada pelos métodos de Thornthwaite [a], Blaney & Criddle [b] e Budyko [c], todos com base na temperatura do ar. UFLA-Lavras, 1994..... 70
- 8 Comparação entre evapotranspiração de referência medida (variável dependente), e estimada pelos métodos: Tanque Classe - A, com base na evaporação de água [a], Radiação Solar [b] e Makkink [c], ambos com base na radiação solar. UFLA-Lavras, 1994. .... 71
- 9 Comparação entre evapotranspiração de referência medida (variável dependente), e estimada pelos métodos de Linacre [a], Hargreaves [b], ambos com base na temperatura e umidade do ar, e pelo método de Penman na versão modificada para às condições de Lavras [c]. UFLA-Lavras, 1994..... 72
- 10 Comparação entre evapotranspiração de referência medida (variável dependente), e estimada pelos métodos de Papadakis [a] e Hamon [b], ambos com base na umidade do ar atmosférico e pelo método original de Penman [c], este com base no balanço de energia com a aproximação aerodinâmica. UFLA-Lavras, 1994..... 73
- 11 Curva que relaciona o coeficiente de cultura medido ( $K_c$ ), com o ciclo da cultura, expresso em unidades térmicas (coeficiente de determinação- $R^2$ , ao nível de 5% de probabilidade). UFLA-Lavras, 1994. .... 76

12

Comparação entre altura das plantas-AP, expresso em centímetros [a], e índice de área foliar-IAF acumulado [b], durante todo o ciclo da cultura, expresso em quinzenas. UFLA-Lavras, 1994.....

79

## RESUMO

OLIVEIRA, Osvaldo José de. Coeficiente de cultura (Kc) para o milho pipoca - grupo everta ( *Zea mays* L. cv. CMS - 43/EMBRAPA). Lavras: UFLA, 1995. 87p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Agrícola / Irrigação e Drenagem) \*

Com o objetivo de determinar o coeficiente de cultura (Kc), do milho pipoca, *Zea mays* L. grupo genético everta, cultivar CMS-43 / EMBRAPA conduziu-se, no Departamento de Biologia, setor de Bioclimatologia da Universidade Federal de Lavras - MG (21° 14'S; 45°00' W e 918,84 m), um experimento em duas baterias de três lisímetros de não pesagem, tipo Thornthwaite & Mather, alimentados por sub-irrigação. Em uma cultivou-se milho pipoca, na outra cultivou-se grama (*Paspalum notatum* Flugge). Efetuou-se o balanço hídrico diário em todos os lisímetros durante o ciclo da cultura do milho, obtendo-se a evapotranspiração máxima da cultura e a evapotranspiração de referência. Para o período considerado, comparou-se 12 métodos empíricos de correlações climatológicas para estimativa da evapotranspiração de referência (*Penman, Radiação Solar, Tanque Classe A, Blaney & Criddle, Linacre, Thornthwaite, Hamon, Hargreaves, Makkink, Papadakis, Budyko e Penman modificado,*

---

\* Orientador: Antônio Marciano da Silva. Membros da Banca: Angela Maria Soares e Pedro Castro Neto.

com os valores determinados através dos tanques lisimétricos. Os valores obtidos pelos métodos de *Penman*, *Linacre*, *Penman modificado*, *Radiação solar*, *Tanque Classe A* e *Blaney & Criddle*, foram os que melhor se ajustaram apresentando coeficientes de determinação iguais a: 96,79%; 91,06%; 87,28%; 81,98%; 88,34% e 87,72% respectivamente, além de não significativos pelo teste de média de Dunnett quando comparados com os valores medidos de evapotranspiração (tratamento testemunha). O índice de área foliar-IAF, como característica da planta explicou bem a curva de consumo de água pelas plantas de milho para o período de cultivo. A evapotranspiração máxima do milho pipoca (ET<sub>max</sub>), em média diária foi igual a 2,62 mm.dia<sup>-1</sup> e evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), da grama igual a 3,5 mm.dia<sup>-1</sup>. As variáveis ET<sub>max</sub> e ET<sub>o</sub> foram correlacionadas objetivando a obtenção do coeficiente de cultura (*K<sub>c</sub>*). O ciclo da cultura foi dividido em 4 estádios de desenvolvimento conforme sugere Doorenbos e Pruitt (1977), além do estágio inicial. Cada estágio foi caracterizado pelo acúmulo de graus-dia, utilizando-se do método *Brown*, obtendo: estágio inicial, 170,10 graus-dia e 15,30 mm de água; estágio I, 687,32 graus-dia e 52,60 mm de água; estágio II, 928,04 graus-dia e 46,80 mm de água; estágio III, 1.099,74 graus-dia e 195,35 mm de água e estágio IV, 618,13 graus-dia e 73,20 mm de água. A duração de cada estágio em dias do calendário foram: 6, 35, 25, 50 e 30 dias respectivamente, estágio inicial, I, II, III e IV. O coeficiente de cultura medido para os estádios I, II, III e IV foram respectivamente 0,49, 0,56, 1,19 e 0,73. e pode ser estimado pela equação:  $K_c = 1,04 - 0,0017 \cdot GD + 0,135 \cdot 10^{-5} \cdot GD^2 - 0,26 \cdot 10^{-9} \cdot GD^3$ , com coeficiente de determinação-R<sup>2</sup> igual a 81,46% ao nível de 5% de probabilidade.

## SUMMARY

### **CROP COEFFICIENT FOR POP CORN-GROUP EVERTA (*Zea mays* L. CV. CMS - 43/EMBRAPA)**

With the purpose of establishing the crop coefficient ( $K_c$ ), of pop corn, *Zea mays* L., genetical group everta cv. CMS-43/EMBRAPA, an experiment in a array of three non-weighing lysimeters type Thornthwait - Mather, underirrigation-fed, cultivated to pop corn and on a array of three lysimeters under the same conditions, grown to grass (*Paspalum notatum* Flugge), was conducted at the Biology Department, sector of Bioclimatology at the Universidade Federal de Lavras-MG (21° 14'S; 45° 00Ww and 918,84 m). A daily water balance on all the lysimeters was accomplished over the period encompassed during the cycle of corn cultivation, obtaining the maximum evapotranspiration of the crop and reference evapotranspiration. For the period considered, 12 empirical methods of climatological correlation for evaluating the reference evapotranspiration were compared (Penman, Solar Radiation, Class A Tank, Blaney & Criddle, Linacre, Thornthwaite, Hamon, Hargreaves, Makkink, Papadakis, Budyko and modified Penman), with the values determined through the lysimetrical tanks. The values for the reference evapotranspiration ( $ET_o$ ), of the evaluation

methods; Penman, Linacre, modified Penman, Solar Radiation, Class A Tanks and Blaney & Criddle are those which best fitted, showing determination coefficient ( $R^2$ ), equal to 96,79%, 91,06%, 87,28%, 81,98%, 88,34% and 87,72% respectively. Leaf area index-LAI, as a characteristic of the plant explained the water uptake curve by the corn plants well. The maximum evapotranspiration ( $ET_{max.}$ ), on a daily average, of pop corn was equal to  $2.62 \text{ mm} \cdot \text{day}^{-1}$  and reference evapotranspiration ( $ET_o$ ), of grass equal to  $3.5 \text{ mm} \cdot \text{day}^{-1}$ . The variables  $ET_{max.}$  and  $ET_o$  were correlated aiming at the obtaining of the crop coefficient ( $K_c$ ). The crop had its cycle divided into four developmental steps according to that suggested by Doorenbos & Pruitt (1977), besides, the initial step. Each step was characterized, by the acumulation of day-degrees - method Brown, obtaining: initial step, 170,10 day-degrees and 15,30 mm of water, step I, 687,32 day-degrees and 52,60 mm of water; step II, 928,04 day-degrees and 46,80 mm of water, step III, 1.099,74 day-degrees and 195,35 of water and step IV, 618,13 day-degrees and 73.20 mm of water. The length of each step in calendar days were: 6, 35, 25, 50 and 30 days respectively, steps: initial, I, II, III and IV. The crop coefficient measured for steps I, II, III and IV were respectively 0.49, 0.56, 1.19 and 0,73 and it may be calculated by the equation:  $K_c = 1,04 - 0,0017 \cdot GD + 0,135 \cdot 10^{-5} \cdot GD^2 - 0,26 \cdot 10^{-9} \cdot GD^3$ , showing determination coefficient ( $R^2$ ) equal 81,46% for the level 5% for probability.

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil consome 30 mil toneladas por ano de milho pipoca. O mercado nacional atinge US\$30 milhões, o que corresponde a 20% do consumo americano. No período de 1991 a 1993, houve incremento no consumo, período em que aumentou a participação do milho pipoca importado dos Estados Unidos, e mais recentemente da Argentina. Mudanças no hábito alimentar em função de um minucioso programa de marketing, associado a oferta do produto, tende a aumentar ainda mais a demanda acima das 30 mil toneladas por ano. Com este novo perfil no mercado consumidor a demanda por produtos de melhor qualidade, tanto por parte das indústrias como por parte do consumidor direto, aumenta e se diversifica.

O milho pipoca *Zea mays* L. grupo genético everta, Bowman (1915), Vaz Oliveira (1984), das variedades cultivadas no Brasil, em geral, apresentam plantas menores e mais delicadas do que as do milho comum, colmo mais fino, com menor número de folhas, e muito prolíficas, não sendo difícil encontrar plantas com seis ou mais espigas. Os grãos se caracterizam por apresentarem sementes duras, pequenas e que, quando submetidas a temperaturas da ordem de 180 graus centígrados têm a capacidade de estourar.

No Brasil, o milho pipoca é basicamente oriundo da pequena produção e não utiliza tecnologias adequadas no seu processo produtivo. Dos fatores de produção envolvidos, a técnica de irrigação é relevante e atualmente nos poucos sistemas de produção de milho pipoca irrigado existentes, esta técnica é utilizada ainda de forma inadequada na maioria dos casos, levando a baixas produtividades com baixa qualidade (capacidade de expansão -  $CE < 15$ ).

Perguntas como; quando e quanto irrigar, frequência e lâmina de água para atender sem restrições a demanda evapotranspirométrica da cultura dentro de cada estágio de desenvolvimento e quantas unidades térmicas são necessárias para cada estágio, terão que ser respondidas para uma melhor otimização da produção ou do manejo hídrico e por consequência da minimização dos custos de produção.

Objetivou-se com este trabalho: estabelecer a curva que relaciona a razão  $ET_{m\acute{a}x.}/ET_o$  (coeficiente de cultura -  $K_c$ ), com o ciclo da cultura, caracterizadas pelo acúmulo de graus-dias e comparar doze métodos de estimativas da evapotranspiração de referência, a partir de relações climatológicas empíricas, durante o período experimental, nas condições climáticas de Lavras-MG.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O sistema solo-planta-atmosfera constitui o meio físico onde as plantas crescem e se desenvolvem. Nesse sistema os elementos meteorológicos são os mais variáveis temporal e espacialmente, afetando diretamente o nível de produtividade das culturas em determinadas épocas e locais.

Os avanços tecnológicos no setor primário da economia vêm se intensificando nos últimos tempos e a constante busca da produtividade física no campo com uma menor relação custo/benefício, vem se impondo cada vez mais quando surge uma demanda ainda maior na oferta de alimentos e fibras, conseqüências imediata do aumento da população. A otimização dos fatores de produção dentre outras alternativas juntamente com a diversificação, são formas encontradas de melhor organizar a produção numa propriedade agrícola e/ou empresa rural. Neste intuito destaca-se dentre outras opções de exploração agrícola o milho pipoca, cujo histórico sempre esteve associado à pequena produção e à escassez de tecnologias de produção, seja por falta de difusão ou até mesmo de conhecimentos mais específicos sobre a exploração da mesma.

Na produção de grãos, o milho pipoca, *Zea mays* L. (grupo genético everta), sob irrigação, se destaca como alternativa na agricultura irrigada, por apresentar características como: significativo retorno econômico por área de produção, produto de comportamento econômico inelástico, possibilidade de exploração no período de entressafra em regiões com inverno seco (Apêndice E, Figura 1), por exemplo, regiões de cerrado, etc.

Neste grupo genético da espécie *mays*, os grãos se caracterizam por apresentarem sementes duras e pequenas, que quando submetidas a temperaturas da ordem de 180 graus centígrados e com umidade no grão em torno de 12% têm a capacidade de estourar, Zinsly e Machado (1987). Este fenômeno está relacionado a alta resistência do pericarpo associado à presença de óleo e água, que aquecidos provocam a inversão do grão, expondo o endosperma. De acordo com Duncan, citado por Mezzacappa (1972), a capacidade de expansão *CE*, é definido pela relação existente entre o volume de sementes e o volume de pipoca, sendo uma das principais características deste tipo de milho. Quanto maior for a capacidade de expansão, maior valor comercial terá a variedade, pois tal característica está associada com a maciez da pipoca, Zinsly e Machado (1987), e é afetada pela percentagem de amido mole, pragas, moléstias, percentagem de água, tamanho dos grãos e pela temperatura. Willer e Brunson (1927), também verificaram que a percentagem de amido mole está associada à capacidade de expansão. Todavia, de acordo com Eldredge e Lyerly (1943), um dos fatores mais importantes é a percentagem de umidade dos grãos uma vez que ela pode ser afetada pelas condições de armazenamento dos grãos e pela estação do ano.

Quanto a sua origem, esta confunde-se com a dos demais tipos de milho. Descobertas arqueológicas indicam porém que esse tipo de milho teve importante papel no desenvolvimento pré-histórico do milho no continente. Várias hipóteses têm sido propostas acerca da origem e evolução do milho pipoca mas nenhuma delas é passível de aceitação definitiva, Zinsly e Machado (1987).

A densidade de semeadura (estande da lavoura) é outro fator de grande importância na cultura de milho pipoca. Medeiros et al. (1980), relatam que o rendimento de grãos cresce com o aumento da densidade, até atingir um nível ótimo determinado pelo genótipo da planta e condições ambientais. Esta densidade deve ser maior que para o milho comum. Resultados de pesquisa demonstram que maiores produtividades têm sido obtidas com 60.000 a 70.000 plantas/ha. Para se conseguir este estande, segundo Gomes e Gama et al. (1990), devem ser semeados de 6 a 7 sementes por metro linear, com um espaçamento entre fileiras de 0,80 metros, para compensar as perdas provocadas por problemas de germinação, ataque de pragas, etc.

Dentre os aspectos envolvidos na produção de milho pipoca o conhecimento dos fenômenos de transporte de água no sistema solo-planta-atmosfera, se faz necessário para uma melhor utilização de forma adequada, das técnicas de manejo, e aumentar a eficiência no uso de água pelas plantas cultivadas, visando obtenção de grãos com alta capacidade de expansão,  $CE > 15$ . Com respeito ao fotoperíodo o milho é considerado como planta neutra ou de dias curtos<sup>1</sup>. Seu desenvolvimento é porém, muito afetado pela quantidade de radiação solar, e as maiores produtividades  $CO_2$

---

<sup>1</sup> Plantas que necessitam de noites longas para iniciar fase reprodutiva (emissão da inflorescência).

temperatura é na duração do período de crescimento do grão, já que a matéria seca acumulada no grão de milho é devida principalmente à matéria seca acumulada após a floração. De forma geral a temperatura média do ar tem sido utilizada em estudos bioclimáticos, usando a teoria dos *graus-dia* ou constante térmica, principalmente para estimar a duração dos estádios fenológicos dos vegetais e para escolher a época de plantio.

Com relação a exigência de água, o milho pipoca assim como a maioria das culturas irrigadas, responde satisfatoriamente a um adequado manejo de água no decorrer de seu ciclo. A quantidade de água do solo disponível às plantas não é constante, e o seu consumo por uma cultura é um parâmetro importante a ser considerado para a estimativa de sua produtividade. Um método pelo qual esse consumo hídrico pode ser determinado é através do balanço hídrico. O balanço hídrico é a contabilidade da quantidade de água que entra e sai em um elemento de volume de solo considerado, num intervalo de tempo, resultando na lâmina de água que nele permanece disponível, Reichardt (1985). O conhecimento da quantidade de cada um dos componentes do balanço hídrico (precipitação, irrigação, fluxo no perfil, evaporação e transpiração pelas plantas), ao longo do ciclo de uma cultura permite a avaliação do comportamento da água no solo, as perdas por evaporação ou por drenagem profunda, a sua extração pelas plantas, além de fornecer subsídios na tomada de decisões de quando e quanto irrigar possibilitando um bom manejo da irrigação.

A quantidade de água necessária para as culturas é um dado básico que precisa ser conhecido para planejar qualquer projeto de irrigação. Um bom manejo de

irrigação depende do conhecimento da demanda de água pelas plantas cultivadas. Questões como, até quanto por custo de água disponível ou até que tensão ela pode ser permitida na zona radicular de uma cultura, sem reduzir a produção, não têm as mesmas respostas para todas as regiões nem para todas as culturas. Esses limites devem ser elementos do planejamento e operação de um projeto de irrigação em que visem a máxima produção e boa qualidade do produto, usando de maneira eficiente a água, requerendo conhecimento das inter-relações do sistema solo-água-planta-atmosfera e manejo da irrigação. A dinâmica da água neste sistema, é um fenômeno muito complexo e de difícil quantificação momentânea. Sendo necessário conhecer de maneira profunda os determinantes da demanda hídrica para uma dada região que são: fatores do clima, planta e solo. A determinação dos componentes da equação do balanço hídrico podem ser feita de várias maneiras devendo um ser deixado como incógnita que, geralmente é o fluxo causado pela evaporação da superfície do solo mais a transpiração das plantas - evapotranspiração.

Evapotranspiração é a transferência de água para a atmosfera, no estado de vapor, por evaporação de uma superfície e pela transpiração por meio de estômatos e das cutículas das plantas ou seja, é a combinação simultânea da evaporação com a transpiração. Fisicamente a evaporação é um processo difusivo, parte turbulento e parte molecular, sendo o processo turbulento o mecanismo dominante nas proximidades das superfícies onde o processo é predominantemente molecular. Lemon, citado por Reichardt (1985), dividiu o processo de evaporação de um solo nu em três estágios distintos. O primeiro caracterizado por uma velocidade de evaporação  $E$ , constante e independente da umidade do solo, sendo a evaporação dependente

exclusivamente das condições reinantes na atmosfera junto ao solo tais como energia radiante, velocidade do vento, temperatura e umidade do ar. O primeiro estágio termina quando se estabelece uma resistência ao fluxo da água na superfície do solo e a velocidade de evaporação deixa de ser constante, decrescendo com o tempo. Neste segundo estágio a velocidade de evaporação  $\underline{E}$  é uma função linear da umidade média do perfil do solo e as condições reinantes externamente não são mais de importância fundamental, enquanto que as condições intrínsecas do solo governam o transporte de água no perfil e conseqüentemente, a velocidade de evaporação. Quando a função que correlaciona evaporação com umidade média do perfil começa a perder a linearidade, inicia-se o terceiro estágio do processo. Este, caracteriza-se por um movimento bastante lento da água no perfil decorrente da baixa condutividade hidráulica do solo, principalmente na fase de vapor, e das forças de adsorção entre a água e as partículas sólidas do solo. A taxa com que o solo supre a demanda evaporativa é controlada então pela interação dos parâmetros, teor de umidade e condutividade hidráulica, para caracterizar a função de difusão de água no solo. A transpiração é também um processo difusivo e pode ser analisado em termos de resistência à difusão e transporte turbulento de vapor no ar atmosférico. Na transpiração se incluem as resistências a difusão devida a geometria interna da folha, da abertura dos estômatos e da difusão através das cutículas, Sedyama (1988).

O termo evapotranspiração, foi relatado primeiramente por Thornthwaite (1948), que o definiu como sendo a água evapotranspirada de uma superfície natural coberta por uma vegetação em fase de crescimento ativo, e com teor de umidade do solo próximo à capacidade de campo e a chamou de evapotranspiração potencial,

diferindo da evapotranspiração real que é aquela observada em uma cultura sob qualquer fase de crescimento e umidade do solo.

Segundo Chang (1971), a evapotranspiração é a combinação da evaporação da água de uma superfície qualquer com a transpiração pelas plantas. Em uma área cultivada torna praticamente impossível separar os dois fenômenos.

O uso consuntivo de água pelas plantas é definido como sendo a soma dos volumes de água consumida na transpiração e formação de tecidos da planta com aquela evaporada do solo adjacente durante algum tempo especificado, dividido pela área cultivada, expresso em milímetros de altura de água por área, relacionada a um ciclo da cultura. Com exceção de uma desprezível quantidade de água utilizada pelas plantas nos processos metabólicos a evapotranspiração e o uso consuntivo podem ser considerados sinônimos, Blaney & Criddle (1952).

De acordo com Penman (1956), a evapotranspiração potencial seria a quantidade de água transpirada na unidade de tempo por uma cultura verde, de altura uniforme e sem qualquer restrições de água.

Jensen (1974), definiu evapotranspiração potencial de referência como sendo a evapotranspiração que se verifica em uma cultura de alfafa, com 30 a 50 cm de altura e bordadura mínima de 100 metros, cultivada sem deficiência hídrica. Este, sugere a alfafa por apresentar características aerodinâmicas e anatômicas semelhantes às principais culturas, com tamanho variando de 30 a 50 cm de altura em fase de crescimento ativo. Mais tarde, Doorenbos e Pruitt (1977), definiram a grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge), como sendo a cultura verde de altura uniforme (0,08 a 0,15 m de altura), concordando com a definição apresentada ainda em

setembro de 1955 na Reunião sobre Física na Agricultura, realizada em Wageningen-Holanda que diz: *evapotranspiração potencial é a evaporação verificada em um extenso terreno com vegetação verde, baixa, em pleno desenvolvimento, sombreando intensamente o solo, mantendo-se com altura uniforme, e não sofrendo deficiência de umidade*, Camargo (1962), e também com a definição original de Penman (1956).

Brunini (ca. 1989), define *evapotranspiração potencial  $ET_p$* , como a máxima capacidade de água capaz de ser perdida como vapor, em uma dada condição climática, por um meio contínuo de vegetação, que cobre toda a superfície do solo estando este na capacidade de campo ou acima desta; *evapotranspiração máxima  $ET_m$* , como sendo a transferência de água na forma de vapor para a atmosfera, por uma cultura qualquer, em condições de nenhuma restrição de água em qualquer estágio de desenvolvimento; *evapotranspiração de referência  $ET_o$* , como sendo a evapotranspiração para uma dada cultura bem adaptada e relacionada para propósitos comparativos sob dadas condições climáticas e com adequada bordadura e para um regime de irrigação padronizado e apropriado para esta cultura e a região considerada e *evapotranspiração real  $ET_r$* , como sendo a soma total da transferência de vapor para a atmosfera que é evaporada pela superfície e transpirada pelas plantas nas condições atuais de parâmetros atmosféricos, umidade do solo e condições da cultura. Este, como Penman e outros pesquisadores não especificam uma cultura para determinação da evapotranspiração de referência, apresentam apenas suas características tais como; vegetação contínua, alta taxa de cobertura do solo, bordadura, etc.

Conforme Campelo e Caseiro (1989), a evapotranspiração potencial (ETp), ou a evapotranspiração de referência (ETo), é uma medida local da demanda hídrica atmosférica, representando o efeito das condições climáticas sobre a necessidade hídrica das culturas. Dos fatores determinantes da evapotranspiração (solo, clima e planta), o clima é preponderante em relação aos demais, Bernardo (1986). A evapotranspiração pode ser expressa como a quantidade equivalente de água evaporada por unidade de tempo, geralmente expressa como lâmina de água por unidade de tempo ( $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$ ).

Face da ausência de conceitos mais sólidos na literatura faz-se necessário dar algumas denominações à evapotranspiração que são específicas para determinadas condições ambientais. Isto porque os três elementos; planta, solo e clima se combinam em cada caso proporcionando totais diferentes de Evapotranspiração. Quando uma superfície reúne as duas condições: a) *a superfície do solo totalmente coberta por uma vegetação rasteira e em fase de crescimento ativo*; b) *com teor de umidade do solo próximo à capacidade de campo, a evapotranspiração é conhecida como evapotranspiração potencial ETp*, Sedyama (1988), e a ausência de uma destas condições, a evapotranspiração é denominada *evapotranspiração Real ETr*. Quando se define a vegetação rasteira em fase de crescimento ativo por uma cultura específica, grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge), por exemplo, a evapotranspiração é conhecida como *evapotranspiração de referência ETo*. Quando se tem uma cultura qualquer em condição potencial, isto é, condição ótima de umidade e nutrientes no solo, permitindo a produção máxima da cultura em condições de campo, a evapotranspiração é definida como *evapotranspiração máxima ETmax*. A definição da

grama batatais (*Paspalum notatum* Fuggle ), se deve ao fato da mesma ser amplamente cultivada nas estações meteorológicas nacionais e atender as características vegetais exigidas na definição apresentada por Penman (1956), havendo necessidade porém, de se especificar o tamanho adequado da área cultivada e bordadura considerando efeito oásis.

Os métodos de medição de evapotranspiração podem ser classificados em: *depleção de água do solo; dos tanques e lisímetros; do balanço de água; do balanço de energia e combinação do balanço de energia e transferência de calor e massa.* Destes o único capaz de fornecer medida direta da evapotranspiração, usado freqüentemente para avaliar efeitos climáticos na evaporação e nos métodos de estimativas, é o do *lisímetro*, Jensen (1974).

γ O termo lisímetro conforme Santos (ca.1989), é derivado do vocábulo grego “*lysis*”, significando “*perda*” e tem sido definido como um aparelho que mede a percolação da água através dos solos. São grandes recipientes preenchidos com solo (sem estrutura), ou envolvendo blocos de solo (com estrutura), com superfície nua ou cobertas com vegetação (culturas ou grama), usados na determinação da evapotranspiração de uma cultura em crescimento, de uma cultura de referência ou evaporação da água de um solo nu. Os lisímetros podem ser classificados em dois grandes grupos, de acordo com o método com que é feito o seu balanço de água; os de *pesagem* e os de *não-pesagem*. Os do segundo grupo são conhecidos, com base no seu princípio de funcionamento como: de drenagem, de compensação ou volumétrico e de nível constante, Aboukhaled (1982). Os *lisímetros de não-pesagem* são sinônimos de *evapotranspirômetros* ou *lisímetros método volumétrico* (tendo como

princípio o balanço volumétrico de água no sistema para um volume controlado de solo, fornecendo leituras com precisão satisfatória para tempos maiores que os empregados nos lisímetros de pesagem), ou ainda *lisímetro tipo Thornthwaite & Mather*, Santos (ca.1989), Berlato e Molion (1981) e Aboukhaled (1982). Lisímetros de *pesagem* são evidentemente, instrumentos mais precisos e permitem medidas da evapotranspiração para períodos de tempos menores. Ometto (1981), mais genérico nas definições, chama de evapotranspirômetro, tanques em que o potencial de água no seu interior `a disposição da cultura é constante e igual ao potencial necessário a manter a cultura sem restrições quanto a água, ou seja evapotranspirômetro mede a demanda máxima de água pela planta (evapotranspiração potencial-ETp), e os lisímetros são tanques semelhantes com sensibilidade mínima de 0,5 mm e máxima de 0,05 mm, e mede a evapotranspiração real-ETr.

O balanço de água no solo, a uma profundidade  $z$ , durante um intervalo de tempo  $(t_2 - t_1)$ , pode ser representado pela equação (1), apresentada por Scalopi (1972):

$$\int_{t_1}^{t_2} [(P - Q) - E - Vz] dt = \int_{z_1}^{z_2} \int_0^z \left( \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) dz dt \dots\dots\dots (1)$$

onde:

$P$  representa a precipitação e irrigação;  $Q$ , o deflúvio de superfície e sub-superfície;  $E$ , a evapotranspiração;  $Vz$ , o fluxo descendente líquido de água à profundidade  $z$  e,  $\theta$ , representa o teor volumétrico médio de água na camada de solo considerada.

Geralmente os termos da equação 1, exceto  $\underline{E}$ , podem ser medidos ou estimados e o valor de  $\underline{E}$ , obtido por diferença. Durante períodos sem chuvas ou irrigação, a equação 1, se reduz a:

$$\int_{t_1}^{t_2} E dt = \int_{z_1}^{z_2} \int_0^z \left( \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) dz dt \dots\dots\dots(2)$$

Neste caso, o fluxo insaturado da água no solo é desprezado, o que não constitui erro apreciável na maioria das vezes, e a equação simplificada, apresenta inúmeras vantagens práticas, Scalopi (1972).

A evapotranspiração também pode ser estimada através de relações climatológicas empíricas, utilizando equações com coeficientes devidamente ajustados. Com o desenvolvimento da eletrônica nos últimos anos, surgiram instrumentos que resolvem automaticamente a equação do balanço de energia, dando como resultado a evaporação e instrumentos que estimam a evapotranspiração através do método das correlações turbulentas. Como exemplo desses instrumentos são o *Evapotran* e o *Fluxatron*, Berlato e Molion (1981), além dos instrumentos de larga utilização como os atmômetros (evaporímetro de Piche, atmômetro de Livingstone, Placas de Bellani) e os tanques de evaporação (Classe A, GGI-3000, etc.).

Atualmente vem sendo muito utilizado no Brasil o evapotranspirômetro de nível freático constante ou lisímetros de não-pesagem, para a determinação do valor da evapotranspiração potencial de cada fase fenológica de plantas cultivadas. Para estimar a evapotranspiração máxima de uma cultura a partir do valor referencial ( $E_{To}$ ), usa-se o coeficiente de cultura "Kc". Esse coeficiente adimensional proposto inicialmente por Van Wijk & De Uries, é definido como a razão entre a evapotranspiração máxima de uma cultura -  $E_{Tmáx.}$ , cultivada sem restrições de água

e a evapotranspiração de referência -  $ETo$ , Wright (1972). A adequação das necessidades de água de cada cultura, em seus diferentes estádios de desenvolvimento, é realizada com o emprego do coeficiente de cultura,  $Kc$ .

∞ Conforme Holmes, citado por Pereira (1984), o coeficiente de cultura ( $Kc$ ), varia com a textura, e teor de umidade do solo e com a profundidade do sistema radicular. Este coeficiente também depende das características fisiológicas da planta, bem como da capacidade evaporativa da atmosfera e o seu valor varia ao longo do ciclo da cultura. Entretanto o conceito de  $Kc$  tem sido usado extensivamente para estimar a necessidade real de água de uma cultura particular por meio de estimativas ou medições de  $ETo$ . O conhecimento dos valores do coeficiente de cultura é essencial em projetos de irrigação, pois permite determinar *quando* e *quanto* irrigar, mediante o uso dos dados meteorológicos, parâmetros físicos do solo e condições de manejo da cultura.

\*Segundo Sedyama (1988), do ponto de vista de um balanço de energia, o  $Kc$  representa a fração de energia calorífica convertida em calor latente. Tendo em vista apenas os maiores termos energéticos do sistema solo-planta-atmosfera, ele pode ser dado pela equação:

$$Kc = (Rn + G + H) \cdot (Rno + Go + Ho)^{-1}, \dots\dots\dots(3)$$

onde:

$Kc$  é o coeficiente de cultura, adimensional;  $Rn$  corresponde ao fluxo do saldo de radiação dado em langley.dia<sup>-1</sup>;  $G$  corresponde ao fluxo de calor sensível no solo, dado em langley.dia<sup>-1</sup> e  $H$  corresponde ao fluxo de calor sensível no ar dado em langley.dia<sup>-1</sup>. O índice zero designa os valores concorrentes para a cultura de referência.

\*Hillel (1990), enfatiza que variações no coeficiente de cultura  $K_c$ , são devidas principalmente as alterações ocorridas nas plantas, ou seja, diferenças de altura, rugosidade, grau de cobertura e resistência a transpiração (resistência estomática). A utilização do  $K_c$  inadequado para determinados locais pode provocar erros consideráveis na determinação de lâminas de irrigação. Daí, quando a evapotranspiração de referência -  $E_{To}$ , for estimada e não medida, deve-se adotar um método com base em correlações climatológicas empíricas mais adequadas às condições locais e temporais.

Segundo Aubertin e Peter (1961), as taxas de evapotranspiração são governadas principalmente pelo saldo de radiação e pela quantidade de água presentes no solo. Observaram ainda que para maiores densidades de plantio de milho, em condições de deficiência hídrica, a eficiente captação da radiação solar pode conduzir a um aumento da transpiração, conseqüentemente a um severo murchamento.

\*Em pesquisas agrícolas o efeito da advecção local (troca de energia, umidade ou momentum devido a heterogeneidade horizontal), tem sido usualmente negligenciado assumindo-se desta forma a uniformidade do microclima e do fluxo evaporativo, Silva (1989). Em locais onde a advecção é significativa, os valores de  $E_{to}$  medido, podem resultar em razoável erro na determinação do  $K_c$  para uma dada cultura.

\*Doorenbos e Pruitt (1977), propõem quatro métodos com base em relações climatológicas para a estimativa da evapotranspiração: método de Penman, método de Blaney & Criddle, método da Radiação Solar e o método do Tanque Classe A. Todos

com coeficientes de correção, apresentados em forma de tabelas, gráficos e/ou equações ajustadas.

Segundo Maeno (1993), os fatores de correção do método Blaney-Criddle, apresentados por Doorenbos e Pruitt em 1977, foram desenvolvidos, utilizando informações de 20 localidades, cultivadas com grama, trevo, alfafa e uma combinação de grama-leguminosa, como culturas de referência. A variação máxima de temperatura de uma localidade a outra, foi de até 10 graus centígrados.

Luitgards de Moura (1990), determinou a evapotranspiração máxima de uma cultura de milho comum (*Zea mays* L.), durante todo o ciclo o correspondente a 530,47 mm, com lâmina média de 4,08 mm.dia<sup>-1</sup> e, a fase fenológica que apresentou maior consumo de água foi do pendoamento ao espigamento.

Mukand e Bruce , citados por Chang (1971), afirmam que a importância relativa da radiação sobre a evapotranspiração potencial é de 80%, da umidade do ar é de 6% e do vento de 14%.

Segundo Denmead e Shaw (1959), a cultura do milho se aproxima das condições de uma cultura verde em crescimento ativo, cobrindo completamente o solo por um período de 2 a 3 semanas durante a estação de crescimento. Durante este período, eles encontraram uma relação  $ET_{m\acute{a}x.p}/ET_o$  de 0,81. Antes deste período a relação foi menor e associada ao incremento de área foliar e, depois, diminuiu com o declínio da atividade fotossintética da cultura.

Face as dificuldades para se determinar a evapotranspiração diretamente, diversos métodos empíricos com base em relações climatológicas são apresentados na literatura e destes, selecionou-se os seguintes: Linacre, Radiação Solar, Tanque

Classe A, Thornthwaite, Blaney & Criddle, Hamon, Hargreaves, Makkink, Penman, Papadakis, Budyko.e Penman modificado. Sendo que, os métodos de Thornthwaite, Blaney & Criddle e Budyko são com base na temperatura, Tanque Classe A com base na evaporação da água, Makkink e Radiação Solar, com base na radiação, Linacre e Hargreaves com base na temperatura e umidade do ar. Papadakis e Hamon com base na umidade e o método de Penman e suas modificações, são considerados métodos combinado, por utilizarem o balanço de energia e o fator aerodinâmico local.

As evidências experimentais mostram que o método de Penman é o melhor para a maioria das condições climáticas do globo terrestre, por considerar um número maior de parâmetros que estão envolvidos no processo, Chang (1971); Doorenbos e Pruitt (1977). Entretanto, o método de Penman apresenta o inconveniente (limitações para o seu uso) de requerer um grande número de informações meteorológicas as quais, em muitas regiões, nem sempre são disponíveis. A nível de campo, tem sido recomendado a determinação da evapotranspiração com o uso de evaporímetros, sendo um deles o Tanque classe A. Várias são as pesquisas que relatam a sua utilização em estimativas de evaporação e evapotranspiração, devido ao seu baixo custo de fabricação e instalação, a facilidade de detectar e consertar vazamentos e a fácil manutenção e limpeza.

Castro Neto e Soares (1989), avaliaram sazonalmente vinte e três métodos de estimativa de evapotranspiração de referência diária em Lavras, estado de Minas Gerais e, encontraram nos métodos de Penman e Makkink, os mais adequados regionalmente para os períodos secos, sendo que para os períodos chuvosos os melhores resultados foram encontrados com os métodos de Ostromeck e de

Thorntwaite. Todos os métodos estudados foram comparados com os valores de evapotranspiração de referência medido em lisímetros de drenagem, em bateria de seis tanques.


Stanhill, citado por Chang (1971), fez uma comparação entre cinco métodos de estimativa da evapotranspiração, levando em consideração os critérios; precisão, custo e tempo necessário para se determinar a evapotranspiração potencial, concluindo que quando se considera todos os fatores, o Tanque classe A é o método mais satisfatório para o uso no campo.

Embora apresente certa similaridade física, o processo de evaporação não é idêntico ao de evapotranspiração, pois mesmo com total abertura estomática, a resistência à dispersão do vapor de água é maior nas folhas do que na água livre. A evapotranspiração potencial depende do poder evaporante do ar que é determinado pela radiação, vento, umidade e temperatura do ar, Chang (1971). Por outro lado, o balanço de energia e a rugosidade aerodinâmica das superfícies da água diferem daquela com a vegetação. Apesar dessas diferenças, a evapotranspiração de referência pode ser estimada por tanques de evaporação com o uso de um coeficiente adequado, pré-determinado, o coeficiente do tanque ( $K_p$ ). Doorenbos e Pruitt (1977), apresentaram o coeficiente  $K_p$ , que transforma a evaporação medida no Tanque classe A em  $E_{To}$ , de acordo com as condições de instalações do tanque, valores médios de umidade relativa do ar e de velocidade do vento.

Sabe-se hoje, que a relação entre a taxa de evapotranspiração e a tensão de umidade do solo depende dentre outros, fatores como a textura do solo, condutividade hidráulica do solo, profundidade e desenvolvimento do sistema radicular,

densidade da vegetação e condições atmosféricas, Kramer (1969), Denmead e Shaw (1962). A redução do teor de umidade do solo, com conseqüente redução do potencial de água, pode causar um desbalanceamento no equilíbrio de potenciais necessários à manutenção de uma dada taxa de transpiração, fazendo com que esta se reduza com o fechamento dos estômatos, Gardner (1960).

Há muita controvérsia quanto ao efeito da umidade do solo no decréscimo da relação entre evapotranspiração real e potencial ( $E_{Tr}/E_{Tp}$ ). Uma das teorias mais antigas foi proposta por Veihmyer & Hendrickson, citados por Berlato e Molion (1981) e Reichardt (1985), onde afirmam que a relação  $E_{Tr}/E_{Tp}$ , permanece igual a unidade até o ponto de murcha permanente (PMP), quando então cai bruscamente. Outros pesquisadores concluíram que  $E_{Tr}/E_{Tp}$ , apresenta um declínio linear com o decréscimo da disponibilidade de água para as plantas, a partir da capacidade de campo até o PMP. Já um terceiro grupo defende a teoria de que a relação  $E_{Tr}/E_{Tp}$ , é linear, entretanto tal relação cai a zero somente quando o solo apresenta pressão de sucção acima do ponto de murcha permanente ( $> 15 \text{ bar}$ ). As maiores divergências deste último grupo, estão no ponto (teor ou percentagem da água disponível), a partir do qual ocorre decréscimo da taxa de  $E_{Tr}$ , e da forma como este decréscimo se processa. Estes dados conflitantes não são devidos a erros experimentais mas atribuídos às diferentes condições em que foram realizados os experimentos, Chang (1971). Bachards e Wadleigh citados por Kramer (1969), estudando o fenômeno da disponibilidade de água, verificaram que este diminui com a redução da umidade do solo; mesmo antes de chegar ao ponto de murcha permanente, a planta sofre interferências negativas no seu processo de desenvolvimento. Denmead e Shaw (1962),



concluíram que a transpiração e o crescimento da planta se encontram limitados a um nível mais alto de teor de água no solo, em dias de sol, com maior demanda evaporativa da atmosfera, do que em dias com menor demanda evaporativa.

A duração do ciclo da cultura do milho é variável com a forma cultivada e com o ambiente, mas dura sempre menos de um ano. São fatores dominantes por um lado, a hereditariedade, a correlação entre a forma, dimensões e poder de divisão celular com a organização estrutural, a existência de auxinas ou hormônios de crescimento elaborados pela própria planta e, por outro lado, a temperatura, a luz, a gravidade, o fornecimento de água e de nutrientes, a influência de doenças e pragas, etc.. Watson (1952), afirma que a planta tem sua constituição genética que interage com fatores externos nos processos fisiológicos no que resultam fenômenos de crescimento e desenvolvimento. Brunini (ca. 1989), cita dois fatores que podem causar variações no ciclo da cultura do milho: a) altos teores de nitrogênio promovem maiores crescimento vegetativo e atrasam a maturação e, b) altos teores de fósforo propiciam a maturação mais rápida, mas é sabido que os nutrientes dependem do teor de umidade do solo para se deslocarem até a rizosfera e desta para o interior das raízes. Uma baixa população de plantas atingirá a maturação mais rapidamente que uma população mais densa. Este fato relaciona-se com o balanço de energia disponível as plantas.

No fator planta, o consumo de água ao longo de seu ciclo é diferenciado quantitativamente, Gangopadhyaya (1966). Tais variações na quantidade de água consumida, relaciona-se intimamente com as fases fenológicas da cultura. Vários critérios têm sido utilizado em pesquisas microclimáticas agrícolas para avaliação de estádios de desenvolvimento da cultura, como números de dias do calendário após o

plântio, número de dias do calendário após a emergência, altura das plantas, índice de área foliar, acúmulo de graus-dias, taxa de cobertura do solo, etc. A duração das fases fenológicas de uma cultura avaliada pelo número de dias do calendário varia bastante entre regiões, anos e datas de plântio, em razão das freqüentes mudanças das condições do tempo e das diferenças climáticas. A utilização apropriada de variáveis meteorológicas, que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas, permite determinar com maior precisão a duração das fases fenológicas das plantas cultivadas, Oliveira Nunez (1986).

Conclui-se, que a duração de cada fase fenológica depende dos elementos do complexo ambiental que exercem ação preponderante no desenvolvimento vegetal. Uma forma de caracterizar cada uma dessas fases é com a utilização dos *Graus-dia*.

Ometto (1981), conceitua *graus-dia* como o acúmulo diário da energia que se situa acima da condição mínima e abaixo da máxima exigida pela planta. O conceito de *graus-dias* baseia-se em observações de que o crescimento e o desenvolvimento das plantas em diversos ecossistemas são mais relacionados com o acúmulo de temperatura acima de um certo valor base do que apenas com tempo. A temperatura base considerada no conceito de *graus-dia* é definida em base fisiológica, como a menor temperatura na qual o desenvolvimento da planta é nulo, esta temperatura pode variar de cultivar para cultivar, ou mesmo dentro de uma cultivar em função do sub-período considerado. Abaixo da temperatura-base a planta não se desenvolve e, se o fizer, será a uma taxa muito reduzida. Isso se baseia no fato de que uma planta necessita de certa quantidade de energia, representada pela soma de graus

centígrados acima do valor da temperatura-base para completar determinada fase fenológica ou mesmo, seu ciclo total. Tal soma seria constante (constante térmica), independente da época de plantio ou do local, Camargo (1984). Berlato e Matzanauer (1984), estudando a relação entre temperatura e o aparecimento de fases fenológicas do milho utilizando três métodos de determinação de *graus-dia* (método das máximas e mínimas corrigidas, método das máximas e mínimas sem correção e método da média das 24 horas do dia), encontraram regressão linear (tendo variável independente a temperatura média), para a faixa de variação de temperatura ocorrida durante a realização do experimento (19 - 26°C), que explicou com suficiente aproximação, a variação da duração dos sub-períodos fenológicos estudados (emergência, pendoamento e espigamento), para os três híbridos de milho (Pioneer 309-B, Pioneer X-307 e SAVE 231). A determinação de *graus-dia* associada com observações fenológicas poderá ser útil no estabelecimento de fases e duração dos estádios críticos de desenvolvimento para a maioria das culturas anuais. O conhecimento das exigências de *graus-dia*, desde a germinação até a maturação, juntamente com as exigências hídricas (*Kc*), é fundamental para uma melhor compreensão das relações entre cultura e o ambiente Oliveira Nunez (1986). Este, estudou quatro métodos de cálculo de *graus-dia* (Residual, Villa Nova, Villa Nova modificado e método Brow), onde foram comparados para a determinação dos *graus-dia* acumulado desde a emergência até a maturação fisiológica dos cultivares de milho comum, BR 120, AG 260 e Pioneer 6875. O método Brow foi o que apresentou menor coeficiente de variação e menor desvio padrão expresso em dias, para todas as fases fenológicas das três cultivares. Tal método consiste num índice derivado do somatório

de temperaturas máximas e mínimas durante a estação de crescimento, encontrando a temperatura ótima para o crescimento, de 30 graus e a temperatura mínima de 10 graus, temperaturas abaixo de 10 não têm efeito na taxa de crescimento. A complexidade dos elementos que afetam o crescimento das culturas agrícolas podem ser simplificadas e expressa por alguns índices que traduzem de forma satisfatória o desenvolvimento vegetal. A análise quantitativa do crescimento vegetal foi desenvolvida primeiramente por fitofisiólogos da escola inglesa e é considerada internacionalmente como o método padrão para estimativa da produtividade das comunidades vegetais. Por meio da análise de crescimento avalia-se a produção líquida das plantas derivadas do processo fotossintético, a qual é o resultado do desempenho do sistema assimilatório durante um certo período de tempo, Magalhães (1979).

Dentre os índices de avaliação do crescimento e desenvolvimento vegetal tem-se; TCC - taxa de crescimento da cultura (que representa a variação de matéria seca com o tempo e expressa o resultado do saldo entre fotossíntese, durante o período de brilho solar, menos as perdas respiratórias da cultura.), TCR - taxa de crescimento relativo (que é obtida pela relação entre TCC média e a matéria seca correspondente, representando a quantidade de matéria seca produzida por matéria seca já existente.), IAF - índice de área foliar (indica a área foliar pela projeção dessa área sobre o solo, e mostra a capacidade que a planta tem de explorar o espaço disponível.), RAF - razão de área foliar (é o quociente entre o IAF e a matéria seca total da planta.), TAL - taxa de assimilação líquida (é a razão entre TCC e o IAF e representa o balanço entre o material produzido pela fotossíntese e o perdido através

da respiração, indicando a eficiência fotossintética da planta), Silva (1995). Destes índices utilizou-se o IAF associado a altura das plantas, para quantificar as variações de biomassa vegetal na curva de consumo de água ao longo do ciclo das plantas, definido pelo acúmulo de *graus-dia* ou constantes térmicas.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local.

A pesquisa foi desenvolvida na área experimental do setor de Bioclimatologia no Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras, situada na região sul do estado de Minas Gerais, geograficamente definida pelas coordenadas; 21° e 14' de latitude sul, 45° 00' de longitude oeste de Greenwich e altitude de 918,84 metros. Apresenta clima de transição<sup>1</sup> entre "Cwb" (úmido, seco de inverno), e "Cwa" (sub-tropical a temperado propriamente dito), de acordo com a classificação climática proposta por Wladimir Wilhelm Köppen, citado por Ometto (1981). O balanço hídrico mostra que as chuvas não são bem distribuídas, havendo excesso de água nos meses de novembro a março, e deficiência no período de abril a agosto, Castro Neto (1988).

---

<sup>1</sup> Temperatura média anual normal: 19,4°C; Temperatura média mínima anual normal: 14,8 °C; Temperatura média máxima anual normal 26,1 °C; Temperatura máxima absoluta normal 34,8 °C; Temperatura mínima absoluta normal 1,8 °C; Precipitação total anual: 1529,7 mm; Altura máxima de precipitação em 24 horas: 165,8 mm; Evaporação total: 1034,3 mm; Umidade relativa normal do ar: 76,2%; Insolação total normal 2483,4 horas e nebulosidade índice normal igual 4,8. Fonte: BRASIL - Ministério da Agricultura. Normais Climatológicas. Brasília, 1992. 84p.

### 3.1.1 Solo.

O solo do local foi descrito e classificado como Latossolo Roxo (solos profundos, argilosos, bem drenados e de coloração arroxeada, formados a partir de rochas eruptivas básicas, com sub-horizontes pouco individualizados, com transições variando de graduais a difusas), distrófico, de textura muito argilosa relevo suave ondulado substrato gnaisse. Pela classificação Americana (U.S.D.A. Soil Survey Staff-1976), este solo é classificado como Typic Acrorthox (Acrustox), argiloso, muito fino, oxidico, térmico (isotérmico), Andrade (1979); Freire (1979). Apresenta um perfil homogêneo e muito profundo, com lençol freático a vários metros abaixo da superfície.

Este material de solo<sup>1</sup>, apresentou ascensão de água por capilaridade da ordem de 40 cm, em colunas de solo com 4 e 6 polegadas de diâmetro, mantendo uma umidade média de 0,2552 g.g<sup>-1</sup>, Figura 1-a. Para a determinação da curva de retenção de água no solo, foram coletados amostras de solo, deformadas, para as profundidades de 0 -20; 20 - 40 e 40 - 60 cm, com três repetições, dentro e fora dos tanques lisimétricos.

As amostras foram previamente saturadas em laboratório e submetidas à processos de secagem com tensões que variaram de 0,02 a 15 atmosferas, Tabela 2. Os valores obtidos, para cada profundidade, foram ajustados ao modelo proposto por Van Genuchten (1980):

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \cdot [1 + (|\alpha| \cdot \psi_m)^n]^{-m} \dots\dots\dots(4)$$

---

<sup>1</sup> Partiu-se de uma amostra representativa de um perfil 0-50 cm, peneirada em malha de 4mm, seco ao ar e, após 21 dias determinou-se a umidade ao longo das colunas de solo. A umidade em base peso deste material de solo, correspondente a uma tensão de 0,33 atmosferas foi igual a 25,51%.

onde; " $\theta$ ", " $\theta_s$ " e " $\theta_r$ " representam, respectivamente, a umidade volumétrica ( $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ) associada a um potencial mátrico  $\psi_m$ , umidade volumétrica de saturação ( $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ) e umidade volumétrica residual ( $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ) obtida a 15 atmosferas, "n", "m" e " $\alpha$ " são parâmetros empíricos do modelo (constantes que dependem do tipo de solo), " $\psi_m$ " corresponde ao potencial mátrico em valores positivos. A Tabela 2 apresenta os valores de umidade em base por peso para cada tensão correspondente ao longo do perfil e a Figura 1-b, fornece a curva característica ajustada. Para a caracterização físico-hídrica e de fertilidade utilizou-se de amostras retiradas dentro e fora dos tanques lisimétricos, com estrutura deformada e indeformada em três e quatro profundidades. As análises foram feitas no Laboratório de Solos do Departamento de Ciência do Solo, da Universidade Federal de Lavras, Tabelas 1, 2 e 3. A Figura 1-c, mostra o comportamento do solo em relação ao processo de infiltração instantânea e acumulada (utilizou-se de infiltrômetros de anéis concêntricos ou infiltrômetros de *Muntz*).

TABELA 1 - Densidade de partículas e densidade global associada a granulometria, em quatro camadas do perfil 0-80 cm, do solo constituinte da área experimental. UFLA-Lavras, 1994.

Camada (cm)	Areia(%)	Silte(%)	Argila(%)	Densidade de Partículas ( $\text{g.cm}^{-3}$ )	Densidade Global ( $\text{g.cm}^{-3}$ )
0 - 20	20.0	28.0	52.0	2.89	1.74
20 - 40	15.0	16.0	69.0	2.56	1.28
40 - 60	11.0	20.0	69.0	2.50	1.30
60 - 80	13.6	20.3	66.1	2.52	1.20

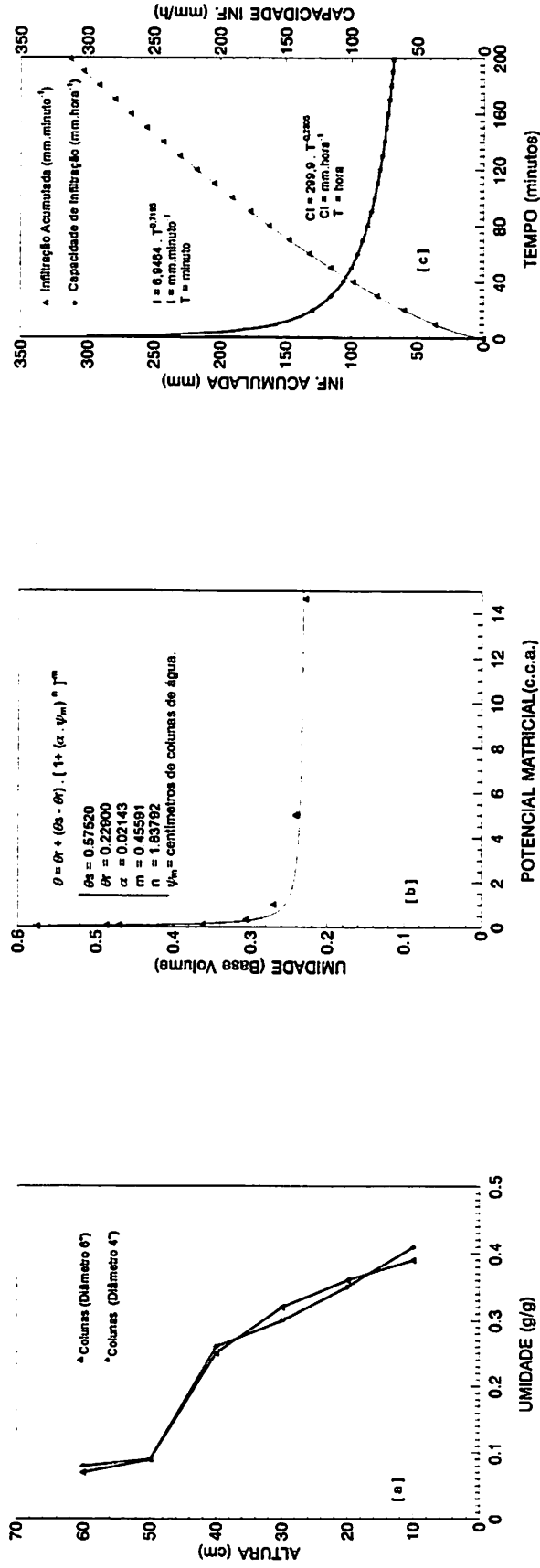
TABELA 2 - Características físico-hídricas do solo eferente a área experimental (umidade expressa em  $\text{g.g}^{-1}$ ). UFLA - Lavras, 1994.

Camadas (cm)	Tensão 0,02 Atm	Tensão 0,04 Atm	Tensão 0,06 Atm	Tensão 0,10 Atm	Tensão 0,33 Atm	Tensão 1,0 Atm	Tensão 5,0 Atm	Tensão 15,0 Atm
0 - 20	0.5108	0.4907	0.4789	0.3607	0.2811	0.2596	0.2431	0.2193
20 - 40	0.6395	0.4847	0.4608	0.3634	0.3315	0.2810	0.2405	0.2393
40 - 60	0.5752	0.4877	0.4699	0.3621	0.3063	0.2703	0.2418	0.2293
média	0.5752	0.4867	0.4699	0.3621	0.3063	0.2703	0.2418	0.2293

TABELA 3 - Características químicas<sup>1</sup> do solo referente a área experimental na camada 0-30 cm. UFLA, Lavras-1994.

P	K <sup>+</sup>	pH	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Al <sup>+++</sup>	H+Al <sup>+++</sup>	S	t	T	m	V
3,0	45,0	5,2	1,5	0,5	0,1	4,0	2,1	2,2	6,1	5,0	35,0

<sup>1</sup> pH<sub>(água)</sub> = Potencial de Hidrogênio em água; "S" = Soma de bases catiônicas água; "T" = Capacidade de troca catiônica; "V" = Saturação de bases expressa em percentagens; "H" = Íons de Hidrogênio + Alumínio expressos em  $\text{meq.cm}^{-3}$ ; Mg<sup>++</sup> = Íons Magnésio expressos em  $\text{meq.cm}^{-3}$ ; Al<sup>+++</sup> = Íons Alumínio expressos em  $\text{meq.cm}^{-3}$ ; Ca<sup>++</sup> = Íons de Cálcio expressos em  $\text{meq.cm}^{-3}$ ; K<sup>+</sup> = Íons de Potássio expressos em partes por milhão (ppm); P = Íons de Fósforo expressos em partes por milhão (ppm).



**FIGURA 1** - Ascensão de água por capilaridade em colunas de solo com 4 e 6 polegadas de diâmetro (Latossolo roxo distrófico), [a]. Curva característica de umidade do solo constituinte da parcela experimental, ajustada pelo modelo proposto por Van Genuchten (1980), com potencial mátrico expresso em centímetros de coluna de água - c.c.a. [b]. Curva de infiltração acumulada e instantânea do solo utilizado na área da parcela experimental [c]. UFLA-Lavras, 1994.

## **3.2 Instalação do Experimento.**

### **3.2.1 Preparo do solo.**

Efetou-se a calagem com 48 dias de antecedência ao plantio ( na dosagem de  $340 \text{ kg.ha}^{-1}$ , utilizando o critério do Alumínio e Cálcio + Magnésio trocáveis). Em seguida foi aplicado herbicida Glifosate na dosagem de  $3,5 \text{ l/ha}$ . A aração do solo foi feita em seguida utilizando arado tipo aiveca reversível, com profundidade de aração igual a  $30 \text{ cm}$  e posterior gradagem. A área experimental compreendia em  $180 \text{ m}^2$  ( $18 \times 10\text{m}$ ), com os tanques lisimétricos dispostos no centro da parcela. Os detalhes da área são mostrados na Figura 2.

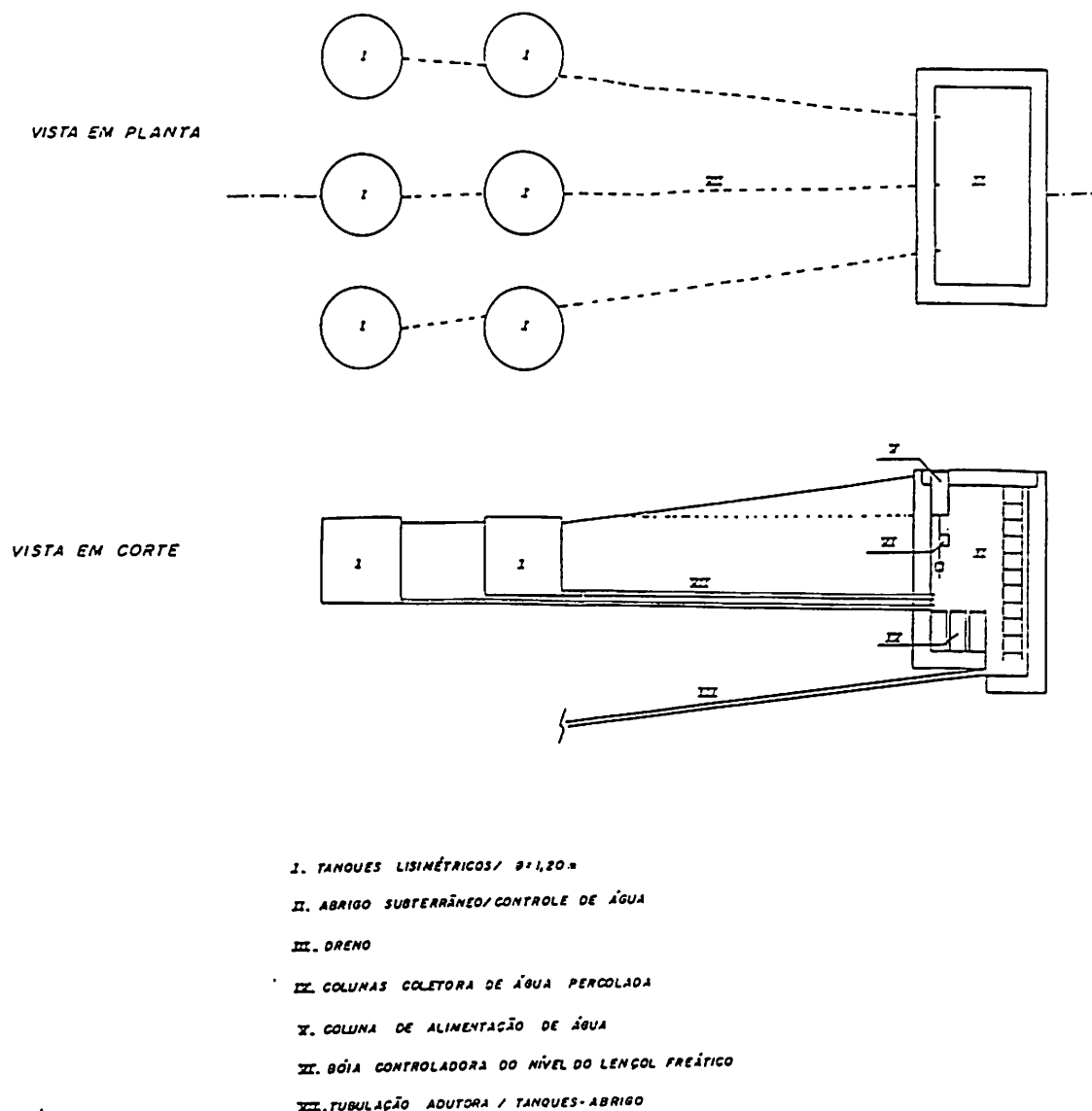
### **3.2.2 Adubação.**

A adubação foi feita com base na análise química do solo e conforme Comissão ... (1989). Constou de  $90 \text{ Kg.ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $50 \text{ Kg.ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  e  $8,3 \text{ Kg.ha}^{-1}$  de N aplicados juntos no instante do plantio. Como fonte de N, P, e K foram utilizados respectivamente, uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio. Aos 35 dias após a emergência foi feita adubação nitrogenada, em cobertura, na dosagem de  $20 \text{ Kg.ha}^{-1}$  de nitrogênio em forma de uréia.

### **3.2.3 Preparo dos lisímetros.**

Foi retirado todo o volume de terra de cada lisímetro (Figura 2), até uma profundidade de  $80 \text{ cm}$ , e depois recolocado de forma estratificada obedecendo a seqüência original do substrato, com objetivo básico de amenizar possíveis variações de densidades dentro dos tanques lisimétricos. Em seguida deixou-se os tanques

expostos às condições atmosféricas e submetidos a um lençol de água constante com 40 cm de profundidade, efetuando leituras periódicas até a demanda hídrica atmosférica medida nos tanques serem estatisticamente iguais (coeficiente de variação entre os tanques menor que 5%).



**FIGURA 2.** Esquema dos tanques lisimétricos com detalhes dos dispositivos de funcionamento (colunas de alimentação e colunas coletoras de água percolada). UFLA - Lavras, 1994.

### 3.2.4 Semeadura.

A aproximadamente 4 cm de profundidade e espaçadas de 85 cm entre linhas, onde foram distribuídas 11 sementes por metro linear. Foram efetuados dois desbastes, o primeiro aos 10 e o segundo aos 16 dias após a emergência, resultando num estande final igual a 7 plantas por metro linear, Figura 3-b.

Utilizou-se o Milho Pipoca ( *Zea mays* L. grupo genético everta), cultivar CSM-43. Grãos branco redondo, oriunda do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo-EMBRAPA, Sete Lagoas-MG. Cultivar que caracteriza-se por apresentar boa adaptação climática e tolerância às principais doenças da cultura, para as condições do sul do estado de Minas Gerais.

Antes da sementeira foi efetuada a caracterização do perfil do lote de sementes o que demonstrou bom estado sanitário e alto valor cultural, Tabelas 4 e 5.

TABELA 4 - Percentagem de microorganismos recuperados (método do papel de filtro), em sementes de milho pipoca cultivar CMS-43. Laboratório de Patologia de Sementes (LPS).UFLA - Lavras, 1994.

Microorganismos	Detectados(%)
Fusarium moniliforme	26,00
Penicillium sp	1,25
Cephalosporium sp	20,50
Nigrospora sp.	0,25
Trichoderma sp.	0,25

**TABELA 5 - Resultado da avaliação da qualidade fisiológica de sementes milho pipoca cultivar CMS-43. Laboratório de análise de sementes (LAS). UFLA - Lavras, 1994.**

Avaliações	Resultados (%)
Teste padrão de germinação	99,0
Vigor (teste tetrazólio)	97,0
Tetrazólio (nível de vigor)	83,0
Tetrazólio (pot. germinação)	98,0

### 3.2.5 Irrigação da bordadura.

A irrigação da bordadura, feita manualmente e de forma localizada, ou seja, diretamente nas linhas de plantio, foi realizada, tomando como referência os potenciais matriciais lidos diariamente às 7:00 h., nos tensiômetros instalados na bordadura experimental. Assumiu-se o potencial de 100 centímetros de coluna de água (c.c.a.), como indicativo do *momento de irrigar*.

### 3.2.6 Amontoa.

Feita três vezes ao longo do ciclo da cultura, sendo uma após o primeiro desbaste outra após o segundo desbaste, e a última por ocasião da 26ª pântada, época de altas intensidade de ventos no local, o que torna as plantas da parcela experimental, vulneráveis ao tombamento.

### 3.2.7 Lisímetro de lençol freático constante e consumo de água.

Foi utilizada uma bateria de três tanques lisimétricos com cultivo de Milho pipoca (*Zea mays* L. g. g. everta), e uma outra bateria idêntica com cultivo de grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge ). As baterias foram construídas com tanques de fibra de vidro com forma geométrica circular, diâmetro igual a 1,2 m e altura de 1,2m,

apresentando portanto uma área exposta de  $1,13 \text{ m}^2$ . Os tanques foram enterrados no solo deixando-se aproximadamente 5 cm acima da superfície. Cada tanque encontrava-se interligado a um abrigo subterrâneo, através de tubos de PVC com diâmetros iguais a 25,4 mm, estes tubos estavam conectados a um reservatório de nível constante controlado por bóia através de tubos flexíveis (6,0 mm). Tais reservatórios eram ainda interligados também por tubos flexíveis (6,0 mm), a uma coluna de alimentação d'água, com graduação a cada 0,05 litros o que proporcionava leituras de evapotranspiração de até 0,035 mm, Figura 3-a. Para colocar o sistema em operação, abasteceu-se a coluna de alimentação por várias vezes até que por ascensão capilar o solo estivesse umedecido e, até que o consumo de água nos tanques lisimétricos restringissem-se à demanda atmosférica. Após a estabilização, a água foi fornecida ao reservatório de alimentação até que a marcação no tubo externo da coluna de alimentação indicasse o nível zero.

Na ausência da evapotranspiração o nível permanecia constante. Ocorrendo evapotranspiração, o nível de água do lençol freático baixava, acionando a abertura do sistema válvula-bóia nos reservatórios intermediários de nível constante, possibilitando assim, a entrada de água das colunas de alimentação. O nível do lençol freático em relação à superfície do solo nos tanque lisimétricos cultivados com milho, foi mantido à 40 cm até 20 dias após a emergência (corresponde a 6<sup>a</sup> pântada), sendo posteriormente rebaixado para 65 cm.

O abrigo subterrâneo encontrava-se protegido por uma chapa de zinco galvanizada. Nos tanques lisimétricos foram deixados uma borda em torno de 5 cm acima da superfície do solo visando evitar entrada ou saída horizontal de água das

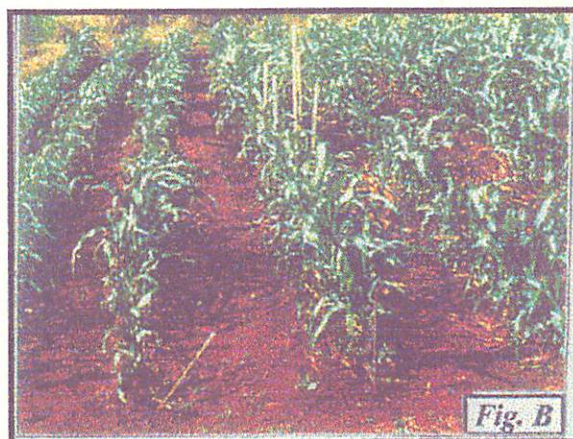
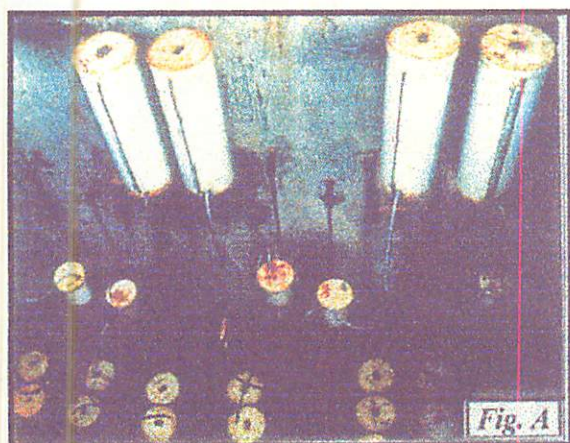
chuvas, Figura 3-b. Nos tanques lisimétricos cultivados com grama, tanto os lisímetros quanto as áreas circunvizinhas foram vegetada com grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge), mantida com altura adequada através de cortes periódicos conforme padronização proposta pela FAO (Smith 1991), que diz “vegetação com 0,12m de altura, o que oferece uma resistência do dossel igual a  $69 \text{ s.m}^{-1}$ , e albedo esperado igual a 23%”. Foi mantida uma bordadura com aproximadamente 12,5 metros ao redor da bateria de lisímetros adequadamente irrigada de modo a propiciar condições para a obtenção da evapotranspiração potencial. O lençol freático dentro dos tanques cultivados com grama, foi mantido à 30 cm em relação a superfície do solo, durante todo o período experimental. O consumo de água nos tanques lisimétricos foi obtido por meio de leituras diárias por volta das 7:00 horas, desde o plantio e diariamente acrescentava-se água às colunas de alimentação retornando seu nível de água à marca zero, salvo os dias com precipitação pluvial acima de 10 mm. O manejo dos tanques lisimétricos para a medição da evapotranspiração máxima da cultura (ET<sub>máx.</sub>), foi efetuado segundo a equação do balanço de massas para um intervalo de tempo:

$$ET_{máx.} = I + P - D \pm \Delta a \dots\dots\dots(5)$$

onde:

I , altura de irrigação; P , altura pluviométrica; D , lâmina de água drenada; Δa, variação de armazenamento hídrico no interior dos lisímetros. Foram instalados junto à dois tanques lisimétricos cultivados com Milho, uma bateria de quatro tensiômetros em cada (Figura 3-c), sendo dois a 15 cm de profundidade e dois a 30 cm de profundidade, com a função específica de monitorar a dinâmica de fluxo de água e fornecer periodicamente o comportamento do lençol freático nos tanques lisimétricos. Para cada

bateria de tensiômetros no interior dos tanques, instalou-se nas mesmas condições uma bateria de tensiômetros fora dos tanques (bordadura). Também com a mesma finalidade, instalou-se junto aos tanques lisimétricos com grama.



**FIGURA 3** - Colunas de alimentação de água com reservatório intermediário, controlando nível do lençol freático e coletores de água percolada dos tanques lisimétricos [a]. Vista parcial da área experimental com as linhas de plantio dispostas ao longo do tanques lisimétricos e bateria de tensiômetros [b]. Disposição das baterias de tensiômetros dentro e fora dos tanques lisimétricos [c]. UFLA-Lavras, 1994.

### 3.3 Cálculo de Graus-dia e Parâmetros Quantitativos de Desenvolvimento Vegetal.

Para o cálculo dos *graus-dia*, foi utilizado o método *Brown*, no qual se estabelece uma relação entre a taxa diária de desenvolvimento do milho e as temperaturas diurnas e noturnas do ar, conforme a expressão a seguir, Brown (1970):

$$G.D. = \sum_{i=1}^n [ (Y_{máx.i} + Y_{mín.i}) ] \cdot \frac{1}{2} \dots\dots\dots(6)$$

em que, "i" é um índice que varia do primeiro ao último dia da fase fenológica considerada, da cultura.

$$Y_{máx.i} = 3,33 \cdot (T_{máx.i} - 10) - 0,084 \cdot (T_{máx.i} - 10)^2 \dots\dots\dots(7)$$

Esta equação representa a curva parabólica de crescimento durante o dia. O efeito das temperaturas mínimas ficou representado pela *Y<sub>mín.</sub>*, dado pela expressão matemática a seguir:

$$Y_{mín.i} = 1,8 \cdot (T_{mín.i} - 4,4) \dots\dots\dots(8)$$

em que, *T<sub>máx.</sub>* corresponde a temperatura máxima do dia "i" e *T<sub>mín.</sub>*, a temperatura mínima do dia "i" (para o somatório do primeiro dia  $i = 1$ , ao último dia  $i = n$ ), do período de desenvolvimento. Algumas suposições características deste método devem ser destacadas, Silva (1989), dentre elas tem-se que:

- considera-se a temperatura base de 4,4°C durante a noite, assumindo-se um crescimento linear acima deste valor;
- assume-se também que a taxa de desenvolvimento é diretamente proporcional ao aumento da temperatura do ar acima de 4,4°C. A temperatura-base durante o dia é considerada 10°C, assumindo que a temperatura ótima para o crescimento é de 30°C;
- assume-se também um efeito quadrático na relação diurna, sendo que temperaturas acima de 30°C reduzem o desenvolvimento da cultura, Brunini (1980).

A identificação dos estádios de desenvolvimento da cultura foi feita segundo a divisão proposta por Doorenbos e Kassan (1979), que divide o ciclo da cultura em quatro estádios utilizando o critério da taxa de sombreamento ou cobertura do solo, como segue:

Estádio I ..... da emergência até 10% de cobertura do solo.

Estádio II ..... de 10% de cobertura do solo até 80%.

Estádio III ..... de 80% de cobertura do solo até o início da maturação.

Estádio IV ..... início da maturação à colheita.

Para a caracterização dos estádios de desenvolvimento foi avaliado um conjunto de plantas diariamente no momento de *sol a pino* quantificando-se a taxa de sombreamento nas entrelinhas da parcela experimental, sendo que o estabelecimento de um determinado estágio foi considerado quando 50% das plantas apresentaram as características desse estágio. Quinzenalmente, foram aferidos o índice de área foliar (*IAF*), onde a área foliar (*AF*) foi obtido pela medida direta da área do limbo foliar (comprimento "C" e maior largura "L"), e calculando a área pela equação:

$$AF = 0,75 \times (C \times L) \dots\dots\dots(9)$$

Mediu-se também a cada 15 dias a altura das plantas (*AP*) da parcela útil dada pela distância em cm da superfície do solo até a extremidade da última folha "cartucho", e/ou extremidade do pendão.

### **3.4 Determinação da Evapotranspiração de Referência *ETo*.**

Na obtenção da evapotranspiração de referência foram utilizados os seguintes métodos de estimativa:

### 3.4.1 Método Direto.

Medidos diretamente nos tanques lisimétricos com lençol freático constante de 30 cm, com leituras diárias e procedimento já descritos no ítem 3.2.7.

### 3.4.2 Método PENMAN ORIGINAL.

O método proposto por Penman para estimativa da evapotranspiração de referência envolve a combinação dos mecanismos aerodinâmicos de transferência de vapor com o balanço de energia. O balanço energético implica no conhecimento da energia líquida disponível na superfície e nos mecanismos aerodinâmicos; envolvem a influência do vento, temperatura e umidade relativa do ar. Para estimativa da evapotranspiração de referência partiu-se da equação derivada inicialmente por Penman (1956), conforme expressão a seguir:

$$ET_{oPN} = \{[(\Delta \cdot R_n) \cdot (\Delta + \gamma)^{-1}] + [(\gamma \cdot E_a) \cdot (\Delta + \gamma)^{-1}]\} \dots \dots \dots (10)$$

onde:

$ET_{oPN}$ , evapotranspiração da cultura de referência dado em mm.dia<sup>-1</sup>;  $R_n$ , saldo de radiação expresso em equivalente mm de lâmina de água;  $E_a$ , componente aerodinâmico da equação estimada em função do déficit de saturação do ar ( $e_s - e_a$ ), e da velocidade do vento  $U_2$  medida (através de anemômetro totalizador) a 2,0 metros acima da superfície evaporante expressos em milhas.dia<sup>-1</sup>. O valor de  $E_a$  (mm.dia<sup>-1</sup>), foi calculado pela expressão seguinte:

$$E_a = 0,35 \cdot (e_s - e_a) \cdot (0,5 + 0,01 \cdot U_2) \dots \dots \dots (11)$$

onde:

es, pressão parcial de saturação de vapor de água à temperatura média do ar (mmHg), determinado conforme equação:

$$es = ea \cdot UR^{-1} \cdot 0,01 \dots \dots \dots (12)$$

onde:

UR é a umidade relativa média dado em % e ea a pressão atual de vapor de água, expressa em mmHg, lida diretamente nos psicrômetros.

Δ, tangente à curva de pressão de saturação do vapor de água na temperatura do ar ou seja, a razão entre o calor específico do ar para o calor latente de evaporação da água, expressa pela seguinte equação:

$$\Delta = (4098 \text{ ea}) \cdot (T + 237,3)^{-2} \dots \dots \dots (13)$$

onde:

T é a temperatura do ar em °C e ea a pressão atual de vapor de água expresso em Kpa.

γ é constante psicrométrica expressa em (KPa °C<sup>-1</sup>), conforme equação a seguir:

$$\gamma = [(C_p P) \cdot (\varepsilon \lambda)^{-1} \cdot 10^{-3}] = 0,0016286 (P/\lambda) \dots \dots \dots (14)$$

em que:

C<sub>p</sub>, calor específico do ar úmido igual a 1,013KJ<sup>-1</sup> ° C<sup>-1</sup>; P: pressão atmosférica (KPa);

ε, razão entre o peso molecular do vapor da água / ar seco, igual a 0,622 ; λ: calor latente de evaporação (MJ Kg<sup>-1</sup>), dado pela expressão:

$$\lambda = 2,501 - (2,361 \cdot 10^{-3}) T \dots \dots \dots (15)$$

onde:

$\bar{T}$  é a temperatura média do ar em °C. Pelo fato de que o calor latente de evaporação varia muito pouco em condições normais de temperatura do ar, pode-se adotar um valor comum para  $\lambda$ , para  $\bar{T}$  igual 20°C,  $\lambda$  igual a 2,45.

O saldo de radiação ( $R_n$ ) foi estimado pela diferença entre o balanço de ondas curtas ( $Q_c$ ), no período de um dia, e o balanço diário de ondas longas ( $Q_l$ ), em termos de evaporação equivalente:

$$R_n = Q_c - Q_l \dots\dots\dots(16)$$

onde:

$$Q_c = R_g \cdot (1 - \alpha) \dots\dots\dots(17)$$

onde  $R_g$  é a radiação solar global diária e  $\alpha$  é o poder refletor de uma superfície coberta completamente com vegetação em crescimento ativo, assumindo como 0,23 Sedyama (1995). A radiação global foi estimada conforme equação a seguir:

$$R_g = R_0 (a + b n/N) \dots\dots\dots(18)$$

onde:

$R_0$ , irradiância solar no topo da atmosfera terrestre dado em  $ly \cdot dia^{-1}$  conforme equação;

$$R_0 = 37,6 (\bar{D}/D)^2 [(H \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta) + (\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot H)] \dots\dots\dots(19)$$

onde:

$R_0$  é dado em  $MJ \cdot m^{-2}$ ;  $(\bar{D}/D)^2$ , fator que expressa a variação da densidade de fluxo de radiação que atinge uma superfície normal aos raios, no topo da atmosfera, em virtude da distância variável da terra em relação ao sol, dado pela equação de Spencer, citado por Vianello (1991);

$$(\bar{D}/D)^2 = 1,000110 + 0,034221 \cdot \cos X + 0,001280 \sin X + 0,000719 \cos 2X + 0,000077 \sin 2X \dots\dots\dots(20)$$

sendo  $X$ , expresso em *radianos*, dado como:

$$X = 2\pi \cdot (n-1)/365 \dots\dots\dots(21)$$

em que  $n$  é o número do dia do ano (dia juliano), variando de 1 a 365 para o período de 1º de janeiro a 31 de dezembro.  $H$ , é a duração do dia solar dado em radianos. Desprezando os efeitos da refração atmosférica,  $H$  pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$\cos H = - \operatorname{tg} \phi \cdot \operatorname{tg} \delta \dots\dots\dots(22)$$

onde:

$\phi$  é a latitude local; e  $\delta$  a declinação do sol que é função do dia do ano, conforme equação proposta por Spencer, citado por Vianello (1991);

$$\delta = 0,006918 - 0,399912 \cos X + 0,070257 \operatorname{sen} X - 0,006758 \cos 2X + 0,000907 \operatorname{sen} 2X - 0,002697 \cos 3X + 1480 \operatorname{sen} X \dots\dots\dots(23)$$

onde; "X" e "δ", são expressos em radianos.

Os coeficientes  $a$  e  $b$  da equação (17), são dados pela equação proposta por Glover e Mc Culloch, citado por Sedyama (1988), onde sugerem que, para latitudes de 0 a 60º, como segue:

$$a = 0,29 \cos \phi \dots\dots\dots(24)$$

onde:

$\phi$  é a latitude local e  $b$  assume valor igual 0,52;  $n/N$ , é a razão de insolação onde "n", corresponde a duração do brilho solar observado dado em horas e, "N", duração astronômica do período diurno, dado pela equação:

$$N = (2H/15) \dots\dots\dots(25)$$

sendo H expresso em graus dado pela equação (22), e N em horas.

$$R_n = R_g (1 - \alpha) + Q_l \dots\dots\dots(26)$$

onde:

$R_g$  = radiação global dado pela equação ( 18 );  $\alpha$ , é o coeficiente de reflexão do dossel (albedo), com valor igual a 0,23 ;  $Q_l$ , é o balanço de radiação de ondas longas, dado pela equação de Brunt, citado por Ometto (1981), como segue:

$$Q_l = \sigma \cdot T_a^4 \cdot (-0,09 \cdot \sqrt{ea} + 0,56) \cdot (0,1 + 0,9 \cdot n/N) \dots\dots\dots(27)$$

onde:

$T_a$ , é a temperatura média diária do ar ao nível do abrigo meteorológico, em K;  $ea$ , é pressão atual média diária de vapor d'água ao nível do abrigo meteorológico expresso em mmHg;  $\sigma$ , a constante de Stefan-Boltzman ( $19,8 \cdot 10^{-10} \text{ mm.K}^{-4} \cdot \text{dia}^{-1}$ ).

### 3.4.3 Método RADIAÇÃO SOLAR.

Doorenbos e Pruitt (1977), sugerem a adoção de um método bastante simples para estimar a evapotranspiração, que leva em conta a radiação solar, umidade do ar e velocidade do vento. A equação proposta para este método, pode ser expressa como:

$$ET_{\text{ToRAD}} = C \cdot (\omega \cdot R_g) \dots\dots\dots(28)$$

onde:

$ET_{\text{ToRAD}}$ , a evapotranspiração de referência,  $\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$  ;  $C$ , corresponde ao fator de correção da FAO, ajustada por Frevert et al. (1983), conforme equação a seguir;

$$C = 1,066 - 0,00128 \cdot UR_{\text{med}} + 0,45 U_d - 0,0002 \cdot UR_{\text{med}} \cdot U_d - 0,0000315 \cdot (UR_{\text{med}})^2 - 0,001103 \cdot (U_d)^2 \dots\dots\dots(29)$$

onde:

$UR_{med}$  , é a umidade relativa média dado em %;  $U_d$  , a velocidade média do vento durante o dia em  $m.s^{-1}$ ;  $\omega$ , o fator que representa a parte fracional de  $R_s$  que é utilizada na evapotranspiração de referência, para diferentes valores de temperatura e altitude dados pela equação:

$$\omega = \Delta \cdot (\Delta + \gamma)^{-1} \dots\dots\dots(30)$$

em que  $\Delta$  é dado pela equação (13) e  $\gamma$  dado pela equação (14).

### 3.4.4 Método TANQUE CLASSE - A.

Doorenbos e Pruitt (1977), recomendam dentre outros, o método do Tanque Classe - A para estimativa da evapotranspiração de referência. Os ajustes das leituras de evaporação do tanque classe - A às estimativas da  $ETo$ , foram feitas com o emprego dos coeficientes de tanque ( $K_p$ ):

$$EToCA = K_p \cdot EV \dots\dots\dots(31)$$

onde:

$EToCA$ , é a evapotranspiração de referência,  $mm.dia^{-1}$ ;  $EV$  é a evaporação observada no tanque Classe A expressa em  $mm. dia^{-1}$ ;  $K_p$ , é o coeficiente adimensional de conversão, dado em função da cobertura do solo, níveis de umidade relativa média e velocidade do vento por dia, dado pela equação;

$$K_p = 0,475 - 0,24 \cdot 10^{-3} \cdot U_2 + 0,00516 \cdot UR + 0,00115 \cdot d - 0,16 \cdot 10^{-4} \cdot UR^2 - 0,101 \cdot 10^{-5} \cdot d^2 - 0,8 \cdot 10^{-8} \cdot UR^2 \cdot U_2 - 1,0 \cdot 10^{-8} \cdot UR^2 \cdot d \dots\dots\dots(32)$$

onde:

$\underline{U}_2$  é a velocidade do vento a 2,0 metros de altura, em  $\text{km.dia}^{-1}$ ;  $\underline{UR}$ , a umidade relativa média do ar, dado em %;  $\underline{d}$  a distância mínima com vegetação ao redor do tanque expresso em , metros,  $d \leq 1000$  metros.

### 3.4.5 Método BLANEY & CRIDDLE Modificado Pela FAO.

Este método é recomendado por Doorenbos e Pruitt (1977) para áreas onde somente os dados de temperatura do ar são disponíveis pois, utiliza a temperatura média mensal e, um fator associado ao comprimento do dia:

$$ET_{ToBC} = a + b \cdot [ p (0,46T + 8,13) ] \dots\dots\dots(33)$$

onde:

$\underline{ET}_{ToBC}$ , corresponde a evapotranspiração de referência,  $\text{mm.dia}^{-1}$ ;  $\underline{a}$  e  $\underline{b}$  são fatores de correção da FAO, ajustados por Allen e Pruitt (1991), dados pelas equações:

$$a = 0,0043 \cdot \underline{UR}_{\min} - (n/N) - 1,41 \dots\dots\dots(34)$$

em que  $\underline{UR}_{\min}$ , corresponde a umidade relativa do ar, mínima diária.

$$b = 0,908 - 0,00483 \cdot \underline{UR}_{\min} + 0,7949 \cdot n \cdot N^{-1} + 0,0768 [ \ln ( Ud + 1 ) ]^2 - 0,0038 \underline{UR}_{\min} \cdot n \cdot N^{-1} - 0,000433 \cdot \underline{UR}_{\min} \cdot Ud + 0,281 \ln ( Ud+1 ) \cdot \ln [ n \cdot ( N+1 )^{-1} ] - 0,00975 \cdot \ln ( Ud+1 ) \cdot [ \underline{UR}_{\min} + 1 ]^2 \ln \cdot [ n \cdot ( N+1 )^{-1} ] \dots\dots\dots(35)$$

onde:

$\underline{p}$  é a percentagem de horas de brilho solar diário em relação ao total anual, para um dado mês e latitude do local (Apêndice A - Tabela 2); e  $\underline{T}$  a temperatura média mensal °C.

### 3.4.6 Método de LINACRE.

Linacre, conforme Igreja (1987), propôs uma equação em 1977, para estimativa da evapotranspiração de referência baseada apenas em dados de temperatura média do ar (°C), temperatura do ponto de orvalho (°C), latitude e altitude, expressa da seguinte forma:

$$ET_{oLINC} = [(500 \cdot T_m)(100 - Lat)^{-1} + 15(T - T_d)] \cdot (80 - T)^{-1} \dots \dots \dots (36)$$

onde:

$ET_{oLINC}$ , é a evapotranspiração de referência, mm.dia<sup>-1</sup>;  $T_m$  é igual a  $T + 0.006h$ , equivalente a temperatura do ar ao nível do mar;  $T$  é a temperatura média do ar (°C);  $h$  corresponde a altitude ( 918,84 m );  $Lat$ , a latitude em graus e décimos (21,2333);  $T_d$ , é a Temperatura do ponto de orvalho (°C), dada pela seguinte expressão:

$$T_d = [\log(ea/4.58) \cdot 237.5] \cdot [7.5 - \log(ea/4.58)]^{-1} \dots \dots \dots (37)$$

sendo  $ea$  a pressão parcial de vapor em mmHg, obtidos através de leituras psicrométricas.

### 3.5.4 Método Thornthwaite.

Thornthwaite (1948) correlacionou a temperatura média mensal do ar com a evapotranspiração, determinada através de estudos de balanço de água. A equação de Thornthwaite expressa a evapotranspiração potencial como uma função exponencial da temperatura média mensal, (índices térmicos):

$$ET_{oTH} = 16 \cdot [(10 \cdot T) \cdot I^{-1}]^a \cdot (N/12) \dots \dots \dots (38)$$

onde:

$ET_{oTH}$ , é a evapotranspiração de referência,  $mm.dia^{-1}$ ;  $\bar{T}$  é a temperatura média do ar expressa em  $^{\circ}C$ ;  $I$ , correspondente índice anual de calor, resultante da soma de 12 índices mensais ( $i$ ) calculado pela expressão;

$$I = \sum_{i=1}^{12} [(T_{mi} \cdot 5^{-1})]^{1,514} \dots\dots\dots(39)$$

onde:

$T_m$ , é a temperatura média mensal normal expressa em  $^{\circ}C$ ;  $a$ , função de  $I$ , calculado por:

$$a = (6,75 \cdot 10^{-7} \cdot i^3) - (7,71 \cdot 10^{-5} \cdot i^2) + (1,792 \cdot 10^{-2} \cdot i) + 0,49239 \dots\dots\dots(40)$$

Camargo (1966), propôs simplificações de cálculo de evapotranspiração de referência, ao método de Thornthwaite, substituindo o índice "I", por um índice "T" (índice térmico), correspondente a temperatura anual média da região em graus centígrados, tais simplificações são válidas, visto que em nossas condições a temperatura média anual é pouco ou quase nada afetada por temperaturas inferiores ao ponto de congelamento. Assim este, apresenta uma tabela para obtenção do valor diário médio mensal da evapotranspiração potencial baseado em valores da temperatura média anual normal da região e temperatura média mensal. O valor da evapotranspiração potencial encontrados é válido para dias de doze horas e meses de trinta dias. Como o número de dias é variável nos meses, e a duração dos dias (fotoperíodo), é variável com a latitude do local, há necessidade de um fator de ajuste dado pela seguinte equação;

$$F = N \cdot 12^{-1} \dots\dots\dots(39)$$

onde  $N$  é dado pela equação (25). Assim, o cálculo da evapotranspiração de referência fica:

$$ET_{oTH} = ET_p \cdot (N \cdot 12^{-1}) \dots \dots \dots (40)$$

sendo  $ET_p$ , dado pela Tabela 1 (Apêndice - A).

### 3.4.8 Método HAMON.

Hamon conforme Sedyama (1972), propôs em 1961 a seguinte equação empírica para estimar a Evapotranspiração de referência:

$$ET_{oHM} = 0,1397 \cdot (N \cdot 12^{-1})^2 \cdot P \dots \dots \dots (41)$$

onde:

$ET_{oHM}$ , é a evapotranspiração de referência, em  $\text{mm.dia}^{-1}$ ;  $N \cdot 12^{-1}$ , Comprimento do dia em unidades de 12 horas, em que  $N$  é dado pela equação (25);  $P$ , peso em gramas de vapor de água contido em  $1 \text{ m}^3$  de ar saturado às temperaturas  $t$ , entre -5 a 50 °C, dado pela equação:

$$P = 5,13563 + 0,0102805 \cdot t + 0,0285867 \cdot t^2 \dots \dots \dots (42)$$

### 3.4.9 Método HARGREAVES.

Hargreaves conforme Igreja (1987), propôs em 1974, a seguinte equação para quantificação da evapotranspiração de referência:

$$ET_{oHG} = 0.0075 \cdot R_g \cdot t \dots \dots \dots (43)$$

onde:

$ET_{oHG}$ , é a evapotranspiração de referência  $\text{mm.dia}^{-1}$ ;  $t$ , temperatura média do ar (°F), dado pela equação:

$$^{\circ}\text{F} = [ ( t_{\text{C}} + 17,78 ) \cdot 1,8] \dots\dots\dots(44)$$

Rg, radiação solar global expressa em mm de evaporação equivalente de água, dado pela equação (18).

#### 3.4.10 Método MAKKINK.

Um outro método baseado na radiação, foi apresentado por Makkink em 1957, conforme Igreja (1987), cuja formulação é a seguinte:

$$\text{EToMK} = (0,61 \cdot \text{Rg} \cdot \omega) - 0,12 \dots\dots\dots(45)$$

onde:

EToMK, é a evapotranspiração da cultura de referência, mm.dia<sup>-1</sup>; Rg, radiação solar global expressa em mm de evaporação equivalente de água, (equação 18); ω é o fator que representa a parte fracional de Rg que é utilizado na Eto, para diferentes valores de temperatura e altitude, equação (30).

#### 3.4.11 Método PAPADAKIS.

Papadakis, conforme Sedyama (1972), elaborou em 1961, a seguinte equação empírica para determinação da evapotranspiração de referência:

$$\text{ETToPP} = 5,625 \cdot (e_s - e_a) \cdot 30^{-1} \dots\dots\dots(46)$$

onde:

ETToPP, é a evapotranspiração de referência mm.dia<sup>-1</sup>; es, pressão máxima de vapor à temperatura média diária das máximas em mb, dado pela equação de Tetens, citado por Sedyama (1995):

$$e_s = 6,1078 \cdot 10^{[(7,5 \cdot t) \cdot (237,5 + t)^{-1}] \dots\dots\dots(47)$$

onde,  $\bar{t}$  é a temperatura média do ar em °C (condição para  $t \geq 0$ ), e  $e_a$ , pressão atual de vapor média mensal, em mb.

### 3.4.12 Método BUDYKO.

Dado em função da temperatura o método de Budyko, conforme Sellers (1965), passa a ter devida importância quando na ausência quase total de dados meteorológicos para estimativa da evapotranspiração potencial de referência. A equação proposta é a seguinte:

$$ET_{oBD} = 0,2 \cdot T \dots\dots\dots(48)$$

onde:

$ET_{oBD}$ , é a evapotranspiração de referência, mm.dia<sup>-1</sup>;  $\bar{T}$ , temperatura média diária local (°C).

### 3.4.13 Método PENMAN Modificado.

Este método é uma modificação da equação original de Penman (1956), necessitando da temperatura média diária (T) em °C, duração média real de insolação (n) em horas/dia e evaporação aferida no evaporímetro de Piche em mm.dia<sup>-1</sup>. A componente aerodinâmica da equação original foi aqui estimada por equações ajustadas às condições de Lavras, Castro Neto et al. (1995).

$$ET_{oPMOD} = \{[(\Delta \cdot R_n) \cdot (\Delta \cdot \gamma)^{-1}] + [(\gamma \cdot E_a) \cdot (\Delta + \gamma)^{-1}]\} \dots\dots\dots(49)$$

onde:

$ET_{oPMOD}$ , é a evapotranspiração de referência, mm.dia<sup>-1</sup>;  $\Delta/\gamma$ ,  $R_n$ , são obtidos conforme descrição no ítem 3.4.2;  $E_a$ , componente aerodinâmica ajustada em função de

$\underline{T}$  ( temperatura expressa em °C ) e  $\underline{EP}$  (evaporação medida no evaporímetro de Piche dado em mm.dia<sup>-1</sup> ). Foram utilizados dados diários de 3 anos (1989, 1990 e 1991), obtendo-se a equação a seguir;

$$Ea = - 5,3421 + 0,2493 T + 1,9337 EP \dots\dots\dots(50)$$

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 Evapotranspiração Máxima Medida na Cultura de Milho.**

Os resultados obtidos, representam um período de 146 dias (período que compreende todo o ciclo da cultura) este, foi ainda dividido em subperíodos de 5 dias (pêntadas), totalizando 29 pêntadas (sendo o primeiro subperíodo de 6 dias). Tal procedimento foi feito com intuito de facilitar a utilização dos métodos de estimativa de evapotranspiração de referência e também o balanço hídrico diário. Assim, os lisímetros de lençol freático constante constituíram-se num instrumento de medida de evapotranspiração de razoável precisão, fornecendo informações satisfatórias para a quantificação de água consumida pelas plantas.

A evapotranspiração máxima do milho mostrou variações ao longo de todo o ciclo da cultura, devido principalmente a dinâmica do sistema de transferência solo-planta-atmosfera, e também as variações na anatomia e fisiologia vegetal ocorridos com a idade das plantas, dentre eles destacam-se; variações no albedo, variações na taxa de cobertura do solo, a radiação somado aos efeitos aerodinâmicos dado às circunstâncias de execução do ensaio, com provável efeito significativo da convecção horizontal, na demanda de água pela atmosfera.

Para os dias de altas intensidades de precipitações pluviométricas- $P_p$  ( $P_p > 10 \text{ mm}$ ), a precisão de medida da evapotranspiração diária, foi reduzida proporcionalmente pois, na equação do balanço hídrico dos tanques lisimétricos, o valor de  $P_p$ , era fornecido pela estação climatológica local. Assim, além da variabilidade pluviométrica espacial, ocorreu ainda o efeito da interceptação foliar das plantas da parcela útil, nas precipitações efetivas. Efeito este, intensificado quando ocorreram altas precipitações com altos índices de área foliar IAF.

Das variações fenológicas nas plantas, o aumento da área foliar, ou o índice de área foliar - IAF, apresenta-se como responsável direto pelo incremento na evapotranspiração máxima -  $ET_{m\acute{a}x.}$ , somado às condições atmosféricas locais. Tais variáveis na análise de regressão apresentam coeficiente de determinação -  $R^2$ , igual a 0,9972 expressa pela seguinte equação cúbico-raiz:

$$ET_p = 24,82 + 113,467 \cdot IAF^{0,5} - 59,51 \cdot IAF + 13,299 \cdot IAF^{1,5} \dots\dots\dots(51)$$

com significância de 0,05% e n-2 graus de liberdade pela distribuição "t" de Student.

Os resultados são apresentados na Tabela 6. Observa-se que o valor médio do consumo total de água pelo milho pipoca cv. CMS-43, para todo o ciclo foi de aproximadamente 383 mm. Para o mesmo período a evapotranspiração de referência medida (demanda atmosférica), foi de 521 mm, com uma proporcionalidade média de 0,74. A produção média estimada por hectare derivada da produção média dos três tanques (671,1g; 755,3g; 768,3g e média igual a 731,8g), correspondeu aproximadamente a 6469,2 Kg/ha, fornecendo uma relação produção por volume de água consumida, igual a 1,69 Kg/m<sup>3</sup>, valores estes considerados ótimos quando se avalia a eficiência no uso da água pelas plantas, Doorenbos e Kassam (1979).

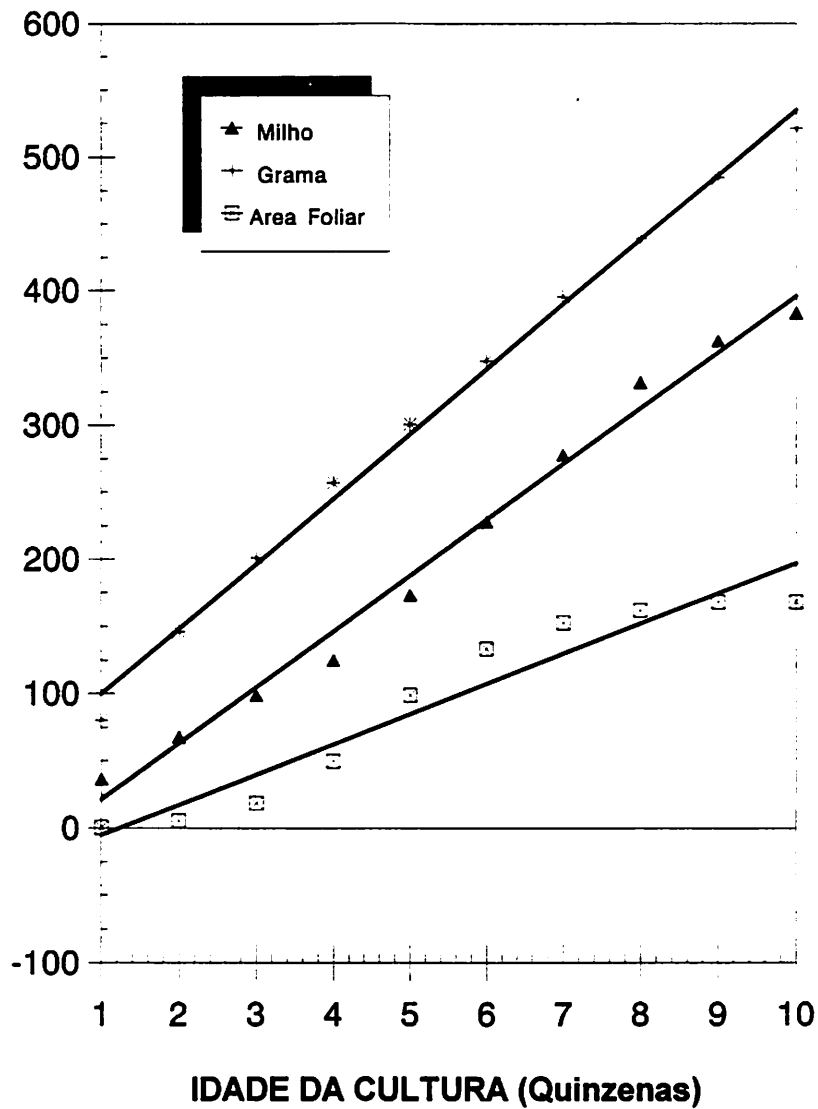
TABELA 6 - Valores médios por pântadas de evapotranspiração máxima determinado nos tanques lisimétricos, cultivados com milho (mm.dia<sup>-1</sup>). UFLA-Lavras, 1994.

Pântadas	Lisímetro I	Lisímetro II	Lisímetro III	Eto médio	Eto Acumulada	D. padrão (c)	Coef. Variação (%)	Graus-dia
1 (12/03-17/03)	2,54	2,55	2,55	2,55	15,30	0,007	0,28	170,1
2 (18/03-22/03)	1,98	2,10	2,25	2,11	25,85	0,140	6,64	148,26
3 (23/03-27/03)	2,30	1,87	2,05	2,07	36,70	0,290	13,25	144,31
4 (28/03-01/04)	4,20	2,86	3,52	2,81	47,05	0,220	10,43	140,81
5 (02/04-06/04)	1,97	1,75	2,13	1,95	56,80	0,190	9,78	126,14
6 (07/04-11/04)	2,05	2,45	2,15	2,22	67,90	0,210	9,34	127,80
7 (12/04-16/04)	2,46	2,35	2,28	2,36	79,70	0,090	3,84	134,78
8 (17/04-21/04)	2,14	2,58	2,56	3,18	91,85	0,250	10,22	140,37
9 (22/04-26/04)	1,53	1,21	1,43	1,82	98,80	0,160	11,78	139,92
10 (27/04-01/05)	1,45	1,63	1,36	1,94	106,20	0,140	9,29	133,60
11 (02/05-06/05)	1,53	1,67	1,89	1,70	114,70	0,180	10,67	128,29
12 (07/05-11/05)	1,97	2,34	1,83	2,67	124,95	0,260	12,85	132,98
13 (12/05-16/05)	3,33	2,50	2,19	3,50	138,30	0,590	22,08	118,10
14 (17/05-21/05)	3,49	2,50	2,73	2,91	152,85	0,520	17,80	121,56
15 (22/05-26/05)	4,01	4,31	3,96	4,09	173,30	0,190	4,63	130,94
16 (27/05-31/05)	3,76	3,85	3,99	3,87	192,65	0,120	2,99	126,17
17 (01/06-05/06)	3,71	3,38	3,69	3,59	210,60	0,190	5,15	117,17
18 (06/06-10/06)	3,27	3,54	3,48	3,43	227,75	0,140	4,13	112,24
19 (11/06-15/06)	3,18	3,63	3,22	3,34	244,45	0,250	7,46	98,45
20 (16/06-20/06)	4,02	3,85	4,43	4,10	264,95	0,290	7,26	112,89
21 (21/06-25/06)	3,41	2,46	1,86	2,58	277,85	0,780	30,29	107,33
22 (26/06-30/06)	4,09	3,32	3,24	3,55	295,60	0,470	13,22	67,25
23 (01/07-05/07)	2,58	3,35	2,75	2,89	310,05	0,400	13,99	105,74
24 (06/07-10/07)	4,55	4,56	3,95	4,35	331,80	0,350	8,03	90,32
25 (11/07-15/07)	2,29	2,19	1,99	2,16	342,60	0,150	7,07	88,69
26 (16/07-20/07)	2,55	2,43	2,05	2,34	354,30	0,260	11,15	104,34
27 (21/07-25/07)	1,58	1,69	1,72	1,66	362,60	0,070	4,44	112,32
28 (26/07-30/07)	2,20	2,28	1,99	2,16	373,40	0,150	6,93	113,47
29 (31/07-04/08)	1,70	1,90	2,32	1,97	383,25	0,320	16,06	108,99
<b>Média</b>	<b>2,69</b>	<b>2,63</b>	<b>2,57</b>	<b>2,63</b>		<b>0,060</b>	<b>2,28</b>	
<b>D. padrão (c)</b>	<b>0,89</b>	<b>0,87</b>	<b>0,84</b>	<b>0,77</b>				
<b>Variação (%)</b>	<b>33,44</b>	<b>32,96</b>	<b>32,54</b>	<b>27,50</b>				

No manejo dos tanques lisimétricos, foi adotado o critério de ótimas condições de umidade ou seja sem restrição de água, tanto para a grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge), como para o milho pipoca (*Zea mays* L. g.g. everta). Impondo rigor no conceito de capacidade de campo, foi considerado como sendo a umidade retida a uma tensão correspondente a  $10^{-1}$  atmosferas. Na Figura 5 são apresentados o regime de umidade para todo o período do ensaio, nos tanques cultivados com milho, bordadura experimental e nos tanques cultivados com grama. Nota-se variações no potencial mátrico em pequenos intervalos de tempo. Tal comportamento é característico para uma condição dinâmica de fluxo sob baixas tensões. No cultivo de milho pipoca, inicialmente foi adotado lençol freático igual a 40 cm até a 6ª pântada, sendo posteriormente rebaixado gradativamente na proporção de  $5 \text{ cm.dia}^{-1}$ , para 65 cm de profundidade. Com tal procedimento, pretendeu-se não criar limitações ao crescimento e à expansão do sistema radicular do milho pipoca, criando zonas de baixa difusão de  $O_2$  garantindo uma condição potencial de evapotranspiração. Para o manejo do lençol freático nas duas baterias de tanques lisimétricos, foram considerados os resultados mostrados em ensaio, com solo constituintes dos tanques, em estudo de ascensão da água por capilaridade como mostra a Figura 1-a.

Os valores médios de evapotranspiração máxima para as três repetições, são apresentadas na Tabela 6, com os respectivos coeficientes de variação por pântadas e por tanques lisimétricos, que neste caso foram estatisticamente iguais. Verifica-se que o consumo de água nas 29 pântadas apresentou um incremento maior a partir da 14ª pântada, indo até a 23ª, período correspondente ao estágio III de desenvolvimento, época de maior demanda hídrica pelas plantas (fase da emissão da

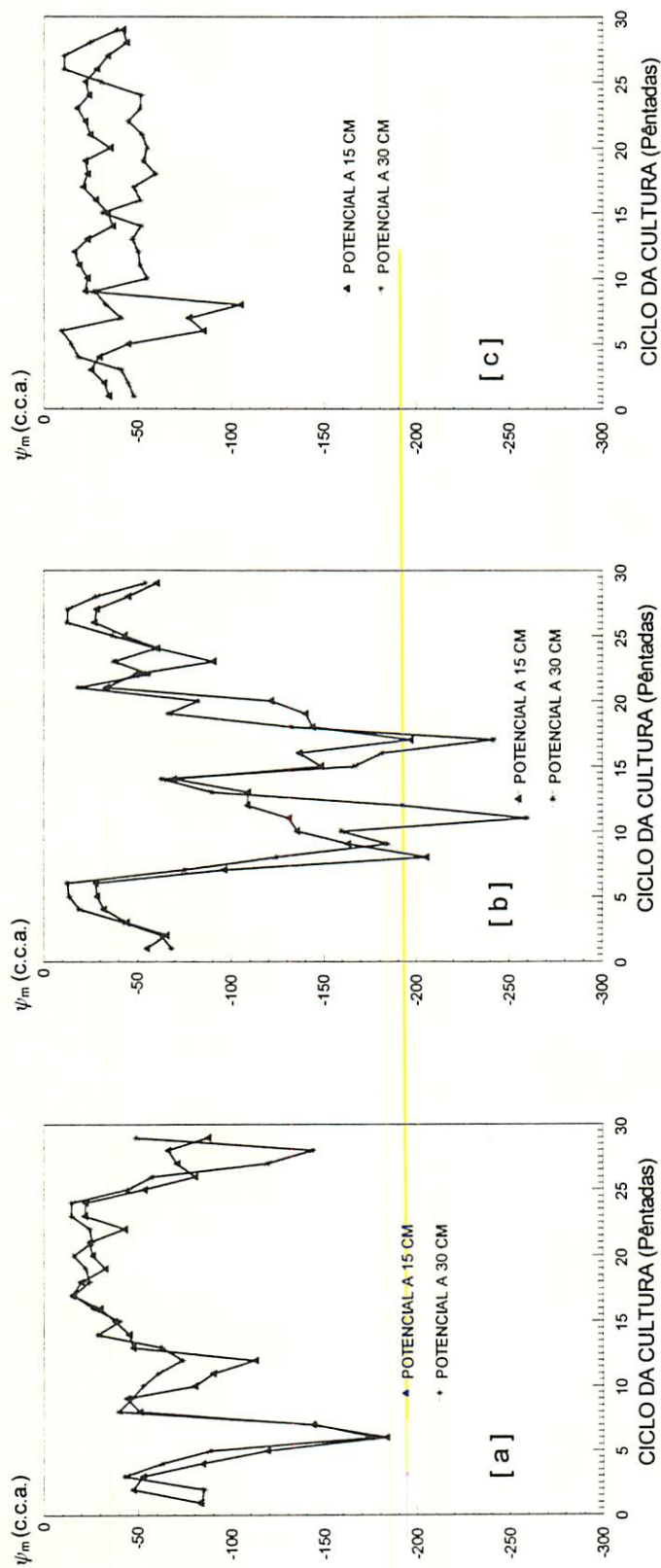
inflorescência), associado a um alto grau de cobertura do solo, com um máximo de índice de área foliar que na 15ª pântada apresentou-se com índice igual a 3,89. Através da figura 4, pode ser verificado que a  $ET_{máx.}$  do milho pipoca apresentou estreita correlação com o índice de área foliar - IAF que, após o estabelecimento da cultura no campo, a  $ET_{máx.}$  e IAF, tiveram crescimento progressivo juntamente com a altura das plantas até o ponto máximo de crescimento. Isto sugere que as necessidades quantitativas de água pelas plantas são proporcionais às funções metabólicas, crescimento de órgãos e estrutura somada também a expansão do limbo foliar.



**FIGURA 4** - Comparação entre as tendências dos valores de evapotranspiração máxima da cultura do milho, evapotranspiração de referência ( ambos em valores acumulados expressos em mm.dia<sup>-1</sup> ), e área foliar das plantas de milho (também em valores acumulados expressos em cm<sup>2</sup> ), para todo o ciclo da cultura. UFLA-Lavras, 1994.

## 4.2 Considerações Sobre o Solo.

Apesar da classificação textural argilosa (Argila: 64,0%; Silte: 21,1% e Areia: 14,9% - valores médios do perfil), apresenta características hidráulicas típicas de solo arenoso, como é o caso do parâmetro capacidade de infiltração básica - CIB (71,1 mm.hora<sup>-1</sup>; Figura 1-c), Bernardo (1986) e da condutividade hidráulica não saturada, Freire (1979). A curva de retenção de água (Figura 1-b), exprime também tal comportamento, o que permite deduzir a existência de reduzida resistência do solo ao fluxo em condições potenciais (próximo a saturação). Na Figura 5-a, é mostrado o regime de umidade do solo para o período das 29 pântadas, onde por volta da 6<sup>a</sup> pântada, ocorreu rápida variação no Potencial mátrico, com posterior estabilização devido ao rebaixamento do lençol freático de 65 para 40 cm. Na Figura 5-b que representa o regime hídrico do solo constituinte da bordadura, variações no potencial mátrico, se assemelhou às variações na intensidade e amplitude das precipitações pluviométricas o que explica tais variações. Os valores dos potenciais matriciais nos tanques (cultivados com grama e milho) ao longo do tempo, mostram um perfil de solo úmido não excedendo a 200 c.c.a. de tensão, não criando portanto, limitações de suprimento de água caracterizando uma condição potencial, sendo a *evaporação* função dos fatores meteorológicos somente e a *transpiração* determinada pelas características da planta somada também aos fatores meteorológicos. Nota-se que as propriedades do perfil do solo especialmente a condutividade hidráulica, que depende, em parte da estrutura e da textura do solo, em nenhum instante apresentaram limitações ao fluxo de água, dado a não restrição hídrica para o período do ensaio, Figuras 5-a; 5-b e 5-c.



**FIGURA 5** - Potenciais matriciais média por pântadas do perfil do solo  $\psi_m$  (expresso em centímetros de coluna de água-c.c.a.), constituente dos tanques lisimétricos cultivados com grama [a]; da bordadura experimental [b]; e dos tanques lisimétricos cultivados com milho [c]; durante todo o ciclo da cultura do milho expresso em pântadas, para as profundidades de 15 e 30 cm. UFLA-Lavras, 1994.

### 4.3 Evapotranspiração de Referência.

Os valores de evapotranspiração de referência são mostrados na Tabela 7. Estes representaram um consumo médio igual a  $3,55 \text{ mm.dia}^{-1}$ , perfazendo um total de 521,17 mm de demanda hídrica no período do ensaio experimental. Analisando os fatores meteorológicos radiação solar, vento e umidade relativa do ar, e seus efeitos isolados na evapotranspiração de referência, todos em base mensal, detectou-se efeito maior da radiação com coeficiente de determinação significativo igual a 97,70%, seguido da umidade relativa do ar com 94,37%, e finalmente o fator vento com  $R^2$  igual a 33,92%. Isto permite avaliar a importância relativa de cada um deles e, seleção de um método de estimativa mais adequado às condições locais e temporais.

Pelas Tabelas 6 e 7, depreende-se que a partir da 15ª pântada a razão  $ET_{\text{máx.}}/ET_0$ , é superior a uma unidade até por volta da 25ª pântada. Período de maiores valores de  $ET_{\text{máx.}}$  em relação a  $ET_0$ , apesar de  $ET_0$  para todo o ciclo (29 pântadas), apresentar-se 1,25 vezes maior que  $ET_{\text{máx.}}$ . As variações quantitativas observadas na determinação de  $ET_0$ , por pântada entre os tanques para todo o período do ensaio, mostra o efeito da dinâmica dos fatores meteorológicos nos processos de transferência de água solo-planta-atmosfera, uma vez que a grama teve altura constante, sem restrições hídricas no solo constituinte dos tanques.

A evapotranspiração de referência foi estimada utilizando os métodos de: *Linacre, Radiação Solar, Tanques Classe A, Thornthwaite, Blaney - Criddle, Hamon, Hargreaves, Makkink, Papadakis, Budyko, Penman e Penman Modificado*, para cada período de 5 dias [pântadas (12/03 - 04/08 )], Tabela 8. Os resultados dos cálculos de cada método são apresentados no Apêndice C, Tabelas 1, 2, 3, e 4.

TABELA 07 - Valores médios de evapotranspiração por pântadas medido nos tanques lisimétricos cultivado com grama ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ). UFLA-Lavras, 1994.

Pântadas	Lisímetro I	Lisímetro II	Lisímetro III	Eto médio	Eto acumulada	D.padrão ( $\sigma$ )	Coef. variação (%)
1 (12/03-17/03)	6,04	6,56	4,72	5,47	34,62	0,95	16,46
2 (18/03-22/03)	4,83	4,13	4,60	4,52	57,22	0,36	7,96
3 (23/03-27/03)	4,59	4,79	4,52	4,63	80,37	0,14	3,02
4 (28/03-01/04)	6,24	6,17	6,70	6,37	112,22	0,29	4,55
5 (02/04-06/04)	3,68	3,40	3,49	3,52	129,82	0,14	3,98
6 (07/04-11/04)	3,12	3,34	3,57	3,34	146,52	0,23	5,89
7 (12/04-06/04)	3,88	3,73	3,56	3,72	165,12	0,16	4,30
8 (17/04-21/04)	4,06	4,54	3,86	4,15	185,87	0,35	8,43
9 (22/04-26/04)	3,11	3,24	2,93	3,09	201,32	0,16	5,18
10 (27/04-01/05)	3,96	3,65	3,30	3,64	219,52	0,33	9,07
11 (02/05-06/05)	3,07	3,12	3,28	3,16	235,32	0,11	3,48
12 (07/05-16/05)	4,26	4,22	4,45	4,31	256,87	0,12	2,78
13 (12/05-06/05)	3,34	2,79	3,46	3,20	272,87	0,36	11,25
14 (17/05-21/05)	2,32	2,77	2,77	2,62	285,97	0,26	9,92
15 (22/05-26/05)	3,04	3,13	2,71	2,96	300,77	0,22	7,43
16 (27/05-31/05)	4,17	4,57	3,83	4,19	321,72	0,37	8,83
17 (01/06-05/06)	2,56	2,86	2,60	2,67	335,07	0,16	5,99
18 (06/06-10/06)	2,58	2,49	2,55	2,54	347,77	0,04	1,57
19 (11/06-15/06)	3,54	3,30	3,83	3,65	366,02	0,27	7,39
20 (16/06-20/06)	3,27	3,49	3,42	3,39	382,97	0,11	3,24
21 (21/06-25/06)	2,45	2,72	2,26	2,48	395,37	0,23	9,27
22 (26/06-30/06)	2,74	2,89	2,75	2,79	409,32	0,08	2,86
23 (01/07-05/07)	2,17	2,22	2,08	2,16	420,12	0,07	3,24
24 (06/07-10/07)	3,94	3,87	3,38	3,73	438,77	0,31	8,31
25 (11/07-15/07)	2,93	2,85	2,50	2,76	452,57	0,23	8,33
26 (16/07-20/07)	4,02	3,91	3,61	3,85	471,82	0,21	5,45
27 (21/07-25/07)	2,63	2,61	2,50	2,58	484,72	0,07	2,71
28 (26/07-30/07)	3,28	3,24	3,33	3,28	501,12	0,05	1,52
29 (31/07-04/08)	3,72	4,37	3,94	4,01	521,17	0,33	8,23
<b>Média</b>	3,57	3,62	3,47	3,55		0,08	2,15
<b>D. padrão (<math>\sigma</math>)</b>	0,99	1,01	0,94	0,93			
<b>Coef.variação (%)</b>	27,75	28,03	27,19	26,37			

Conforme Peron e Castro Neto (1980), para este período do ano (12/03-04/08), tem-se parte da estação seca (maio - setembro) e parte da estação chuvosa

(outubro - março), para as condições da região de Lavras-MG. Alguns métodos mostram-se mais eficientes para a região, na estação seca, outros para a estação chuvosa. Os métodos aqui propostos foram analisados desconsiderando esta sazonalidade pluviométrica. A análise dos métodos de estimativa de ETo, foram feitas em base mensal, que é o tempo máximo recomendado pelo Comitê Técnico da Divisão de Irrigação e Drenagem da Sociedade Americana de Engenharia Civil, Berlato e Molion (1981), quando considera os métodos de Penman, Jensen-Haise, Makkink, Thornthwaite e de Blaney & Criddle.

Utilizou-se do teste de média de Dunnet para comparar os valores de ETo estimados pelos diferentes métodos com os valores determinados diretamente nos tanques lisimétricos. Os resultados são apresentados nas Tabelas 9.e 10.

Na análise dos métodos: *Penman, Radiação Solar, Tanque Classe - A e de Blaney & Criddle*, sugeridos pela FAO (Doorenbos e Pruitt, 1977), verifica-se que houve correlação significativa ao nível de 5% com os valores medidos nos lisímetros, apresentando os seguintes coeficientes de determinação: *Tanque Classe A* -  $R^2 = 88,34\%$  ; *Radiação Solar* -  $R^2 = 81,98\%$ ; *Penman* -  $R^2 = 96,79\%$  e *Blaney & Criddle* -  $R^2 = 87,72$ .

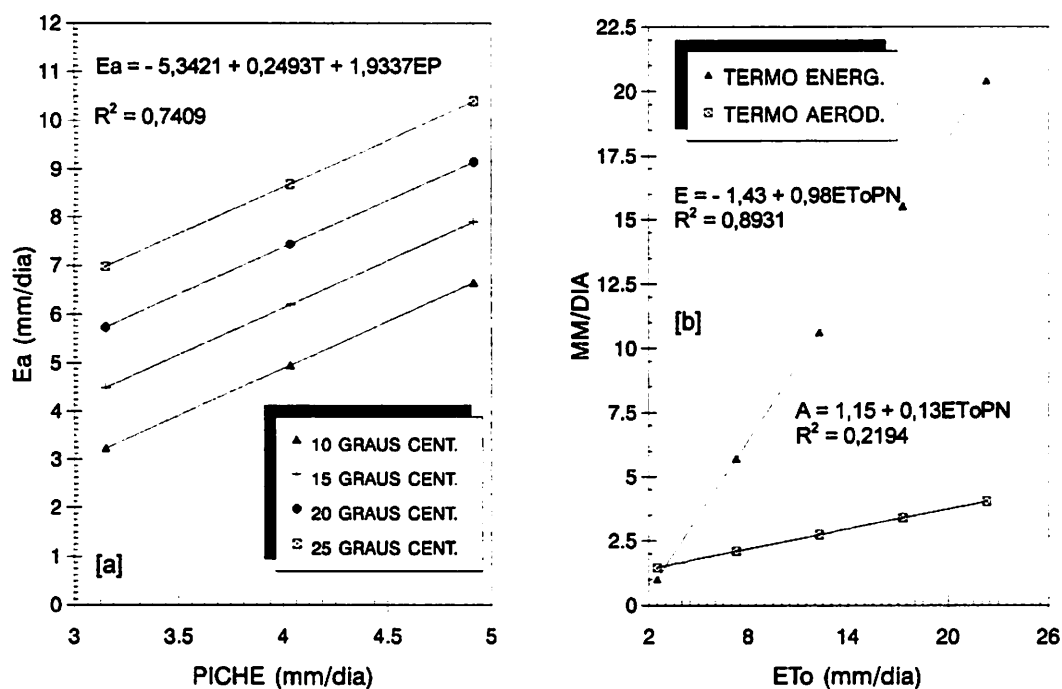
Os métodos de *Radiação Solar, Linacre e Budyko*, quando comparados com os valores medidos, superestimaram em 3, 4 e 6% respectivamente, enquanto que os métodos de *Penman, Tanque Classe A, Blaney & Criddle, Thornthwaite, Hamon, Hargreaves, Makkink, Papadakis e Penman Modificado*, subestimaram em 10; 10; 16; 41; 48; 13; 30; 9 e 8% respectivamente. Na análise de regressão, dos vários polinômios testados, para o melhor ajuste considerou-se aquele de menor significância

dos coeficientes das equações em ordem crescente nos graus do polinômio e coeficientes de determinação maiores, todos ao nível de 5% de significância, Snedecor e Cochran (1980). Os coeficientes de determinação para cada método foram: 96,79%; 81,98%; 88,34%; 87,72%; 91,06%; 75,60%; 70,01%; 86,47%; 84,86%; 67,09%; 71,21% e 87,28% respectivamente para: *Penman*, *Radiação Solar*, *Tanque Classe A*, *Blaney & Criddle*, *Linacre*, *Thornthwaite*, *Hamon*, *Hargreaves*, *Makkink*, *Papadakis*, *Budyko* e *Penman Modificado*, Figuras 7, 8, 9 e 10. Destes, o método de Penman foi o que melhor se correlacionou com a evapotranspiração de referência medida, seguido dos métodos de Linacre, Tanque Classe A, Blaney & Criddle e Penman modificado. O método de *Penman*, confirma os resultados apresentados por Castro Neto e Soares (1989), que, além de boa correlação também apresenta valores dentro do intervalo de confiança dos valores medidos, isto se deve as características do método que considera vários fatores meteorológicos. A superioridade encontrada para os métodos de *Radiação Solar*, *Tanque Classe A*, *Blaney & Criddle*, *Linacre*, *Hargreaves*, e *Penman Modificado*, atribui-se a época estacional onde registra-se maiores amplitudes na radiação solar o que sugere uma maior sensibilidade dos métodos a responderem com maior fidelidade às situações de campo que envolvem o processo de evapotranspiração. Os métodos de *Thornthwaite*, *Hamon*, *Papadakis* e *Budyko*, pela análise de regressão percebe-se baixos coeficientes de determinação sendo que destes, os métodos de *Thornthwaite* e *Hamon* apresentam valores de evapotranspiração significativos ao nível de 5% pelo teste de média de Dunnet. Isto indica a inferioridade dos mesmos, permitindo supor que métodos de estimativa fundamentado em correlações climatológicas em base na umidade relativa ou na

temperatura média do ar não fornecem resposta precisa para as condições de Lavras-MG, no período considerado.

No método de *Penman*, quando se compara o efeito do termo aerodinâmico  $[(Ea \cdot \gamma) \cdot (\Delta + \gamma)^{-1}]$ , e o efeito do balanço de energia disponível para o processo  $[(R_n \cdot \Delta) \cdot (\gamma + \Delta)^{-1}]$ , ambos expressos em equivalentes milímetros de lâmina de água, na evapotranspiração de referência, observa-se a existência de alta correlação entre as variáveis "balanço de energia x ETo" com coeficiente de determinação  $R^2 = 0,8931$ . Já as variáveis "termo aerodinâmico x ETo", apresentaram coeficiente de determinação relativamente baixo (0,2194), ambos com n-2 graus de liberdade e significância de 5%, Figura 6-b. Associado a este efeito, deve-se considerar que o termo "Ea" não é crítico na equação de *Penman*. Depreende-se que o efeito do balanço de energia suplantou o efeito da componente aerodinâmico na equação de *Penman*, confirmando a importância da radiação líquida na referida equação. Um grande erro na estimativa de "Ea" resulta em pequeno erro em "ETo", dependendo evidentemente das condições locais de advecção.

Face as dificuldades de obtenção do parâmetro velocidade do vento a 2 metros de altura das estações meteorológicas, Castro Neto et al. (1995), apresentaram a equação original de *Penman* com modificações, onde o termo aerodinâmico "Ea", é estimado a partir de uma equação que leva em conta valores obtidos no evaporímetro de Piche e da temperatura média do ar a sombra, (Figura 6-a), permitindo estimar ETo com razoável precisão, Tabela 10.



**FIGURA 6** - Correlação entre temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), evaporímetro de piche termo aerodinâmico (ambos dados em  $\text{mm.dia}^{-1}$ ), da equação de Penman, para as condições de Lavras-MG, ( dados médios mensais de 1989, 1990 e 1991), [a]. Comparação entre evapotranspiração de referência estimada pelo método original de Penman (1956), e seus seus componentes, termo aerodinâmico  $[(Ea.\gamma).(\Delta+\gamma)^{-1}]$  e termo referente ao balanço de energia  $[(Rn.\Delta).(\Delta+\gamma)^{-1}]$ , [b] . UFLA-Lavras, 1994.

**TABELA 8** - Valores de evapotranspiração de referência medida e estimada pelos diferentes métodos<sup>1</sup>, para as 29 pântadas, expressas em mm.dia<sup>-1</sup>. UFLA-Lavras, 1994.

Pântadas	ET-01	ET-02	ET-03	ET-04	ET-05	ET-06	ET-07	ET-08	ET-09	ET-10	ET-11	ET-12	ET-13
1	5,77	4,3	4,7	4,7	3,4	3,9	2,8	2,5	4,3	3,4	3,4	4,3	4,7
2	4,52	3,9	3,8	3,7	3,1	3,8	2,8	2,6	3,5	2,7	3,2	4,5	3,9
3	4,63	3,5	3,6	4,1	2,5	3,6	2,8	2,4	3,4	2,7	3,0	4,3	4,0
4	6,37	4,3	4,3	4,7	3,4	3,9	2,8	2,5	3,8	3,0	3,0	4,3	4,1
5	3,52	4,7	6,0	3,5	3,7	4,1	2,7	2,2	5,8	4,1	3,2	4,0	4,7
6	3,34	4,3	5,1	3,1	3,5	4,1	2,7	2,1	4,2	3,4	3,1	4,0	4,3
7	3,72	4,0	4,3	2,9	3,0	3,8	2,7	2,2	3,7	3,0	3,2	4,2	3,8
8	4,15	4,0	4,2	2,8	3,3	3,8	2,6	2,3	3,7	2,9	3,5	4,3	3,7
9	3,09	3,6	3,5	2,8	2,9	3,9	2,6	2,3	3,1	2,4	3,2	4,3	3,4
10	3,64	4,2	4,7	3,0	3,9	4,1	2,6	2,0	3,9	3,3	3,4	4,1	3,7
11	3,16	3,1	3,8	3,3	2,9	3,9	2,2	2,0	3,3	2,6	3,5	4,0	3,5
12	4,31	3,1	4,2	2,7	3,5	4,2	2,2	2,1	3,6	2,9	3,9	4,1	3,4
13	3,20	2,0	1,9	2,5	1,5	3,0	2,2	1,8	1,7	1,3	2,0	3,7	2,0
14	2,62	2,6	3,6	2,6	2,9	3,7	2,2	1,8	3,0	2,5	3,2	3,7	2,9
15	2,96	3,3	3,5	2,4	3,4	3,8	2,2	1,9	3,0	2,4	3,7	4,0	3,3
16	4,19	2,4	3,1	3,1	2,7	3,3	2,2	1,7	2,7	2,2	2,8	3,7	2,5
17	2,67	2,7	3,2	2,3	2,9	3,4	1,5	1,7	2,7	2,2	3,6	3,6	2,9
18	2,54	2,6	3,3	2,4	3,0	3,5	1,5	1,5	2,7	2,2	3,3	3,4	3,0
19	3,65	2,1	2,9	2,2	2,5	3,0	1,5	1,3	2,4	2,0	2,6	3,1	2,2
20	3,39	3,0	3,3	2,5	3,3	3,4	1,5	1,5	2,7	2,2	3,5	3,5	2,7
21	2,48	2,4	2,3	1,9	2,0	3,1	1,5	1,5	1,9	1,5	2,9	3,4	1,9
22	2,79	2,5	3,6	2,4	2,7	3,3	1,5	1,1	2,6	2,3	2,1	2,6	2,3
23	2,16	2,5	3,2	2,3	2,7	3,3	1,6	1,5	2,6	2,2	3,2	3,3	2,6
24	3,73	2,9	3,3	4,0	2,9	3,1	1,6	1,3	2,5	2,1	2,7	3,0	3,0
25	2,76	2,6	2,1	2,6	2,4	3,3	1,6	1,3	1,5	1,3	2,5	2,9	3,0
26	3,85	2,4	1,9	2,7	2,2	4,1	1,6	1,6	1,5	1,2	3,8	3,5	2,5
27	2,58	2,7	3,1	2,2	2,5	3,6	1,6	1,6	2,5	2,1	3,5	3,5	2,8
28	3,28	3,0	4,7	3,0	3,7	4,5	1,7	1,8	3,7	3,0	4,6	3,8	3,7
29	4,01	3,5	4,8	3,7	3,9	4,6	2,0	1,8	3,6	3,0	4,1	3,7	4,3
<b>Média</b>	<b>3,55</b>	<b>3,18</b>	<b>3,66</b>	<b>2,97</b>	<b>2,98</b>	<b>3,70</b>	<b>2,10</b>	<b>1,86</b>	<b>3,09</b>	<b>2,49</b>	<b>3,23</b>	<b>3,75</b>	<b>3,27</b>

<sup>1</sup> ET-01: evapotranspiração de referência medida nos tanques lisimétricos; ET-02: evapotranspiração estimada pelo método proposto por Penman ; ET-03: evapotranspiração estimada pelo método Radiação Solar ; ET-04: evapotranspiração estimada pelo método Tanque Classe A; ET-05: evapotranspiração estimada pelo método proposto por Blaney & Criddle ; ET-06: evapotranspiração estimada pelo método proposto por Linacre ; ET-07: evapotranspiração estimada pelo método proposto por Thornthwaite ; ET-08: evapotranspiração estimada pelo método proposto por Hamon ; ET-09: evapotranspiração estimada pelo método proposto por Hargreaves ; ET-10: evapotranspiração estimada pelo método proposto por MakkinK ; ET-11: evapotranspiração estimada pelo método proposto por Papadakis ; ET-12: evapotranspiração estimada pelo método proposto por Budyko ; ET-13: evapotranspiração estimada pelo método proposto por Penman modificado .

**TABELA 9 - Análise de Variância dos valores de evapotranspiração de referência dado em mm. dia<sup>-1</sup>, medida e estimada pelos diferentes métodos de relações climatológicas. UFLA-Lavras, 1994.**

Causas de Variação	G. L.	S.Q.	Q.M.	F <sub>calculado</sub>
Tratamentos	12	26,3	2,192	5,861**
Resíduo	65	24,3	0,374	
Total	77	50,6		

\*\* teste significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F de Snedecor.

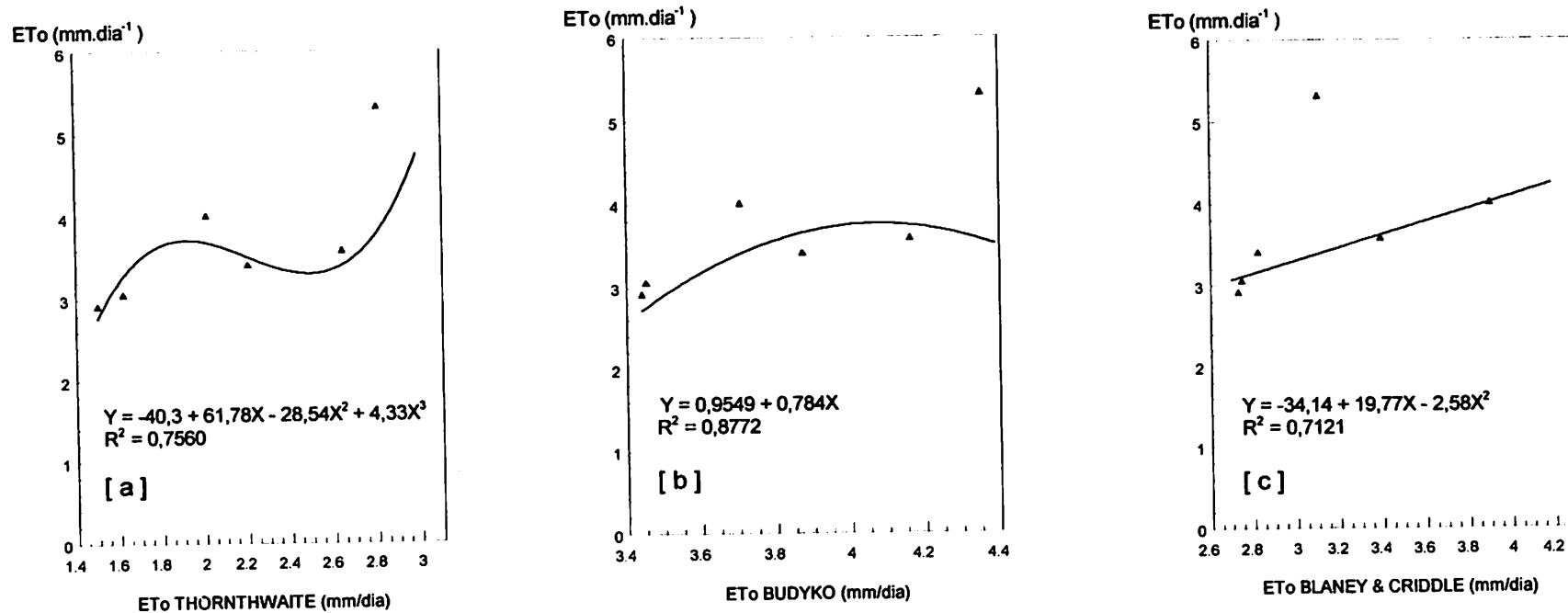
**TABELA 10 - Teste bilateral de Dunnet para comparação entre valores médios de evapotranspiração de referência dado em mm.dia<sup>-1</sup>, medido (tratamento testemunha) e os valores estimados pelos demais métodos. UFLA-Lavras, 1994.**

Método	Estimativa de contraste	S.Q. do Erro	Média	Coefficiente de determinação R <sup>2</sup>
Penman	-0,42	2,2792	3,29ns.	0,9679****
Radiação Solar	0,15	2,7961	3,86ns.	0,8198****
Classe A	-0,55	2,6814	3,16ns.	0,8834****
Blaney - Criddle	-0,41	1,8035	3,30ns.	0,8772****
Linacre	0,11	0,9584	3,32ns.	0,9106****
Thornthwaite	-1,40	1,255	2,31***	0,7560****
Hamon	-1,81	0,8377	1,90***	0,7001****
Hargreaves	-0,51	2,2014	3,20ns.	0,8647****
Makkink	-1,11	1,281	2,60***	0,8486****
Papadakis	-0,36	0,7576	3,35ns.	0,6709****
Budyko	0,07	0,9375	3,78ns.	0,7121****
Penman Mod.	-0,22	2,8685	3,49ns.	0,8728****

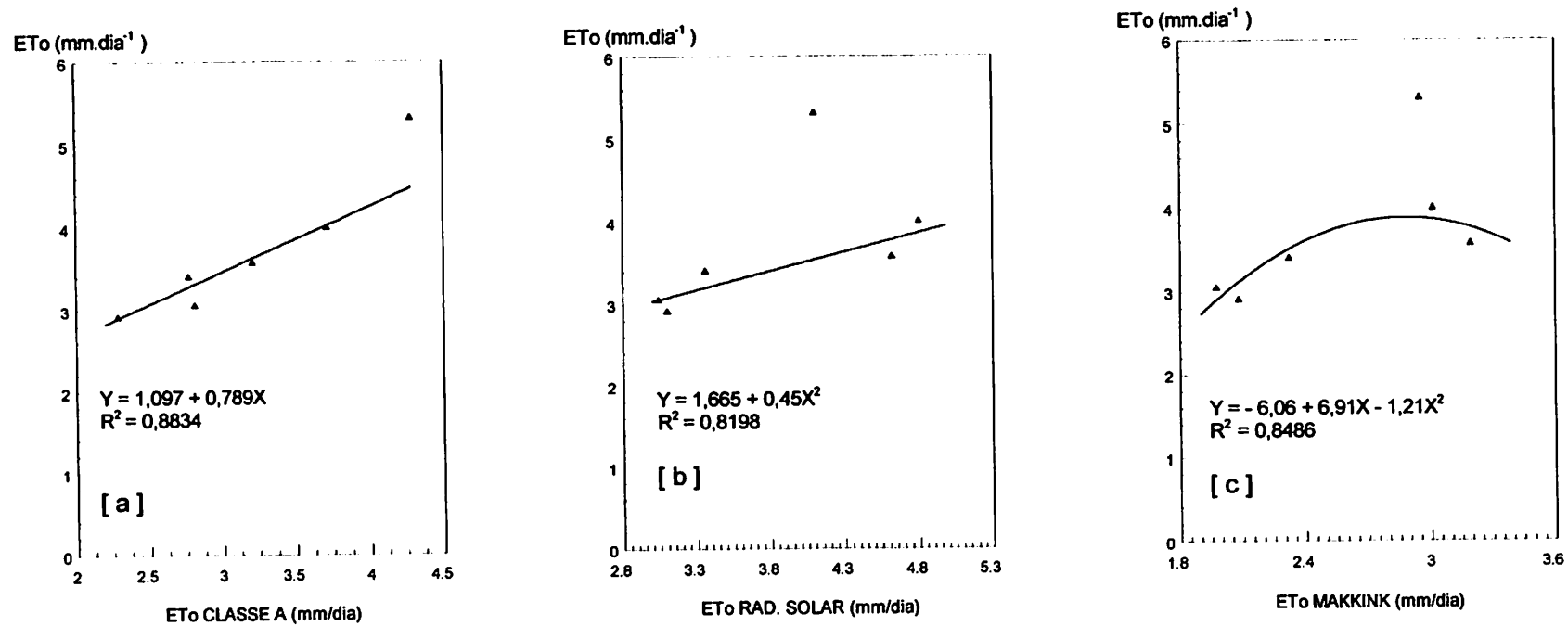
\*\*\* teste significativo ao nível de 5% de probabilidade (Teste de média de Dunnet).

ns. teste não significativo ao nível de 5% de probabilidade (Teste de média de Dunnet).

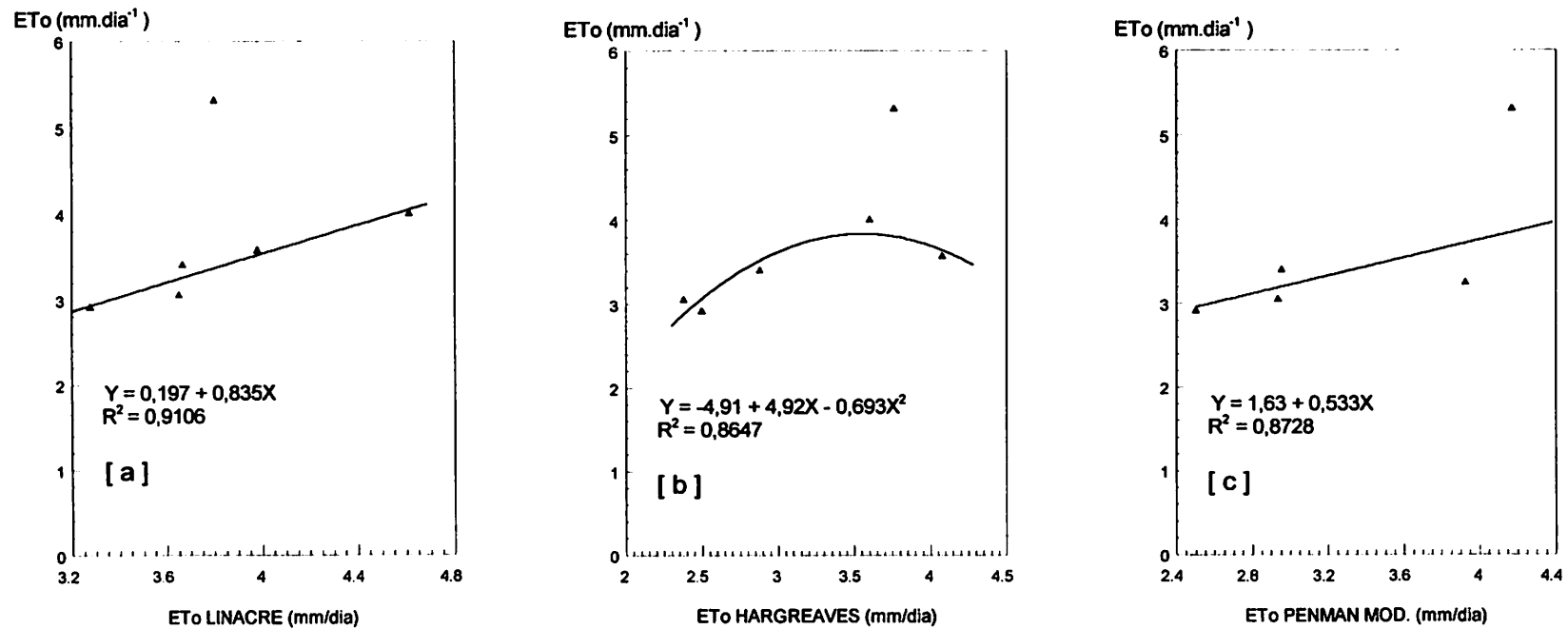
\*\*\*\* teste significativo ao nível de 5% de probabilidade pela distribuição T de Student.



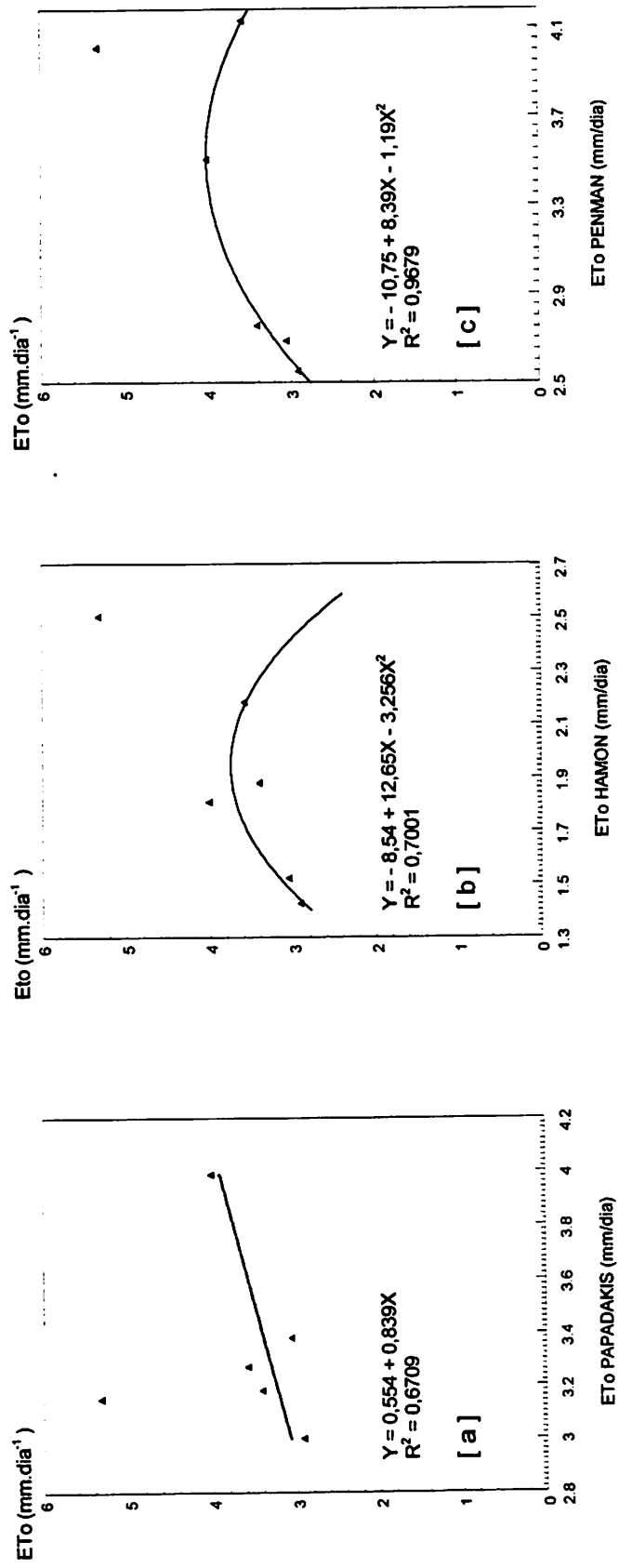
**FIGURA 7** - Comparação entre evapotranspiração de referência medida (variável dependente), e estimada pelos métodos de Thornthwaite [a], Blaney & Criddle [b] e Budyko [c], todos com base na temperatura do ar. UFLA-Lavras, 1994.



**FIGURA 8** - Comparação entre evapotranspiração de referência medida (variável dependente), e estimada pelos métodos: Tanque Classe A, com base na evaporação da água [a], Radiação Solar [b] e Makkink [c], ambos com base na radiação solar. UFLA-Lavras, 1994.



**FIGURA 9** - Comparação entre evapotranspiração de referência medida (variável dependente), e estimada pelos métodos de Linacre [a], Hargreaves [b], ambos com base na temperatura e umidade do ar, e pelo método de Penman na versão modificada para as condições de Lavras [c]. UFLA-Lavras, 1994.



**FIGURA 10** - Comparação entre evapotranspiração de referência medida (variável dependente), e estimada pelos métodos de Papadakis [a] e Hamon [b], ambos com base na umidade do ar atmosférico e pelo método original de Penman [c], este com base no balanço de energia com a aproximação aerodinâmica. UFLA-Lavras, 1994.

#### 4.4 Coeficiente de Cultura - ( $K_c$ ).

Foi obtido para cada pântada e para cada método de estimativa de  $ET_o$ , conforme Tabela 11. Para os critérios de estádios de desenvolvimento adotados, os valores de  $K_c$  são apresentados na Tabela 14. Considerando os métodos de estimativa propostos por Penman, Blaney & Criddle e métodos Radiação Solar e Tanque Classe A, todos sugeridos por Doorenbos e Pruitt (1977), comparou-se os coeficientes de cultura nos quatro métodos e os valores extremos do  $K_c$  medido no intervalo de confiança a 5%. Verifica-se que os valores ocorreram dentro do intervalo para os quatro estádios de desenvolvimento. Isto permite a obtenção de  $K_c$  pelos referidos métodos.

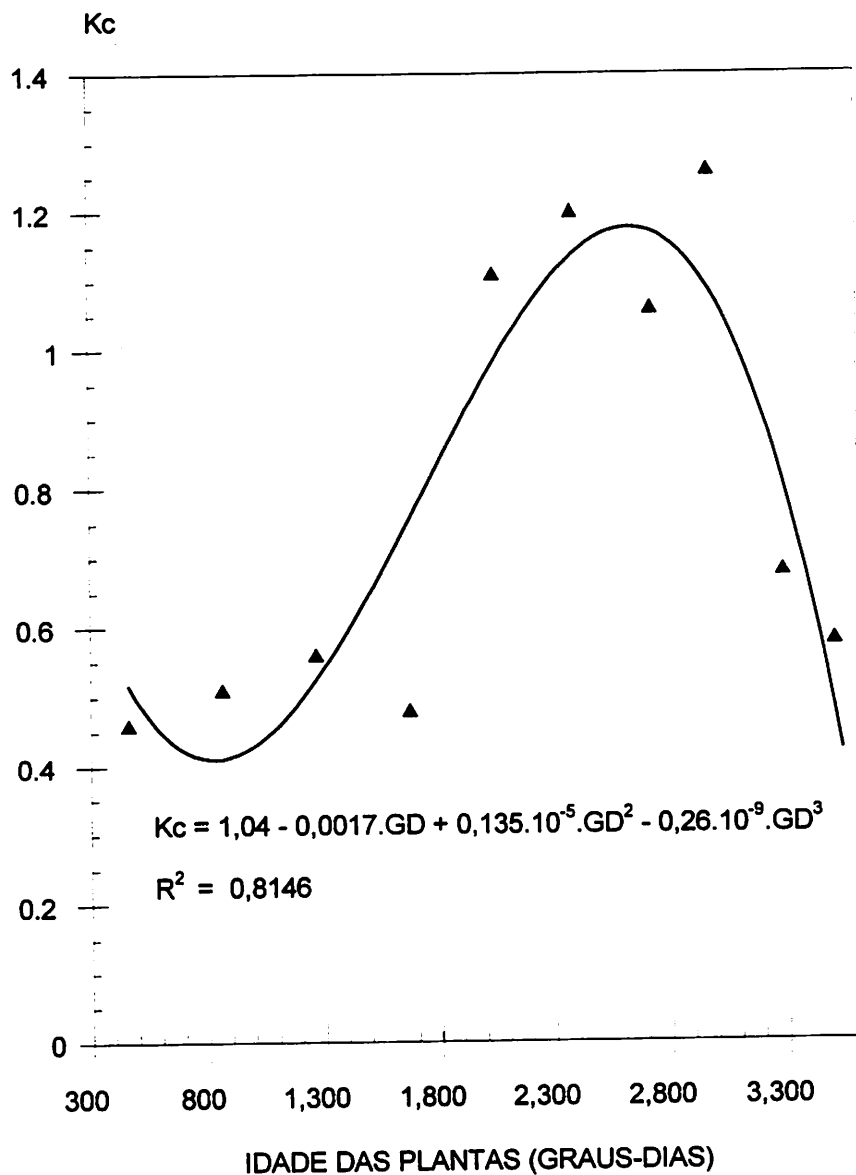
Como o coeficiente de cultura, definido pela relação entre  $ET_{m\acute{a}x.}/ET_o$ , seus valores variam de acordo com o método utilizado no cálculo de evapotranspiração de referência. O coeficiente de cultura ( $K_c$ ), medido, apresentou um valor 70% maior no estágio III, quando comparado com o estágio II e IV (estádios adjacentes). Estádio correspondente ao período com o máximo de expansão foliar, transição da fase vegetativa para a fase reprodutiva, mais a fase inicial do enchimento dos grãos. O significado real do coeficiente de cultura medido é que, numa lavoura irrigada, condições máximas de evapotranspiração estarão satisfeitas (sem restrições de água). Isto sugere o seguinte questionamento *"até que tensão de umidade no solo, o rendimento de grãos do milho pipoca, para as condições consideradas são semelhantes"*, como forma de minimizar os custos.

No  $K_c$ , onde a evapotranspiração de referência fora estimada e não medida, devem ser consideradas os métodos que melhor se correlacionaram com os valores de

ETo medido, pois representam com maior fidelidade os valores reais resultando também em valores de  $K_c$  próximos da realidade local. Foi observado dentro de cada estágio variações no  $K_c$ , sendo um valor médio representando todo o estágio considerado, suprimindo tais variações que dependendo do estágio pode ter comportamento linear e/ou potencial. Há necessidade entretanto de se buscar metodologias mais adequadas de se expressar o consumo de água real e não máxima pelas plantas de milho ao longo de seu ciclo a fim de proporcionar uma base real no relacionamento entre coeficiente de cultura e produção agrícola.

**TABELA 11** - Coeficiente de cultura medido e estimado ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ). UFLA-Lavras, 1994.

Pêntadas	Kc-01	Kc-02	Kc-03	Kc-04	Kc-05	Kc-06	Kc-07	Kc-08	Kc-09	Kc-10	Kc-11	Kc-12	Kc-13
1	0,44	0,59	0,54	0,54	0,75	0,65	0,91	1,02	0,59	0,75	0,75	0,59	0,54
2	0,47	0,54	0,56	0,57	0,68	0,56	0,75	0,81	0,60	0,78	0,66	0,47	0,54
3	0,47	0,62	0,60	0,53	0,87	0,60	0,78	0,90	0,64	0,80	0,72	0,50	0,54
4	0,32	0,48	0,48	0,44	0,61	0,53	0,74	0,83	0,54	0,69	0,69	0,48	0,50
5	0,55	0,41	0,33	0,56	0,53	0,48	0,72	0,89	0,34	0,48	0,61	0,49	0,41
6	0,66	0,52	0,44	0,72	0,64	0,54	0,82	2,10	0,53	0,65	0,72	0,56	0,52
7	0,63	0,59	0,55	0,81	0,79	0,62	0,87	1,07	0,64	0,79	0,74	0,56	0,62
8	0,59	0,61	0,58	0,87	0,74	0,64	0,93	1,06	0,66	0,84	0,69	0,57	0,66
9	0,45	0,39	0,40	0,50	0,48	0,36	0,53	0,60	0,45	0,58	0,43	0,32	0,41
10	0,41	0,35	0,31	0,49	0,38	0,36	0,57	0,74	0,38	0,45	0,44	0,36	0,41
11	0,54	0,55	0,45	0,52	0,59	0,44	0,77	0,85	0,52	0,65	0,49	0,43	0,49
12	0,48	0,66	0,49	0,76	0,58	0,49	0,93	0,98	0,57	0,71	0,53	0,50	0,60
13	0,83	1,34	1,41	1,07	1,78	0,89	1,21	1,48	1,57	2,05	1,34	0,72	1,34
14	1,11	1,12	0,81	1,12	1,00	0,77	1,32	1,62	0,97	1,16	0,91	0,74	1,00
15	1,38	1,24	1,17	1,70	1,20	1,08	1,86	2,16	1,36	1,70	1,11	1,02	1,24
16	0,92	1,61	1,25	1,25	1,43	1,17	1,76	2,28	1,43	1,76	1,38	1,05	1,55
17	1,34	1,33	1,12	1,56	1,24	1,06	2,39	2,11	1,33	1,63	0,99	0,99	1,24
18	1,35	1,32	1,04	1,43	1,14	0,98	2,29	2,29	1,27	1,56	1,04	1,01	1,14
19	0,92	1,59	1,15	1,52	1,34	1,11	2,23	2,57	1,39	1,67	1,28	1,08	1,52
20	1,21	1,37	1,24	1,64	1,24	1,21	2,73	2,73	1,52	1,86	1,17	1,17	1,52
21	1,04	1,08	1,12	1,36	1,29	0,83	1,72	1,72	1,36	1,72	0,89	0,76	1,36
22	1,27	1,42	0,99	1,48	1,31	1,08	2,37	3,23	1,37	1,54	1,69	1,37	1,54
23	1,34	1,16	0,90	1,26	1,07	0,88	1,81	1,93	1,11	1,31	0,90	0,88	1,11
24	1,17	1,50	1,32	1,09	1,50	1,40	2,72	3,35	1,74	2,07	1,61	1,45	1,45
25	0,78	0,83	1,03	0,83	0,90	0,65	1,35	1,66	1,44	1,66	0,86	0,74	0,72
26	0,67	0,98	1,23	0,87	1,06	0,57	1,46	1,46	1,56	1,95	0,62	0,67	0,94
27	0,64	0,61	0,54	0,75	0,66	0,46	1,04	1,04	0,66	0,79	0,47	0,47	0,59
28	0,66	0,72	0,46	0,72	0,58	0,48	1,27	1,20	0,58	0,72	0,47	0,57	0,58
29	0,49	0,56	0,41	0,53	0,51	0,43	0,99	1,09	0,55	0,66	0,48	0,53	0,46



**FIGURA 11** - Curva que relaciona o coeficiente de cultura medido ( $K_c$ ), com o ciclo da cultura, expresso em unidades térmicas acumuladas (coeficiente de determinação- $R^2$ , ao nível de 5% de probabilidade). UFLA-Lavras, 1994.

#### 4.5 Características do Desenvolvimento Vegetal.

Para análise quantitativa do desenvolvimento vegetal as variáveis adotadas [índice de área foliar-IAF, altura das plantas-AP e o acúmulo de unidades térmicas (Graus-dia)], permitiram descrever as variações da biomassa vegetal durante todo o ciclo da cultura, possibilitando comparações com o consumo de água pelas plantas de milho.

Estas variáveis foram medidas nas parcelas experimentais em períodos quinzenais. Os resultados estão na Tabela 12.

**TABELA 12** - Desenvolvimento vegetativo do milho associado aos parâmetros; IAF, AP, Consumo hídrico (acumulado), e ao acúmulo de Graus-dia. UFLA-Lavras, 1994.

Quinzenas	Área Foliar (cm <sup>2</sup> )	Altura das Plantas (metros)	IAF	Graus-dia	Consumo de Água (mm)
<b>1</b> (12/03-27/03)	57,81	0,16	0,046	462,67	36,70
<b>2</b> (28/03-11/04)	515,22	0,48	0,410	857,42	67,90
<b>3</b> (12/04-26/04)	1294,34	1,48	1,030	1272,49	98,80
<b>4</b> (27/04-11/05)	3129,03	1,79	2,490	1667,36	124,95
<b>5</b> (12/05-26/05)	4888,33	2,07	3,890	2037,96	173,30
<b>6</b> (27/05-10/06)	3443,19	2,07	2,740	2393,54	227,75
<b>7</b> (11/06-25/06)	1922,66	2,07	1,530	2712,21	277,85
<b>8</b> (26/06-10/07)	955,05	2,07	0,760	2975,52	331,80
<b>9</b> (11/07-25/07)	640,89	2,07	0,510	3280,87	362,60
<b>10</b> (26/10-04/08)	0,00	2,07	0,000	3503,33	383,25

As variáveis altura de plantas-AP e índice de área foliar-IAF, apresentaram relação de linearidade até atingirem valores máximos Figura 12-a e 12-b, expressando o desenvolvimento vegetal em relação a sua altura e a expansão dos limbos foliares. Para maior fidelidade no cálculo da área foliar testou-se a eficiência da equação utilizada (equação 9), através de regressão. A área foliar calculada de uma amostra com 300 limbos foliares de diversas dimensões, com área foliar medida diretamente

com o Integrador de Área foliar (PORTABLE ÁREA METER MOD. LI-3000, Fabricante LICOR), encontrando a seguinte equação de ajuste;

$$Y = 40.627 + 0.876X \dots\dots\dots(52)$$

com coeficiente de determinação -  $R^2$ , igual a 0.8631, com 5% de significância onde "X" é a variável calculada pela equação 9. Isto sugere boa adequação da expressão (9), para o cálculo da área foliar em plantas de milho pipoca.

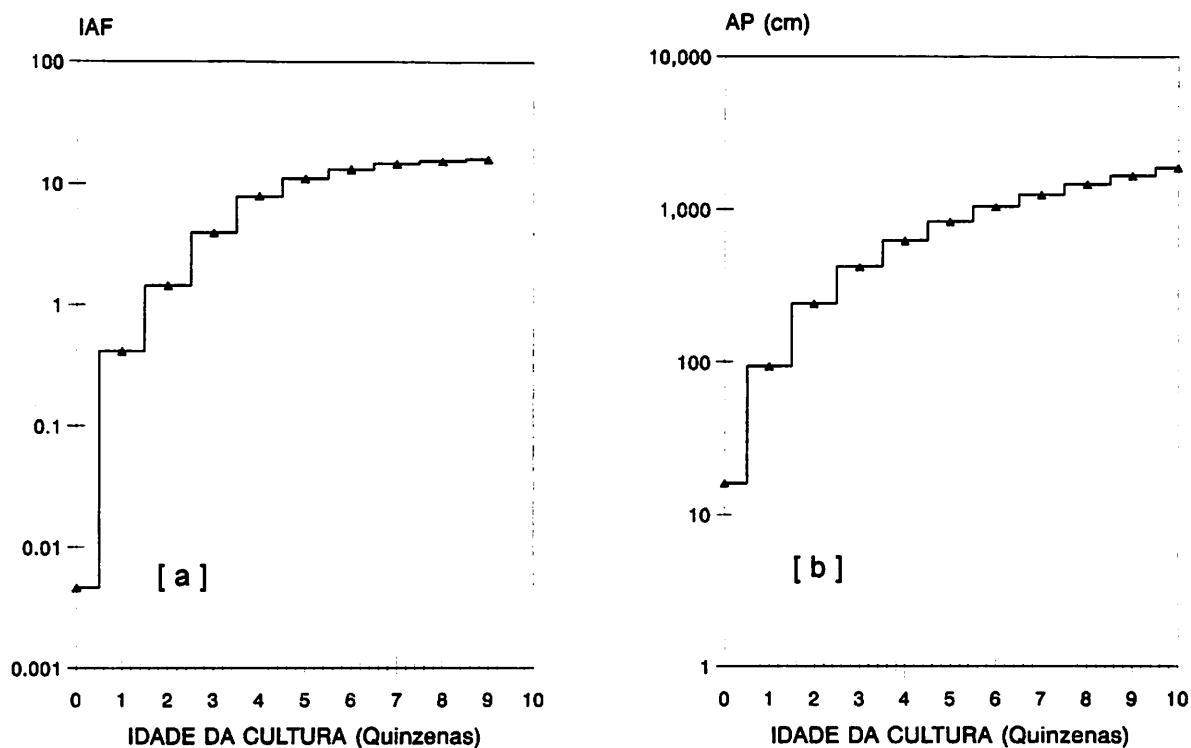
Pela Tabela 13, detecta-se que as variáveis AP e IAF, nos seus pontos máximos, estas coincidem com os máximos valores de Kc, permitindo mostrar uma boa sintonia entre estes parâmetros. Ressalta-se que a constante térmica referente a 1ª pênada compreende o período do plantio a germinação (170,1). Período este excluído da Tabela 12 e 13, em face aos critérios de divisão adotado para o ciclo da cultura.

**TABELA 13** - Características do crescimento vegetal comparados aos coeficientes de cultura (Kc), para períodos quinzenais. UFLA-Lavras, 1994.

Quinzenas	Kc (medido)	IAF <sub>(quinzena)</sub>	IAF <sub>(acumulado)</sub>	AP (cm)	Graus-dia (quinzena)	Graus-dia (acumulado)
1	0,46	0,0046	0,0046	16,0	462,66	462,66
2	0,51	0,41	0,4146	78,0	394,75	857,42
3	0,56	1,03	1,4446	147,5	415,07	1272,49
4	0,48	2,49	3,9346	179,0	394,87	1667,36
5	1,11	3,89	7,8246	207,0	370,60	2037,96
6	1,20	3,19	11,0146	207,0	355,58	2393,54
7	1,06	2,15	13,1646	207,0	318,67	2712,21
8	1,26	1,53	14,6946	207,0	263,31	2975,52
9	0,68	0,76	15,4546	207,0	305,35	3280,87
10	0,58	0,51	15,9646	207,0	222,47	3503,33

**TABELA 14** - Coeficientes de cultura-*Kc* medido e estimados pelos diferentes métodos, comparados aos estádios de desenvolvimento vegetal (critério FAO), *graus-dia* acumulado e por estágio. UFLA - Lavras, 1994.

Métodos de estimativa	Estádio I	Estádio II	Estádio III	Estádio IV
Medido	0,49	0,56	1,19	0,73
Penman	0,67	0,76	1,23	0,87
Radiação Solar	0,51	0,64	1,32	0,87
Classe A	0,68	0,87	1,59	1,30
Blaney & Criddle	0,53	0,68	1,31	1,00
Linacre	0,48	0,60	1,08	0,83
Thornthwaite	0,56	0,72	1,43	0,79
Hamon	0,54	0,54	1,02	0,67
Hargreaves	0,76	0,83	2,05	1,47
Makkink	1,11	0,97	2,26	1,63
Papadakis	0,68	0,67	1,14	0,75
Budyko	0,50	0,65	1,32	0,79
Penman Mod,	0,50	0,50	1,01	0,74
Graus-dia (GD)	687,32	928,04	1099,74	618,13
GD Acumulado	687,32	1615,36	2715,10	3333,23
Periodo	(18/03 - 11/04)	(12/04 - 06/05)	(07/05 - 05/07)	(06/07-04/08)



**FIGURA 12** - Comparação entre altura das plantas-AP, expresso em centímetros [a] e, índice de área foliar-IAF acumulado [b], durante todo o ciclo da cultura, expresso em quinzenas, UFLA-Lavras, 1994,

## 5 CONCLUSÕES

A evapotranspiração máxima para o milho pipoca cv, CMS-43 da EMBRAPA, com o ciclo observado de 146 dias, correspondeu a um consumo total de 383,25 mm de água representando uma lâmina média de 2,62 mm.dia<sup>-1</sup>, enquanto que a evapotranspiração de referência correspondeu a 521,17 mm.

Constatou-se estreita correlação entre IAF e consumo hídrico.

As exigências hídricas e em unidades térmicas por estágio foram: 170,10 graus-dia e 15,30 mm; 687,32 graus-dia e 52,6 mm; 928,04 graus-dia e 46,8 mm; 1.099,74 graus-dia e 195,35 mm e finalmente 618,13 graus-dia e 73,20 mm; na fase inicial e estádios I, II, III e IV respectivamente.

O coeficiente de cultura pode ser estimado em função das constantes térmicas conforme expressão:  $K_c = 1,04 - 0,0017, GD + 0,135, 10^{-5}, GD^2 - 0,26, 10^{-9}, GD^3$ .

A evapotranspiração máxima do milho pipoca pode ser calculado a partir da evapotranspiração de referência estimada pelos métodos de Penman, Linacre, Tanque Classe A, Blaney & Criddle, Penman Modificado, Hargreaves, Makkink ou Radiação Solar, dentro das condições de local e tempo em que se desenvolveu este trabalho.

Os métodos; Thornthwaite, Hamon, Papadakis e Budyko apresentaram baixos coeficientes de determinação ao nível de 5%.

O coeficiente de cultura  $K_c$  determinado por estágio foi: 0,49; 0,56; 1,19 e 0,73 respectivamente, estágio I, II, III e IV.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOUKHALED, A. ; ALFARO, A. ; SMITH, M. Lysimeter. Rome: FAO, 39. 1982. 68p.
- ALLEN, R. G. ; PRUITT, W. O. ; FAO - 24 Reference evapotranspiration factors, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, V. 117, n. 5, p.758-772, 1991.
- ANDRADE, H, Caracterização genética, morfológica e classificação de dois solos do Município de Lavras - MG em correlação com a geomorfologia da área. Lavras: ESAL, 1979, 76p, (Tese - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- AUBERTIN, G. M. ; PETER, D. B. Net radiation determination in a cornfield. Agronomy Journal, Madison, V. 53, p.269-272, 1961.
- BERLATO, M. A. ; MOLION, L. C. B. Evaporação e Evapotranspiração. Porto Alegre: IPAGRO, 1981. 95p. (Boletim Técnico, n. 7).
- BERLATO, M. A. ; MATZENAUER, R. SUTILI, V. R. Relação entre temperatura e o aparecimento de fases fisiológicas do milho (*Zea mays* L.) Agronomia Sulriograndense, Porto Alegre, V. 20, n. 1, p.111-132, 1984.
- BERNARDO, S, Manual de irrigação. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1986. 488p.
- BLANEY, H. F. ; CRIDDLE, W. D. Determining water requirements in irrigated area from climatological and irrigation data. Washington: USA / Conservation Service, 1952. 96p.
- BOWMAN, M. L. Corn growing judging buding feeding e marketing. Waterloo: Sold By Water loo Publishing GO, 1915.
- BRASIL, Ministério de Irrigação. Programa Nacional de Irrigação. Tempo de irrigar: (Manual do Irrigante). São Paulo: Mater, 1987. 160p.
- BROWN, D. M. Heat units for corn in southern ontário. Ontário: Departament of Agriculture an Food. Factsheet, 1970. 4p.

- BRUNINI, O. Zoneamento agroclimático - material e métodos, In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 3, Londrina-PR, 1980. Coletânea de Resumos. Londrina: SBPC, 1980. p.162-187.
- BRUNINI, O. Medidas de evapotranspiração - métodos. In: III Curso prático internacional de agrometeorologia para otimização da irrigação. Campinas: Instituto Agrônomo-IAC, [ca. 1989]. n.p (Mimeografado).
- CAMARGO, A. P. de. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. Bragantia. Campinas, v. 21, n. 12, p.163-213, Fev. 1962.
- CAMARGO, A. P. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. Campinas: IAC, 1966. 54p. (Boletim, 16).
- CAMARGO, M. E. Exigências bioclimáticas e estimativa da produtividade para quatro cultivares de soja no Estado de São Paulo. Piracicaba: ESALQ, 1984. 96p. (Tese de Mestrado).
- CAMPELO, J. H. J. ; CASEIRO, F. T Métodos de estimativa da evapotranspiração potencial, In: Relatório de pesquisa da UFMT/PRONI/Cuiabá. Cuiabá: Universidade federal de Mato Grosso, 1989. 159p.
- CASTRO NETO, P. ; SOARES, A. M. Avaliação Sazonal de Métodos Para Estimativa da Evapotranspiração Potencial Diária em Lavras, Estado de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. 4, Maceió, 1989. Anais ... Maceió, 1989. p.265-274.
- CASTRO NETO, P. Notas de aula prática do curso de agrometeorologia. Lavras: ESAL, 1988. 45p. (Mimeografado).
- CASTRO NETO, P. ; OLIVEIRA, O, J. ; SILVA, A, M. ; MEIRELES, E, J, Estimativa do termo "aerodinâmico" da equação de penman, utilizando atmômetro de piche e temperatura média do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, Campina Grande, 1995. Resumos ... Campina Grande, 1995. p.162-164.
- CHANG, J. Climate and agriculture. 2. ed. Chicago: Aldine Publishing Company, 1971. 269p.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 4ª aproximação. Lavras, 1989. 176p.
- DENMEAD, O. T. ; SHAW, R. H. Availability of soil water to plants as affected by soil-moisture content and meteorological conditions, Agronomy Journal, Madison, v.45, n.5, p.385-390, 1962.

- DEMEAD, O. T. ; SHAW, R. H. Evapotranspiration in relation to the development of the corn crop. Agronomy Journal, Madison, v.51, p.725-726, 1959.
- DOORENBOS, J. ; PRUITT, W. O. ; Crop water requirements. Rome:FAO, 1977. 144p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).
- DOORENBOS, J. ; KASSAM, A. H. Yield response to water. Rome: FAO, 1979. 179p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 33).
- ELDREDGE, J. E. ; LYERLY, P. J. Pop corn in Iowa. Iowa State Coll. Agr. Mech. Arts. Agr. Expt. Sta. Bull.1943. p.754-778.
- FORNASIERE FILHO, D. A Cultura do Milho. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 273p.
- FREIRE, J. C. Condutividade hidráulica e capacidade de campo de latossolo roxo distrófico não saturado. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Campinas, v.3 p.73-77, 1979.
- FREVERT, D. K. ; HILL, R. W. ; BRAATEN, B. C. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v. 109, n.2, p.265-270, 1983.
- GANGOPADHYAYA, M. Measurements and estimation of evaporation and evapotranspiration. Genova: WMO, 1966, 121p. (Technical Note, 83).
- GARDNER, W. R. Dynamics aspects of water availability to plants. Soil Science, Madison, v.89, n.2, p.63-73, 1960.
- GOMES E GAMA, E. E. ; MAGNAVACA, R. ; DA SILVA, J. B. et al. Milho pipoca. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.14, n.165, p.8-12, 1990.
- HILLEL, D. Role of Irrigation in agricultural systems. In: STEWART, B. A. ; NIELSEN, D. R. (ed.) Irrigation of Agricultural Crops. Madison: ASA, 1990. cap.2, p. 5-20.
- IGREJA, S. M. S. Demanda hídrica do caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp. cv. V-9) em área do trópico úmido brasileiro. Piracicaba: ESALQ, 1987. 131p. (Tese - Mestrado em Agrometeorologia).
- JENSEN, M. E. Consumptive use of water and irrigation water requeriments. New York: ASCE, 1974. 215p.
- KRAMER, P. J. Relaciones hídrica de suelos y plant ureia sintesis moderna (Plant and Soil Water Relationship a Modern Syntheses). México: Idictes. 1969. 538p.
- LOZADA GARCIA, B. I. Determinação de temperatura-base e influência de variáveis climáticas na duração do ciclo e na produção do milho. Piracicaba: ESALQ, 1993. 82p. (Tese - Mestrado em Agrometeorologia).

- LUITGARDS DE MOURA, M. C. F. Determinação do consumo de água para a cultura do milho (*Zea mays* L.) Pelo Método Lisimétrico. Piracicaba: ESALQ, 1990. 94p. (Tese - Mestrado em Irrigação e Drenagem).
- MAENO, P. Determinação de parâmetros de ajuste para estimativa da evapotranspiração de referência pelos métodos recomendados pela FAO, para Região de Sete Lagoas-MG. Viçosa: UFV, 1993. 84p. (Tese - Mestrado em Irrigação e Drenagem).
- MAGALHÃES, A. C. N. de. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M. G. Fisiologia Vegetal I. São Paulo: EPV/EDUSP, 1979. v.1, p.331-350.
- MAGALHÃES, A. C. ; SILVA, W. J. Determinantes genético-fisiológicos da produtividade do milho. In: Melhoramento e produção do milho no Brasil. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.349-375.
- MATZENAUER, R. ; BERGAMASCHI, H. ; BERLATO, M. A. ; RIBOLDI, J. Relações Entre Rendimento de Milho e Variáveis Hídricas. Revista Brasileira de Agrometeorologia. Santa Maria, v.3, p.85-92, 1995.
- MEDEIROS, J. B. ; FELDMAN, R. O. ; VIANA, A. C. Avaliação de dez cultivares de milho pipoca em três densidades de plantio. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 13, Londrina, 1980. Resumos ... Londrina: EMBRAPA, 1980. 102p.
- MEZZACAPPA, M. P. Produção e capacidade de expansão do milho pipoca. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO, 5, São Paulo, 1972. Anais ... São Paulo: ESALQ, 1972. p.95-98.
- OLIVEIRA NUNEZ, J. G. Caracterização das fases fenológicas de três cultivares de milho, utilizando o conceito de graus-dia. Viçosa: UFV, 1986. 54p. (Tese - Mestrado Meteorologia Agrícola).
- OMETTO, J. C. Bioclimatologia vegetal. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 1981. 440p.
- PENMAN, H. L. Evaporation: an introduction survey, Netherlands. Journal of Agricultural Science. Cambridge, v.4, p.9-29, 1956.
- PEREIRA, P. M. Determinação do coeficiente de cultura para o trigo (*Triticum aestivum* L.), irrigado. Viçosa: UFV, 1984. 55p. (Tese - Mestrado em Irrigação e Drenagem).
- PERON, A. J. ; CASTRO NETO, P. Probabilidade de ocorrência de veranicos na Região de Lavras-Minas Gerais. Ciência e Prática, Lavras, v.4, n.3, p.46-55, Jan./Jun. 1980.
- REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. Campinas: CNEN/Fundação Cargill, 1985. 445p.

- SANTOS, J. M. Equipamentos para medida e estimativa da evaporação e evapotranspiração. In: III Curso prático internacional de agrometeorologia para otimização da irrigação. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas-IAC, (ca. 1989), n.p. (Mimeografado).
- SCALOPI, E. J. Métodos climatológicos para avaliar a evapotranspiração. Piracicaba: ESALQ, 1972. 88p. (Tese de Mestrado).
- SEDIYAMA, G. C. Estudos de métodos para estimativa da evapotranspiração potencial em Viçosa. Viçosa: UFV, 1972. 42p. (Tese de Mestrado).
- SEDIYAMA, G. C. Necessidade de água para os cultivos. Brasília: ABEAS, 1988. 143p. (Curso Especialização em Engenharia da Irrigação).
- SEDIYAMA, G. C. A Versão proposta para o conceito de evapotranspiração de referência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9, Campina Grande, 1995. Resumos ... Campina Grande, 1995. n.p.
- SELLERS, W. D. Physical climatology. Chicago: University of Chicago Press, 1965. 272p.
- SILVA, A. A. G. Avaliação da eficiência de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o Município de Parnaíba-PI. Piracicaba: ESALQ, 1989. 81p. (Tese - Mestrado em Agrometeorologia).
- SILVA, J. A. Influência da umidade do solo nas exigências térmicas de três cultivares de milho (*Zea mays* L.). Viçosa: UFV, 1989. 79p. (Tese - Mestrado em Meteorologia Agrícola).
- SILVA, M. A. V. Análise de crescimento, desenvolvimento e eficiência do uso da radiação solar para dois cultivares de milho. Viçosa: UFV, 1995. 63p. (Tese - Doutorado em Meteorologia Agrícola).
- SMITH, M. Report on The expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for predictions of crop water requirements. Rome: FAO. 1991. 45p.
- SNEDECOR, G. W. ; COCHRAN, W. G. Statistical methods. 6<sup>th</sup> ed. Ames: Iowa State University, 1980. 507p.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review. New York, v.38, n.1, p.55-94, 1948.
- VAN GENUCHTEN, M.Th. A Closed - form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal. Madison, v. 44, p.892-898, 1980.
- VAZ OLIVEIRA, J. M. O Milho. Lisboa: Coleção Técnica Agrária, 1984.

- VIANELLO, R. L. ; ALVES, A. R. Meteorologia básica e aplicações. Viçosa: UFV, 1991. 449p.
- VOLPE, C. A. Eficiência no uso da água, resistência estomática e parâmetros aerodinâmicos da cultura do milho (Zea mays L.). Piracicaba: ESALQ, 1986. 204p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- WATSON, D. J. The Physiological Basis of Variation in Yields. Advances in Agronomy. Orlando, v.4, p.101-145, 1952.
- WILLER, J. G. ; BRUNSON, A. M. Factors affecting the popping quality of pop corn. Journal of Agricultural Research. Washington, v.35, n.7, p.615-624, 1927.
- WRIGHT, J. L. ; JENSEN, M. E. Peak waters requeriments in southern Idaho. Journal of The Irrigation and Drainage Division, ASCE. New York, v.98, n.IR2. p.193-201, 1972.
- ZINSLY, J. R. ; MACHADO, J. A. Milho Pipoca. In: FUNDAÇÃO CARGILL. Melhoramento e produção do milho. Campinas, 1987. p. 413-421.

## **APÊNDICE**

## APÊNDICE - A

**TABELA 1 - Evapotranspiração tabular diária expressa em mm, segundo Thornthwaite, não ajustada para o comprimento do dia correspondente à temperatura média mensal (Td) entre 10,0 e 26,0 °C, com temperatura média anual normal (Índice T) entre 12,5 e 27°C.**

Td	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	20,5	21,0	21,5	22,0	22,5	23,0	23,5	24,0	24,5	25,0	25,5	26,0	26,5	27,0
°C	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
10,0	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	
10,5	1,4	1,4	1,4	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	
11,0	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	
11,5	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	
12,0	1,7	1,6	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	
12,5	1,8	1,7	1,7	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	
13,0	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	
13,5	2,0	1,9	1,9	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	
14,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	
14,5	2,1	2,1	2,0	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	
15,0	2,2	2,2	2,1	2,0	2,0	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	
15,5	2,3	2,3	2,2	2,1	2,1	2,0	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	
16,0	2,4	2,4	2,3	2,2	2,2	2,1	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9	1,8	1,7	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	
16,5	2,5	2,5	2,4	2,3	2,3	2,2	2,1	2,1	2,0	1,9	1,9	1,8	1,7	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	
17,0	2,6	2,6	2,5	2,4	2,4	2,3	2,2	2,2	2,1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	
17,5	2,7	2,7	2,6	2,5	2,5	2,4	2,3	2,3	2,3	2,2	2,2	2,1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	
18,0	2,8	2,8	2,7	2,6	2,6	2,5	2,4	2,4	2,4	2,3	2,3	2,2	2,1	2,1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	
18,5	2,9	2,9	2,8	2,7	2,7	2,6	2,5	2,5	2,5	2,4	2,4	2,3	2,2	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	
19,0	3,0	3,0	2,9	2,8	2,8	2,7	2,6	2,6	2,6	2,5	2,5	2,4	2,3	2,2	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	
19,5	3,1	3,1	3,0	2,9	2,9	2,8	2,7	2,7	2,7	2,6	2,6	2,5	2,5	2,4	2,4	2,3	2,2	2,2	2,1	2,0	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	
20,0	3,2	3,2	3,1	3,0	3,0	3,0	2,9	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,3	2,3	2,2	2,1	2,1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	
20,5	3,3	3,3	3,2	3,2	3,2	3,1	3,0	3,0	2,9	2,9	2,9	2,8	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,3	2,3	2,2	2,1	2,1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	
21,0	3,4	3,4	3,3	3,3	3,3	3,2	3,1	3,1	3,1	3,0	3,0	2,9	2,9	2,8	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,4	2,3	2,2	2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7	
21,5	3,5	3,5	3,4	3,4	3,4	3,3	3,2	3,2	3,2	3,1	3,1	3,0	3,0	2,9	2,9	2,8	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,4	2,3	2,3	2,2	2,2	2,1	2,0	1,9	
22,0	3,6	3,6	3,5	3,5	3,4	3,4	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,1	3,1	3,1	3,0	3,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,4	2,3	2,3	2,2	2,1	2,0	
22,5	3,7	3,7	3,6	3,6	3,6	3,5	3,5	3,4	3,4	3,4	3,4	3,3	3,3	3,2	3,2	3,1	3,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,4	2,3	2,3	2,2	2,1	2,0	
23,0	3,8	3,8	3,8	3,7	3,7	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,7	3,7	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,2	3,2	3,1	3,0	3,0	2,9	2,9	2,8	2,8	
23,5	3,9	3,9	3,9	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,7	3,7	3,4	3,3	3,2	3,2	3,2	3,1	3,1	3,1	3,0	
24,0	4,0	4,0	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,8	3,8	4,0	4,0	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,8	3,8	3,5	3,4	3,3	3,3	3,3	3,3	3,2	3,2	3,2	
24,5	4,1	4,1	4,1	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,9	3,9	4,1	4,1	4,1	4,0	4,0	4,0	4,0	3,9	3,9	3,7	3,6	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,4	3,4	3,4	
25,0	4,2	4,2	4,2	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,1	4,1	4,0	3,9	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,7	3,7	3,7	
25,5	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,2	4,2	4,2	4,2	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,4	4,4	4,4	4,4	4,1	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	
26,0	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	

Transcrito de OMETTO, (1981).

## APÊNDICE - A

**TABELA 2 - Valores de "p" da equação de Blaney & Criddle para cálculo da evapotranspiração de referência, para diferentes latitudes compreendidas entre 60° sul a 60° norte.**

Latitude Norte	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Latitude Sul <sup>(1)</sup>	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho
60°	0,15	0,20	0,26	0,32	0,38	0,41	0,40	0,34	0,28	0,22	0,17	0,13
58°	0,16	0,21	0,26	0,32	0,37	0,40	0,39	0,34	0,28	0,23	0,18	0,15
56°	0,17	0,21	0,26	0,32	0,36	0,39	0,38	0,33	0,28	0,23	0,18	0,16
54°	0,18	0,22	0,26	0,31	0,36	0,38	0,37	0,33	0,28	0,23	0,19	0,17
52°	0,19	0,22	0,27	0,31	0,35	0,37	0,36	0,33	0,28	0,24	0,20	0,17
50°	0,19	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24	0,20	0,18
48°	0,20	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19
46°	0,20	0,23	0,27	0,30	0,34	0,35	0,34	0,32	0,28	0,24	0,21	0,20
44°	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,35	0,34	0,31	0,28	0,25	0,22	0,20
42°	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21
40°	0,22	0,24	0,27	0,30	0,32	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21
35°	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,32	0,30	0,28	0,25	0,23	0,22
30°	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,31	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23
25°	0,24	0,26	0,27	0,29	0,30	0,31	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25	0,24
20°	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,29	0,28	0,26	0,25	0,25
15°	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26
10°	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26
5°	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27
0°	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27

<sup>1</sup> Latitudes sul : adotar 6 meses de diferença nos valores mostrados.  
Transcrito de Doorenbos e Pruitt (1977).

## APÊNDICE - B

**TABELA 1 - Valores por pântadas dos fatores meteorológicos, para o período experimental compreendido entre 12 de março a 04 de agosto de 1994. UFLA - Lavras, 1994.**

Pântadas	Ro <sub>(mm.dia<sup>-1</sup>)</sub>	Rg <sub>(mm.dia<sup>-1</sup>)</sub>	Rn <sub>(mm.dia<sup>-1</sup>)</sub>	Pp <sub>(mm)</sub>	[ea.(es <sup>-1</sup> )]	T <sub>(°C)</sub>	Piche <sub>(mm.dia<sup>-1</sup>)</sub>	[n.(N <sup>-1</sup> )]	U <sub>[km.(dia<sup>-1</sup>)]</sub>	γ <sub>(mbars.(°C)<sup>-1</sup>)</sub>	Δ <sub>(mbars.(°C)<sup>-1</sup>)</sub>
1	14,67	8,01	4,31	4,9	0,800	21,55	2,93	0,5303	159,25	0,6057	1,5706
2	13,72	6,43	3,62	33,6	0,838	22,32	2,22	0,3808	225,20	0,6053	1,6351
3	13,95	6,51	3,66	47,0	0,852	21,46	2,42	0,3774	157,80	0,6076	1,5660
4	13,59	7,15	3,78	41,8	0,794	21,56	2,52	0,4924	221,70	0,6076	1,5746
5	13,65	9,80	4,31	1,2	0,704	19,80	3,18	0,8612	167,30	0,6072	1,4292
6	12,80	8,26	3,65	0,0	0,720	19,90	3,18	0,7207	179,40	0,6068	1,4430
7	12,37	7,13	3,39	4,4	0,780	20,82	2,58	0,5891	204,20	0,6082	1,5164
8	11,98	6,92	3,30	11,6	0,802	21,34	2,40	0,5903	244,60	0,6070	1,5552
9	11,59	5,82	2,86	0,0	0,796	21,42	2,40	0,4454	163,80	0,6090	1,5608
10	11,03	7,55	2,95	1,0	0,732	20,66	3,00	0,7973	236,80	0,6096	1,4994
11	11,15	6,43	2,70	0,0	0,736	20,02	2,90	0,5895	121,40	0,6093	1,4416
12	10,42	6,90	2,50	0,0	0,702	20,50	3,06	0,7541	122,40	0,6088	1,4848
13	10,09	3,51	1,87	146,1	0,816	18,24	2,60	0,1486	162,80	0,6078	1,3112
14	9,80	6,12	2,10	36,6	0,738	18,74	2,74	0,6814	117,80	0,6077	1,3519
15	9,49	5,86	2,11	1,0	0,766	20,18	3,32	0,6676	234,70	0,6073	1,4588
16	9,26	5,55	1,92	14,6	0,796	18,40	2,40	0,6334	149,10	0,6077	1,3263
17	9,08	5,51	1,78	0,0	0,770	18,18	3,32	0,6464	197,50	0,6091	1,3076
18	8,96	5,70	1,59	0,0	0,718	17,04	3,50	0,6987	165,80	0,6103	1,2357
19	8,83	5,30	1,51	0,0	0,760	15,36	2,60	0,6287	150,40	0,6098	1,1230
20	8,78	5,61	1,55	0,0	0,746	17,26	3,20	0,7089	255,40	0,6085	1,2454
21	8,77	4,06	1,54	0,0	0,800	17,08	2,01	0,3713	214,37	0,6065	1,2311
22	8,82	6,34	1,09	0,0	0,630	12,90	3,20	0,8619	168,08	0,6105	0,9810
23	8,90	5,69	1,57	0,0	0,744	16,64	3,20	0,7089	181,44	0,6099	1,2015
24	9,08	5,75	1,52	2,0	0,708	14,68	3,80	0,6984	224,64	0,6097	1,1136
25	9,25	3,56	0,73	0,0	0,672	14,40	4,40	0,4254	224,64	0,6124	1,0565
26	9,47	3,16	1,55	0,0	0,610	17,36	4,20	0,1220	99,16	0,6097	1,2503
27	9,77	5,33	1,89	1,5	0,722	17,52	2,82	0,5290	153,82	0,6087	1,2538
28	10,07	7,44	2,01	0,0	0,598	18,98	4,10	0,9009	112,32	0,6101	1,3685
29	10,40	7,36	2,06	0,0	0,568	18,64	5,32	0,8418	138,24	0,6088	1,3521

## APÊNDICE - C

**TABELA 1** - Valores de evapotranspiração de referência estimada pelo método proposto por Penman (1956), Radiação Solar (FAO - 1977), e pelo método Tanques Classe A, todos expressos em mm.dia<sup>-1</sup>. UFLA - Lavras, 1994.

Pêntadas	$[(\Delta \cdot R_n) \cdot (\Delta + \gamma)^{-1}]$	$[(\gamma \cdot E_a) \cdot (\Delta + \gamma)^{-1}]$	ETO <sub>(Penman)</sub>	"C"	Rg (mm,dia <sup>-1</sup> )	"W"	ETO <sub>(R,Solar)</sub>	EV (mm,dia <sup>-1</sup> )	"Kp"	ETO <sub>(Classe A)</sub>
1	3,11	1,15	4,26	0,8106	8,01	0,7217	4,69	6,10	0,7659	4,67
2	2,64	1,26	3,90	0,8035	6,43	0,7298	3,77	4,96	0,7511	3,73
3	2,64	0,84	3,48	0,7750	6,51	0,7205	3,64	5,28	0,7762	4,09
4	2,73	1,57	4,30	0,8340	7,15	0,7216	4,30	6,30	0,7438	4,69
5	3,02	1,70	4,72	0,8745	9,80	0,7018	6,01	4,65	0,7450	3,46
6	2,57	1,71	4,28	0,8699	8,26	0,7040	5,06	4,16	0,7452	3,10
7	2,42	1,53	3,95	0,8387	7,13	0,7137	4,27	3,83	0,7482	2,87
8	2,37	1,64	4,01	0,8332	6,92	0,7193	4,15	3,81	0,7376	2,81
9	2,06	1,58	3,64	0,8327	5,82	0,7193	3,49	3,72	0,7644	2,84
10	2,09	2,12	4,21	0,8775	7,55	0,7110	4,71	4,10	0,7276	2,98
11	1,89	1,17	3,06	0,8414	6,43	0,7029	3,80	4,34	0,7672	3,33
12	1,77	1,34	3,11	0,8621	6,90	0,7029	4,22	3,61	0,7599	2,74
13	1,28	0,67	1,95	0,8023	3,51	0,6833	1,92	3,20	0,7675	2,46
14	1,45	1,10	2,55	0,8401	5,12	0,6899	3,55	3,40	0,7684	2,61
15	1,49	1,81	3,30	0,8552	5,86	0,7061	3,54	3,26	0,7353	2,40
16	1,32	1,03	2,35	0,8108	5,55	0,6858	3,09	3,99	0,7693	3,07
17	1,21	1,47	2,68	0,8429	5,51	0,6822	3,17	3,04	0,7476	2,27
18	1,06	1,53	2,59	0,8659	5,70	0,6694	3,30	3,25	0,7483	2,43
19	0,98	1,13	2,11	0,8342	5,30	0,6481	2,87	2,84	0,7618	2,16
20	1,04	1,97	3,01	0,8755	5,61	0,6718	3,30	3,39	0,7243	2,46
21	1,03	1,32	2,35	0,8276	4,06	0,6699	2,25	2,59	0,7477	1,94
22	0,68	1,79	2,47	0,9179	6,34	0,6203	3,61	3,25	0,7294	2,37
23	1,04	1,46	2,50	0,8548	5,69	0,6633	3,23	3,03	0,7487	2,27
24	0,98	1,92	2,90	0,8902	5,75	0,6462	3,31	5,53	0,7274	4,02
25	0,46	2,10	2,56	0,9123	3,56	0,6331	2,06	3,60	0,7204	2,59
26	1,04	1,39	2,43	0,9084	3,16	0,6722	1,93	3,83	0,7479	2,86
27	1,27	1,40	2,67	0,8608	5,33	0,6732	3,09	2,95	0,7537	2,22
28	1,39	1,64	3,03	0,9179	7,44	0,6917	4,72	3,99	0,7408	2,96
29	1,42	2,06	3,48	0,9427	7,36	0,6895	4,78	5,15	0,7252	3,73

## APÊNDICE - C

**TABELA 2 - Valores de evapotranspiração de referência estimada pelo método proposto por Blaney-Criddle (1970), Linacre (1977) e Thornthwaite (1948), todos expressos em mm.dia<sup>-1</sup>. UFLA - Lavras, 1994.**

Pêntadas	"a"	"b"	"T"	"p"	ETO <sub>(B &amp; Criddle)</sub>	"Tm"	"Td"	ETO <sub>(Linacre)</sub>	[N . (12) <sup>-1</sup> ]	ETO <sub>(Thornthwaite)</sub>
1	-1,6859	1,0113	21,55	0,28	3,43	27,01	17,95	3,86	0,9715	2,90
2	-1,5044	0,8881	22,32	0,28	3,07	27,78	19,42	3,81	0,9715	2,90
3	-1,3864	0,7777	21,46	0,28	2,53	26,92	18,89	3,58	0,9715	2,90
4	-1,6341	0,9948	21,56	0,28	3,39	27,02	17,86	3,88	0,9715	2,90
5	-2,0364	1,2729	19,80	0,26	3,67	25,26	14,25	4,05	0,9715	2,80
6	-1,8959	1,1918	19,90	0,26	3,46	25,36	14,76	4,07	0,9597	2,80
7	-1,7196	1,0256	20,82	0,26	3,00	26,38	16,89	3,81	0,9506	2,80
8	-1,7389	1,0830	21,34	0,26	3,31	26,80	17,80	3,80	0,9430	2,80
9	-1,5862	0,9623	21,42	0,26	2,91	26,88	17,75	3,85	0,9430	2,80
10	-1,9768	1,2856	20,66	0,26	3,92	26,12	15,71	4,05	0,9302	2,80
11	-1,7673	1,0713	20,08	0,25	2,88	25,48	15,10	3,93	0,9302	2,40
12	-1,9620	1,2424	20,50	0,25	3,49	25,96	14,88	4,19	0,9194	2,40
13	-1,2309	0,6529	18,24	0,25	1,47	23,70	16,12	2,95	0,9194	2,40
14	-1,8652	1,1438	18,74	0,25	2,92	24,20	13,99	3,67	0,9099	2,40
15	-1,8506	1,2043	20,18	0,25	3,39	25,64	15,92	3,79	0,9013	2,40
16	-1,7923	1,0793	18,40	0,25	2,69	23,86	14,82	3,33	0,8972	2,40
17	-1,8208	1,1499	18,18	0,25	2,92	23,64	14,07	3,43	0,8972	1,70
18	-1,8997	1,2205	17,04	0,25	2,97	22,50	11,88	3,50	0,8972	1,70
19	-1,8099	1,1212	15,36	0,25	2,45	20,82	11,20	3,01	0,8933	1,70
20	-1,9091	1,2876	17,26	0,25	3,26	22,72	12,72	3,38	0,8933	1,70
21	-1,4932	0,8749	17,08	0,25	2,00	22,54	13,59	3,11	0,8933	1,70
22	-2,0749	1,3604	12,90	0,25	2,71	18,36	6,14	3,25	0,8933	1,70
23	-1,8772	1,1691	16,64	0,25	2,74	22,10	12,06	3,30	0,8933	1,80
24	-1,9183	1,3029	14,68	0,25	2,93	20,14	9,93	3,05	0,8972	1,80
25	-1,6359	1,0822	14,40	0,25	2,36	19,86	8,34	3,31	0,8972	1,80
26	-1,3591	0,8942	17,36	0,25	2,24	22,82	9,75	4,13	0,9013	1,80
27	-1,7046	1,0481	17,52	0,25	2,54	22,98	12,36	3,57	0,9099	1,80
28	-2,1329	1,3895	18,98	0,25	3,72	24,44	11,04	4,50	0,9194	1,80
29	-2,0807	1,3858	18,64	0,26	3,94	24,10	10,01	4,60	0,9246	2,20

## APÊNDICE - C

**TABELA 3 - Valores de evapotranspiração de referência estimada pelo método proposto por Hamon (1900), Hargreaves (1900), e Makkink (1961), todos expressos em mm.dia<sup>-1</sup>. UFLA - Lavras, 1994.**

Pêntadas	$[N.(12^{-1})^{-2}]$	P (gramas)	ET <sub>O</sub> (Hamon)	t (°F)	Rg (mm.dia <sup>-1</sup> )	ET <sub>O</sub> (Hargreaves)	"W"	ET <sub>O</sub> (Makkink)
1	0,9438	18,63	2,5	70,79	8,01	4,3	0,7217	3,4
2	0,9438	19,61	2,6	72,18	6,43	3,5	0,7298	2,7
3	0,9438	18,52	2,4	70,63	6,51	3,4	0,7205	2,7
4	0,9438	18,65	2,5	70,81	7,15	3,8	0,7216	3,0
5	0,9438	16,55	2,2	67,64	9,80	5,0	0,7018	4,1
6	0,9210	16,66	2,1	67,82	8,26	4,2	0,7040	3,4
7	0,9036	17,74	2,2	69,48	7,13	3,7	0,7137	3,0
8	0,8892	18,37	2,3	70,41	6,92	3,7	0,7193	2,9
9	0,8892	18,47	2,3	70,56	5,82	3,1	0,7193	2,4
10	0,8253	17,55	2,0	69,18	7,55	3,9	0,7110	3,3
11	0,8653	16,80	2,0	68,04	6,43	3,3	0,7029	2,6
12	0,8453	17,36	2,1	68,90	6,90	3,6	0,7092	2,9
13	0,8453	14,83	1,8	64,83	3,51	1,7	0,6833	1,3
14	0,8279	15,37	1,8	65,73	6,12	3,0	0,6899	2,5
15	0,8123	16,98	1,9	68,32	5,86	3,0	0,7061	2,4
16	0,8050	15,00	1,7	68,12	5,55	2,7	0,6858	2,2
17	0,8050	14,77	1,7	64,72	5,51	2,7	0,6822	2,2
18	0,8050	13,61	1,5	62,67	5,70	2,7	0,6694	2,2
19	0,7980	12,04	1,3	59,65	5,30	2,4	0,6481	2,0
20	0,7980	13,83	1,5	63,07	5,61	2,7	0,6718	2,2
21	0,7980	13,65	1,5	62,74	4,06	1,9	0,6699	1,5
22	0,7980	10,03	1,1	55,22	6,34	2,6	0,6203	2,3
23	0,7980	13,22	1,5	62,95	5,69	2,6	0,6633	2,2
24	0,8050	11,45	1,3	58,42	5,75	2,5	0,6462	2,1
25	0,8050	11,21	1,3	57,92	3,56	1,5	0,6321	1,3
26	0,8123	13,93	1,6	63,25	3,16	1,5	0,6722	1,2
27	0,8279	14,09	1,6	63,54	5,33	2,5	0,6732	2,1
28	0,8453	15,63	1,8	66,16	7,44	3,7	0,6917	3,0
29	0,8549	15,26	1,8	65,55	7,36	3,6	0,6895	3,0

## APÊNDICE - C

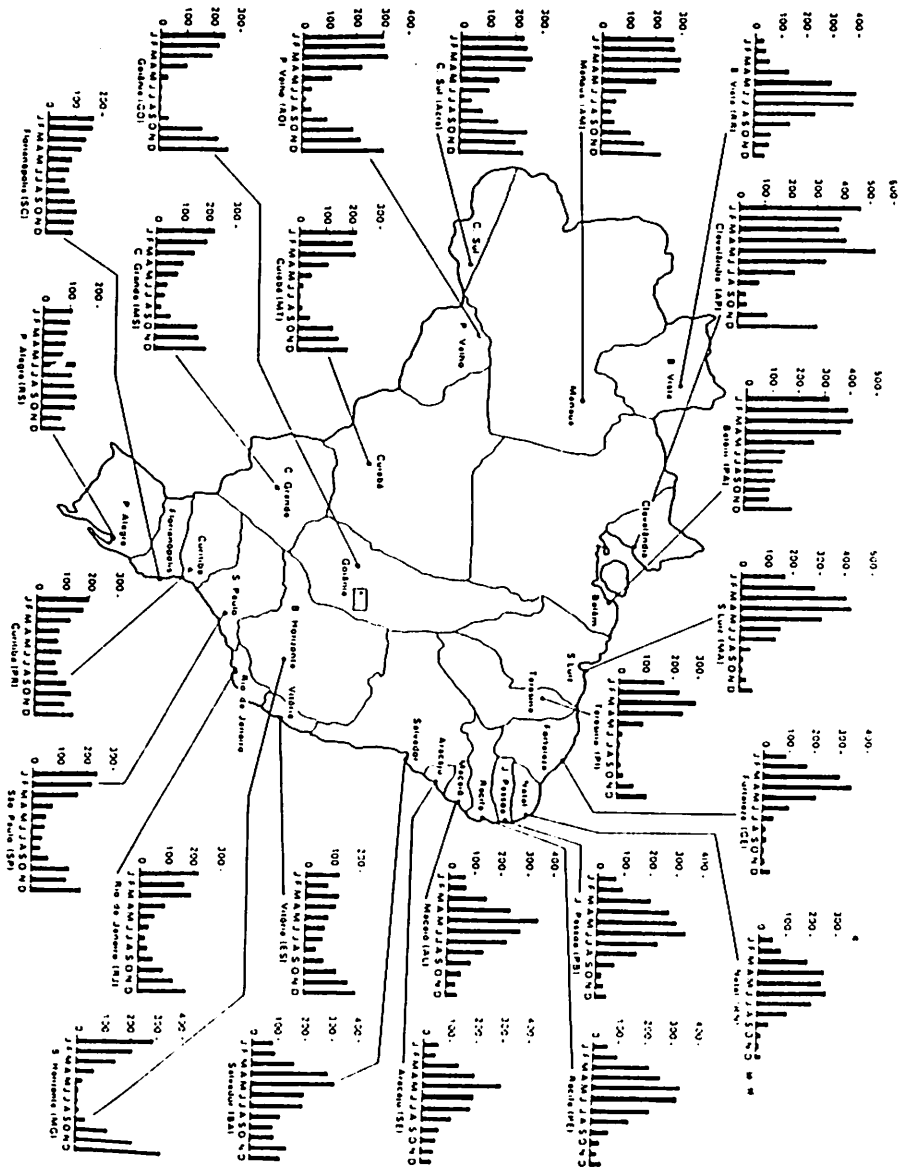
**TABELA 4 - Valores de evapotranspiração de referência estimada pelo método proposto por Papadakis (1961), Budyko (1948), e Penman modificado, todos expressos em mm.dia<sup>-1</sup>. UFLA - Lavras, 1994.**

Pêntadas	"es" máximo (mb)	"ea" médio (mbar)	T máxima (°C)	Eto <sub>(Papadakis)</sub>	T (°C)	Eto <sub>(Budyko)</sub>	$[(\gamma.Ea).(\Delta+\gamma)^{-1}]$	$[(\Delta.Rn).(\Delta+\gamma)^{-1}]$	ETO <sub>(Penman Mod.)</sub>
1	39,42	21,32	28,75	3,4	21,55	4,31	1,58	3,11	4,7
2	38,27	21,32	28,24	3,2	22,32	4,46	1,22	2,64	3,9
3	37,26	21,32	27,78	3,0	21,46	4,29	1,34	2,64	4,0
4	36,92	21,32	27,62	3,0	21,56	4,31	1,36	2,73	4,1
5	35,69	18,45	27,04	3,2	19,80	3,96	1,71	3,02	4,7
6	35,06	18,45	26,74	3,1	19,90	3,98	1,71	2,57	4,3
7	35,48	18,45	26,94	3,2	20,82	4,16	1,39	2,42	3,8
8	36,87	18,45	27,60	3,5	21,34	4,27	1,30	2,37	3,7
9	35,31	18,45	26,86	3,2	21,42	4,28	1,33	2,06	3,4
10	36,66	18,45	27,50	3,4	20,66	4,13	1,62	2,09	3,7
11	35,94	17,21	27,16	3,5	20,02	4,00	1,56	1,89	3,5
12	38,10	17,21	28,16	3,9	20,50	4,10	1,65	1,77	3,4
13	28,03	17,21	22,98	2,0	18,24	3,65	0,74	1,28	2,0
14	34,17	17,21	26,30	3,2	18,74	3,75	1,43	1,45	2,9
15	37,09	17,21	27,70	3,7	20,18	4,04	1,80	1,49	3,3
16	32,24	17,21	25,32	2,8	18,40	3,68	1,22	1,32	2,5
17	33,06	13,82	25,74	3,6	18,18	3,64	1,70	1,21	2,9
18	31,26	13,82	24,80	3,3	17,04	3,41	1,90	1,06	3,0
19	27,89	13,82	22,90	2,6	15,36	3,07	1,2	0,98	2,2
20	32,36	13,82	25,38	3,5	17,26	3,45	1,70	1,04	2,7
21	29,20	13,82	23,66	2,9	17,08	3,42	0,93	1,03	1,9
22	24,93	13,82	21,06	2,1	12,90	2,58	1,60	0,68	2,3
23	29,62	12,80	23,90	3,2	16,64	3,33	1,60	1,04	2,6
24	27,42	12,80	22,62	2,7	14,68	2,94	2,00	0,98	3,0
25	26,09	12,80	21,80	2,5	14,40	2,88	2,50	0,46	3,0
26	33,33	12,80	25,88	3,8	17,36	3,47	1,50	1,04	2,5
27	31,29	12,80	24,82	3,5	17,52	3,50	1,50	1,27	2,8
28	37,35	12,80	27,82	4,6	18,98	3,79	2,30	1,39	3,7
29	34,00	12,28	26,22	4,1	18,64	3,73	2,90	1,42	4,3

## APÊNDICE -D

**TABELA 1 - Parâmetros estatísticos dos valores da evapotranspiração de referência estimada comparados ao valor da evapotranspiração de referência determinado, para o período do ensaio. UFLA - Lavras, 1994.**

<b>Métodos de estimativa de ETo</b>	<b>Média</b>	<b>Coefficiente de Variação</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Int. confinaça (5%)</b>	<b>Coef. determinação</b>
Eto Medido	3,55	26,89	0,9556	0,1774	2,16	6,37	0,3637	
Eto Penman	3,17	23,65	0,7493	0,1391	2,00	4,69	0,2852	96,79
Eto R. Solar	3,66	26,41	0,9653	0,1792	1,89	6,00	0,3674	81,52
Eto Classe A	2,97	24,60	0,7305	0,1356	1,89	4,69	0,2780	88,34
Eto Blaney-Criddle	2,98	19,13	0,5692	0,1057	1,5	3,9	0,2166	87,72
Eto Linacre	3,69	11,58	0,4275	0,0793	3,00	4,59	0,1627	91,06
Eto Thornthwaite	2,10	24,49	0,5151	0,0956	1,5	2,79	0,1960	75,60
Eto Hamon	1,86	21,97	0,4084	0,0758	1,1	2,59	0,1554	70,01
Eto Hargreaves	3,08	29,86	0,9224	0,1712	1,5	5,8	0,3511	86,47
Eto Makkink	2,49	27,27	0,6780	0,1259	1,2	4,09	0,2581	84,86
Eto Penman mod.	3,26	23,23	0,7562	0,1404	1,89	4,69	0,2878	87,28
Eto Budyko	3,75	12,82	0,4807	0,0892	2,59	4,5	0,1830	71,21
Eto Papadakis	3,23	17,09	0,5523	0,1025	2,00	4,59	0,2502	67,09



**FIGURA 1 - Distribuição de precipitações pluviométricas. Média mensal para diferentes localidade do Brasil.**

\* os números indicam a altura da chuva em milímetros.

\*\* as letras representam os meses do ano.

Fonte: Brasil (ca. 1987).