

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COOR.DO MESTRADO EM METEOROLOGIA

**NECESSIDADES HÍDRICAS DA Videira NA REGIÃO DO
SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO**

JAQUELINE ÁVILA NETTO

CAMPINA GRANDE - PB
AGOSTO - 1997

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

1802 09.10.24

**NECESSIDADES HÍRICAS DA Videira na Região do
Submédio São Francisco**

Jaqueline Ávila Netto

Campina Grande - PB

Agosto - 1997

JAQUELINE ÁVILA NETTO

NECESSIDADES HÍDRICAS DA VIDEIRA NA REGIÃO DO
SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO

Dissertação apresentada ao Curso de MESTRADO
EM METEOROLOGIA da Universidade Federal
da Paraíba, em cumprimento às exigências para
obtenção do grau de mestre.

Área de concentração: Agrometeorologia

Orientador: Pedro Vieira de Azevedo
Universidade Federal da Paraíba

Co- Orientador: José Monteiro Soares
EMBRAPA/Semi - Árido

Campina Grande, PB

Agosto - 1997

A958n Avila Netto, Jaqueline
Necessidades hidricas da videira na regio do submedio
Sao Francisco / Jaqueline Avila Netto. - Campina Grande,
1997.
86 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Meteorologia) - Universidade
Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e Tecnologia.

1. Videira - 2. Irrigacao 3. Ciclo Vegetativo da Videira
4. Videira - 5. Agrometeorologia 6. Dissertacao I. Azevedo,
Pedro Vieira de II. Soares, Jose Monteiro III. Universidade
Federal da Paraiba - Campina Grande (PB)

CDU 634.8(043)


JAQUELINE ÁVILA NETTO


NECESSIDADES HÍDRICAS DA VIDEIRA NA REGIÃO DO
SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO


APROVADA EM 28/8/97

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. - PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO - Orientador
Universidade Federal da Paraíba


Dr. JOSÉ MONTEIRO SOARES - Co-Orientador
Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido - CPATSA
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA


Dr. SILVIO STEINMETZ
Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado - CPACT
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA


Prof. Dr. MÁRCIO DE MIRANDA VILAS BOAS RAMOS LEITÃO
Universidade Federal da Paraíba

*Meu amor e gratidão ao meu pai Álvaro
Corrêa Netto e ao meu avô Ataíde
Ávila, pela vida que me
proporcionaram, carinho e incentivo
constante.*

Ofereço

*Todo o meu amor, à minha mãe
Aldacy Ávila Netto, pelo apoio sem
limites, pelo sacrifício ao longo de
sua vida na minha formação, pôr seu
inestimável amor e compreensão nos
momentos mais difíceis.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus presente em todos os momentos de minha vida.

À Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campos II, por intermédio da Coordenação do Curso de Mestrado em Meteorologia, pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pelo apoio financeiro concedido, através da bolsa de estudo, modalidade PET.

À EMBRAPA/Semi-Árido, pelo apoio material e humano indispensável para a execução e êxito do Experimento de Campo, conduzido em sua base experimental.

Ao professor Pedro Vieira de Azevedo, pela orientação, compreensão, incentivo, ensinamentos fundamentais para o meu aperfeiçoamento e crescimento profissional.

Ao Co-orientador José Monteiro Soares, pelas contribuições, sugestões e incansável disponibilidade.

Aos pesquisadores do Centro Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-árido, José Moacir P. Lima Filho e Antônio Heriberto da Castro Teixeira, pela organização e montagem do experimento.

Aos funcionários, Genival, Dedé, Giovani, Manoel e Santos do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-árido, pelo auxílio nos trabalhos de campo.

À Josadark de Souza Soares, pelo companheirismo no campo e amizade.

A família Campinense, Luiz Antônio da Silva Júnior e João Paulo da Silva, em especial a Andréia pela amizade, momentos de alegria, companheirismo e incentivo através dos anos.

Aos Professores e amigos Bernardo da Silva Barbosa e José Elias da Cunha Metri, pelo incentivo, confiança e ensinamentos durante a realização deste trabalho.

Em particular ao professor Mário Miranda Leitão pelas valiosas sugestões e aos demais professores e funcionários do Departamento de Ciências Atmosféricas da (UFPB), que de uma maneira ou outra contribuíram para o êxito deste trabalho, em especial à Divanete Cruz Rocha e Eyres Diana Ventina da Silva, pelo eficiente trabalho desenvolvido frente a secretaria e laboratório do curso.

Aos colegas de curso, Andréia, Gildarte, Josadark, Ioneide, Nilza, Ana Barbara e Adriani pela união, alegria, compartilhados durante estes anos de convivência.

À Maria Amazile Barbosa pela amizade sincera, Adma Silva e à Edagley Almeida pelas colaborações prestadas.

À Giuseppe Angelo Benedette, familiares e amigos que apesar da distância muito me incentivaram.

RESUMO

A parte experimental desta pesquisa foi conduzida no Campo Experimental de Bebedouro (EMBRAPA/Semi-Árido), no município de Petrolina-PE (Lat.: 09°0'S, Log.: 40°22'W e Alt.: 365,5m), durante o período de maio a agosto de 1996. O presente trabalho objetivou a estimativa do requerimento hídrico ao longo do ciclo vegetativo da videira (*Vitis Vinifera* L.), variedade Itália. A evapotranspiração da cultura (ETc) foi determinada pelos modelos do balanço hídrico no solo e do balanço de energia, enquanto que a evapotranspiração de referência (ETo) foi estudada pelo método de Penman visando analisar o comportamento do coeficiente de cultivo ($Kc = ETc/ETo$) ao longo do ciclo da cultura. A videira com 5 anos de idade, foi conduzida num sistema de latada, a dois metros acima da superfície do solo, num espaçamento de 4m entre fileiras por 2m entre plantas, com 7 plantas por fileira e 3 fileiras por parcela, correspondendo a uma área por parcela de 168m² e 16 parcelas, perfazendo uma área total de 2.688m², localizada numa área total de 13.000 m². O sistema de irrigação utilizado foi do tipo gotejamento em linha, com emissores espaçados de 1m, vazão de 4 l/h e uma linha lateral por fileira de plantas. Os parâmetros micrometeorológicos foram monitorados diariamente sobre a vegetação e registrados em sistema de aquisição de dados, com leituras a cada 5 segundos e armazenamento da média a cada 10 minutos. As leituras dos tensiômetros foram feitas diariamente sempre antes das irrigações e a área foliar foi obtida semanalmente. Os resultados obtidos permitiram concluir que o método do balanço de água no solo foi o que apresentou valores mais consistentes da evapotranspiração real da cultura. Houve contribuição do lençol freático para a zona radicular nos subperíodos de chumbinho e desenvolvimento da baga. A proporção do saldo de radiação usada como fluxo de calor latente de evaporação, atingiu valores superiores a 80% no período de maior área foliar e ausência de advecção. Evidenciou-se uma fonte adicional de energia para o sistema através de advecção de calor sensível em algumas ocasiões desses subperíodos. Por exemplo, no dia 10/06/96 (DAP=47) observou-se que o fluxo de calor latente de evaporação foi 14,51% superior ao saldo de radiação e 25,41% maior do que (Sn+G). O consumo hídrico diário da cultura foi máximo no período de 01 a 07/07/96 (ETc

= 4,33 mm/dia) e totalizou 332,80mm no ciclo vegetativo. Os valores de Kc mostraram-se bastante consistentes com os sugeridos pela FAO. Determinou-se uma curva característica de Kc para o ciclo vegetativo da videira variedade Itália, a qual permite obter o Kc diário em função dos dias após a poda (DAP), através da função de ajuste: $Kc = - 8 \cdot 10^{-5} (DAP)^2 + 0,0117 (DAP) + 0,4886$, com $r^2 = 0,97$.

ABSTRACT

The field experiment of this study was conducted in the Bebedouro experimental basis of the (EMBRAPA/Semi-Árido) in Petrolina-PE (Lat.:09°0'S, Long.: 40°22'W e Alt.: 365,5m), during the growing period from may to august, 1996. This study had the objective of determining the water requirement of a five-years-old wine grape (*Vitis vinifera* L.) vinecrop, variety Italy, grown in a trellis system. The crop evapotranspiration (ETc), determined by the models of soil water balance and above canopy energy balance and the reference evapotranspiration(ETo), estimated by the method of Penman were used for analyzing the behaviour of the crop coefficient ($Kc = ETc/ETo$) throughout the crop growing cycle. The wine grape was grown in a 4m between rows by 2m between plants spacing. The field experiment had sixteen plots of three rows of 168m² each with a total experimental area of 2,688m² , within a total wine grape vinecrop area of 13.000m² It was used a trickleling irrigation system with transmitters in line spaced of 1m in the rows and a water outlet of 4 l/h. The micrometeorological parameters were monitored continuously at 1m above canopy with sensors wired in a Data Logger taking measures at each 5 seconds and storing the average of each 10 minutes. The tensiometry measures were made daily always before irrigations and the leaf area was obtained weekly. The results allowed to conclude that the soil water balance method produces values more consistent of the crop evapotranpiration that the energy balance method. It was observed a contribution of the soil water table for the roots zone in the phenological phases of fruit formation and development. The greatest portion of net radiation was used as latent heat flux while the lowest portion of Rn was used as soil sensible heat flux. It was also observed an additional source of energy to the system by the advection of sensible heat on june, 10th when the latent heat flux was 14.51% higher than Rn and 25.41% higher than (Rn+G). The crop daily water use was maximum in the week period from july 1st to 7th of 1996 (ETc = 4.33mm/day) and a total water consumption of 332.80mm for the whole growing observational period. The crop coefficient (Kc) values showed to be comparable to those suggested by FAO with a small difference in the phenological phases of fruits formation and development when there was a greater contribution of the soil water table

to the roots zone and a resulting underestimation of the K_c value to be applied in the irrigation calculus. It was obtained a characteristic curve of K_c for the wine grape vegetative cycle, which allows to obtain daily values of K_c as a function of days after pruning (DAP) by the adjustment equation : $K_c = - 8.10^{-5} (DAP)^2 + 0.0091(DAP) + 0.4886$, with $r^2 = 0.97$.

SUMÁRIO

SÍMBOLOS.....	xi
TABELAS.....	xiv
FIGURAS.....	xvi
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	01
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	06
2.1 - Balanço de água no solo.....	07
2.1.1 - Evaporação.....	07
2.1.2 - Evapotranspiração do Cultivo (ET).....	08
a - Evapotranspiração potencial ou de referência (ET _o).....	09
b - Evapotranspiração real (ET _r) ou evapotranspiração máxima (ET _m).....	10
2.1.3 - Drenagem.....	11
2.1.4 - Variação no armazenamento de água no solo.....	13
2.2 - Balanço de energia.....	14
2.3 - Estimativa da evapotranspiração.....	16
2.4 - Coeficiente de cultura.....	19
CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1 - Material.....	22
3.1.1 - Experimento de campo.....	22
3.1.2 - Clima.....	22
3.1.3 - Cultura estudada.....	24
3.1.4 - Instrumentos utilizados no experimento.....	25
a - Área experimental.....	25
b - Estação Meteorológica.....	25
3.1.5 - Instalação do experimento.....	26
a - Instrumentos ambientais.....	26
b - Instrumento de medição da umidade do solo.....	26
3.2 - Métodos.....	29
3.2.1 - Sistemática de observações.....	29
3.2.2 - Adubação Tratos Culturais.....	29
3.2.3 - Determinação da evapotranspiração da cultural (ET _c).....	30

3.2.3.1 - Método do balanço de água no solo.....	30
a - Drenagem profunda.....	31
b - Condutividade hidráulica.....	34
c - Variação no conteúdo de água.....	35
3.2.3.2 - Método do balanço de energia com base na razão de Bowen.....	36
3.2.4 - Estimativa da evapotranspiração de referência (ET _o).....	39
a - Método de Penman.....	39
3.2.5 - Determinação do coeficiente de cultivo.....	41
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1 - Propriedades físicas do solo.....	42
a - Textura.....	42
b - Densidade global e de partículas.....	42
4.2 - Índice de área foliar.....	44
4.3 - Condutividade Capilar.....	45
4.4 - Balanço de água no solo.....	47
4.5 - Balanço de energia.....	52
4.6 - Evapotranspiração da cultura (ET _c).....	61
4.7 - Evapotranspiração de referência (ET _o).....	64
4.8 - Coeficiente de Cultura (K _c).....	65
4.9 - Rendimento.....	69
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
APÊNDICE.....	83

LISTA DE SÍMBOLOS

Latinos

- DAP - Dias após a poda
- Dp - Drenagem profunda, mm
- e - Pressão parcial de vapor, mb
- es - Pressão de vapor de saturação, mb
- Ea - Poder evaporante da superfície,
- ETo - Evapotranspiração de referência, mm
- ETc - Evapotranspiração da cultura, mm
- ETt - Evapotranspiração do tanque, mm
- Ei - Eficiência do sistema de irrigação, %
- G - Fluxo de calor no solo, w/m^2
- H - Fluxo de calor sensível, w/m^2
- hHg - Altura do mercúrio a partir do nível da cuba, cmH_2O
- hc - Altura do nível de mercúrio em relação ao solo, cm
- hp - profundidade da cápsula no solo, cm
- I - Irrigação, mm
- IAF - Índice de área foliar
- Kc - Coeficiente de cultivo, adimensional
- Kp - Coeficiente do tanque, adimensional
- K(θ) - Condutividade hidráulica do solo,

- K(o) - Condutividade hidráulica saturada,
- Kh - Coeficiente de difusão turbulenta de calor sensível,
- Kw - Coeficiente de difusão turbulenta de vapor d'água
- L - Calor latente de vaporização, cal/g
- Lb - Lâmina bruta, mm
- LE - Fluxo de calor latente, w/m²
- m - Parâmetro de Van Genuchten
- n - Parâmetro de An Genuchten
- Pr - Precipitação pluviométrica, mm
- R - Escoamento superficial, mm
- Rn - Saldo de radiação, w/m²
- S - Fluxo de energia armazenado na biomassa, w/m²
- T - Temperatura do ar, °C
- \bar{U} - Velocidade média do vento, Km/dia
- UR - Umidade relativa %

GREGOS

- α - Parâmetro de Van Genuchten
- β - Razão de Bowen, adimensional
- γ - Parâmetro psicrométrica, mb/°C
- Δ - Inclinação da curva de saturação do vapor d'água

- ΔA - Variação no armazenamento de água no perfil do solo, mm
- Δe - Variação da pressão de vapor na camada de ar acima da vegetação
- ΔT - Variação da temperatura na camada de ar acima da vegetação
- θ - Umidade do solo, cm^3/cm^3
- θ_r - Umidade volumétrica residual à 15.000cm. c.a
- θ_s - Umidade volumétrica no momento de saturação do solo
- ψ - Potencial hidráulico, cmH_2O
- ψ_m - Potencial matricial, cmH_2O
- ψ_g - Potencial gravitacional, cmH_2O
- $\partial\psi$ - Variação do potencial hidráulico, adimensional
- ∂Z - Camada do solo estudada, cm
- $\partial\psi/\partial Z$ - Gradiente hidráulico.

LISTA DE TABELAS

	pág.
4.1 - Análise textural do solo.....	43
4.2 - Densidade global e densidade de partículas em função do conteúdo de água para os diferentes horizontes do solo.....	44
4.3 - Variação do conteúdo de água no solo.....	49
4.4 - Variação do potencial hidráulico(ϕ), gradiente hidráulico ($\Delta=\phi_{120}-\phi_{180}$), condutividade hidráulica (K) e drenagem profunda(Dp) para o primeiro e o último dia de cada semana.....	50
4.5 - Valores da drenagem profunda para cada período considerado.....	51
4.6 - Valores das componentes do balanço de água no solo para o período de observações (07/05 a 11/08/96) na videira variedade Itália em Petrolina - PE.....	51
4.7 - Componente do balanço de energia sobre a videira variedade Itália, calculados no período diurno para diferentes subperíodos fenológicos.....	54
4.8 - Evapotranspiração da cultura (ETc em mm/dia) da videira variedade Itália, obtida pelos balanço de energia e de água no solo, na região do submédio são Francisco.....	64
4.9 - Evapotranspiração de referência diária média (ETo em mm/dia) para períodos semanais, na região do Submédio São Francisco.....	65
4.10 - Valores diários médios, para períodos semanais da evapotranspiração da cultura (ETc), da evapotranspiração de	

referência (ET _o) e do coeficiente de cultura (K _c), da videira variedade Itália, na região do submédio São Francisco.....	69
4.11 - Dados da produção de frutos da videira variedade Itália em Kg/planta e em t/ha.....	70
A1 - Valores da curva característica da umidade do solo utilizando dados do campo.....	84
A2 - Valores da curva característica determinada por Van Genuchten para a profundidade de 100-120cm.....	84
A3 - Coeficiente de cultura recomendado por Doorenbos e Pruitt (1977).....	85
A.4 - Duração dos subperíodos fenológicos.....	85
A5 - Irrigação(I) aplicada por semana, evapotranspiração do tanque (ET _t), coeficiente de cultivo (K _c) e lâmina bruta (L _b), K _p =0,75 e E _i =0,90.....	86

LISTA DE FIGURAS

	pág.
3.1 - Localização do experimento.....	23
3.2 - Vista parcial mostrando o espaçamento da videira, sistema de latada e estágio de desenvolvimento.....	24
3.3 Esquema de um tensiômetro.....	27
3.4 - Vista de frente e lateral do sistema de tensiômetro usado.....	28
4.1 - Comportamento estacional das medições de área foliar da videira variedade Itália, na região do submédio São Francisco.....	45
4.2 - Curva de condutividade capilar em função da fração volumétrica de água no solo na camada de 100-120cm de profundidade.....	47
4.3 - Balanço de energia sobre a videira variedade Itália para os dias 28/05/96 (a) 25(DAP) e 08/06/96 (b) 45(DAP), na região do submédio São Francisco.....	55
4.4 - Balanço de energia sobre a videira variedade Itália para os dias 10/06/96 (c) 47(DAP) e 20/07/96(d) 87(DAP), na região do submédio São Francisco.....	56
4.5 - Razão de Bowen sobre a videira variedade Itália para os dias 28/05/96 (e) e 08/06/96 (f), na região do submédio São Francisco.....	59
4.6 - Razão de Bowen sobre a videira variedade Itália para os dias 10/06/96(f) e 20/06/96(g), na região do submédio São Francisco.....	60
4.7 - Coeficiente de cultura para a videira variedade Itália no submédio São Francisco.....	68

4.8 - Variação dos valores do K_c , obtidos neste pesquisa (K_{cd}) e utilizados no cálculo da irrigação (K_{ci}), ao longo do ciclo vegetativo da videira variedade Itália, na região do submédio São Francisco.....	70
4.9 - Variação dos valores semanais da umidade do solo, ao longo do ciclo vegetativo da videira variedade Itália, na região do submédio São Francisco.....	71

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada no Brasil vem apresentando um crescimento bastante significativo, sendo que as peculiaridades de cada região, principalmente as edafoclimáticas, tem tido uma importância fundamental na escolha das culturas e dos métodos de irrigação utilizados.

Na região Nordeste, que compreende 14 pólos de agricultura irrigada, o pólo de Petrolina - Juazeiro destaca-se como o mais desenvolvido, em decorrência da expansão da fruticultura, através de culturas como: mangueira, videira, bananeira, goiabeira entre outras. As primeiras áreas implantadas com estas culturas nesta região eram irrigadas por sulcos, evoluíram para o método de aspersão, mas atualmente vem sendo predominantemente explorada sob a irrigação localizada, em decorrência de sua elevada eficiência de irrigação e da economia de água e mão-de-obra.

Associado ao avanço das tecnologias de irrigação, tem sido desenvolvidos uma série de outros estudos no ramo da agrometeorologia, cuja finalidade é fornecer subsídios que permitam estimar as necessidades hídricas das culturas em função de parâmetros agrometeorológicos. Tal conhecimento

pode condicionar um manejo de água no sistema solo-planta-atmosfera de maneira racionalizada visando otimizar a produtividade (Brunini, 1987).

O conhecimento das relações solo-água-planta-atmosfera representam um fator de fundamental importância para o aumento da produtividade e da melhoria da qualidade dos frutos, produzidos nas áreas irrigadas. Além deste conhecimento, é necessário que a irrigação seja manejada de maneira adequada, uma vez que a água é um dos fatores que mais oneram os custos de produção. A Videira é uma espécie originária das regiões do Cáspio e do Cáucaso. O gênero (*Vitis*) faz parte da família (*Vitaceae* L.), que abrange mais de 90 espécies das quais as de origem americana (*Vitis Labrusca* L.) e as de origem Européia (*Vitis Vinifera* L.) se destacam pelo valor econômico (Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária, 1978). O cultivo da videira originou-se na Ásia Menor, considerada como região de origem da espécie, posteriormente foi difundida na Europa e nas Américas (Weaver, 1976).

Da produção total, 10% são consumidos como fruta fresca, outros 10% são utilizados para a produção de passas (produção anual em torno de 1,1 milhão de toneladas) e os 80% restantes para a produção de vinho (produção anual de quase 31 milhões de toneladas). Na Europa, os países que apresentam maiores produções com o cultivo da videira são: França, Itália, Portugal e Espanha (Winkler et al. 1974). Segundo Liuni (1994), dentre os países europeus, a maior área cultivada com uva de mesa localiza-se na Itália, com uma área de aproximadamente 80.000 ha, em sua maioria irrigada por gotejamento.

Na região do submédio São Francisco, a área explorada pela cultura da videira evoluiu de 2.902ha em 1992 para 4.847ha em 1996,

apresentando uma taxa média anual de crescimento, de 16,76% (Cerdan et al. 1997). Em 1992 foram produzidos 64 mil toneladas, passando para 113 mil toneladas em 1996, cujo preço médio no período 1980-1993 oscilou em torno de US\$ 1.227 por tonelada (Gonçalves et al. 1996), O que corresponde a um volume de recursos gerados de aproximadamente 138 milhões de dólares. No estado de Pernambuco, as microregiões de Petrolina, Itaparica, Sertão do Moxotó, Salgueiro e Araripina, em função das disponibilidades térmica e hídrica, apresentam as melhores condições de cultivo para a videira irrigada (Teixeira e Azevedo, 1996). O estado de Pernambuco apresenta temperaturas médias diárias superiores a 24°C, redução pouco significativa dos valores térmicos no inverno, bem como, um decréscimo brusco da precipitação pluvial do litoral para o interior do estado.

/ A videira é uma cultura perene, com um sistema radicular profundo, podendo ajustar-se até certo ponto, ao suprimento limitado de água (Doorenbos e Kassam, 1979) . Segundo Soares e Bassoi (1995), 90% das raízes da videira estão concentradas na camada de 0-30cm de profundidade, em vertissolo sob sistema de irrigação localizada. As necessidades hídricas totais do ciclo da cultura variam entre 400 e 1200 mm, dependendo do clima e da duração do ciclo fenológico (Doorenbos e Kassam, 1979). / Não havendo excesso de precipitação pluvial, quanto maior for a temperatura da região de cultivo, maior será a concentração de açúcar e menor a de ácido málico nos frutos (Winkler et al. 1974).

/ O consumo de água da videira é mínimo até a floração; da floração à fecundação consome cerca de 10% do total necessário; da fecundação ao

início da maturação, o consumo é de aproximadamente 43%, e do início da maturação até a maturação completa, o consumo é de 45%, podendo-se considerar que, em geral, o consumo hídrico de uma planta varia entre 2,5 a 4,0mm/dia durante o ciclo vegetativo (Mota et al. 1974). Se há deficiência hídrica durante o período inicial de crescimento e na maturação das bagas, ocorrerá redução no tamanho dos frutos e atraso no seu amadurecimento, afetando a sua coloração e favorecendo a sua queima pela radiação solar. Após o amadurecimento dos frutos, o consumo hídrico pelas plantas é mínimo (Vaadia e Kasimatis, 1961, citado por Winkler et al. 1974). Por outro lado, o excesso de chuvas com temperaturas elevadas torna a cultura muito susceptível a doenças fúngicas e pragas, sendo conveniente que não ocorram precipitações durante todo o período vegetativo. Os efeitos da precipitação e da temperatura no começo do ciclo favorecem o ataque de fungos aos brotos jovens; durante a floração, impedem a fecundação das flores; no final da maturação podem produzir ruptura e podridão dos frutos (Winkler et al. 1974). Para evitar os inconvenientes do excesso de precipitação pluvial, Romanella (1974) afirma que é preferível que a cultura vegete sob condições secas, e que as necessidades hídricas sejam satisfeitas através da irrigação, e recomenda o uso dos métodos de gotejamento e de microaspiração.

O balanço de água no solo é o método mais empregado na programação da irrigação, pois contabiliza a precipitação e a irrigação frente à evaporação, considerando a disponibilidade de água no solo para as culturas, e proporciona um adequado planejamento do manejo da irrigação. Já, os métodos micrometeorológicos o mais recomendado e utilizado é o balanço de energia,

pois baseia-se no princípio da conservação de energia, este método é muito confiável para a determinação da evapotranspiração.

) Para se estimar as necessidades hídricas de uma cultura sob condição específica, faz-se necessário determinar coeficientes. Os denominados "coeficientes de cultura", definidos pela razão entre a evapotranspiração potencial ou de referência (ETo) e a evapotranspiração da cultura (ETc), obtidas em função do potencial atmosférico e medida em condições de transpiração potencial, respectivamente.

O presente trabalho objetivou a estimativa do coeficiente de cultura ao longo do ciclo vegetativo da videira variedade Itália, visando determinar as necessidades hídricas da cultura.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A irrigação é uma técnica absolutamente necessária à implantação de uma agricultura racional em regiões de clima árido e semi-árido, como o Nordeste do Brasil, onde o total e a distribuição anual de precipitação pluviométrica nem sempre são inadequados à demanda hídrica das culturas. A irrigação aplicada sistematicamente permite, além da melhoria na qualidade das safras, obter um maior número de colheitas durante o ano.

| O consumo de água pelas culturas geralmente se refere a toda água perdida pelas plantas (transpiração) e pela superfície do solo (evaporação), mais a água retida nos tecidos vegetais. A porcentagem de água nos tecidos vegetais é altíssima mas, mesmo assim, geralmente é menor do que 1% do total evaporado durante seu ciclo fenológico. Qualquer cultura, durante o ciclo de desenvolvimento, consome um enorme volume de água e, por este motivo, deve ser mantida dentro dos limites ótimos para cada cultura (Klaus, 1985). Rosenberg et al.(1983) e Matzenauer et al.(1992), afirmam que cerca de 1% da água absorvida pela planta é consumida nas atividades metabólicas, valor esse insignificante, quando comparada com a água evapotranspirada pelas plantas. /

2.1 - Balanço de água no solo

A camada superficial do solo é de suma importância no ciclo hidrológico, pois é nela que ocorre a interação entre a água proveniente da atmosfera e a água subterrânea, através da evaporação, transpiração, precipitação pluvial, irrigação, escoamento superficial e drenagem profunda. Esta camada sustenta ainda, todas as atividades agrícolas exercidas pelo homem para as quais a água é o recurso natural mais importante (Pereira et al. 1974). O estudo do balanço de água no solo permite entender e quantificar a importância dos termos incluídos no mesmo, ou seja, consiste em calcular as quantidades de água que entram e que saem do perfil do solo, levando em conta a possível troca de umidade no próprio perfil. Sua importância, está relacionada com o fato, de se conhecer melhor os requerimentos de água dos cultivos, de acordo com as condições de clima e solo (Beltramin, 1995). Nos estudos de balanço de água, as variações de parâmetros hídricos requerem um grande número de observações de campo e complicados procedimentos computacionais. Portanto, vários modelos de simulações sobre o movimento e armazenamento da água em campos cultivados, considerando perfis de solo saturados e não saturados têm sido estudados no decorrer dos anos.

2.1.1 - Evaporação

A evaporação é de grande importância nos planejamentos agrícolas, principalmente para projetos de irrigação e determinação das necessidades hídricas (Alves e Lima 1995). A evaporação é influenciada por fatores micrometeorológicos (demanda da atmosfera), fatores da planta e do solo, sendo

que a superfície líquida apresenta uma evaporação ilimitada devido a disponibilidade de água, o que já, não ocorre com o solo, onde a água nem sempre está literalmente disponível para ser usada.

Existem dois estágios de evaporação do solo. O primeiro refere-se ao solo úmido, onde a taxa de evaporação é controlada pelas condições externas, ou seja, parte-se da hipótese de que o solo esteja em capacidade de campo. A duração deste estágio está de acordo com a taxa de evaporação, profundidade do solo e condutividade hidráulica do mesmo, que depende em parte, da estrutura e textura do solo (Berlato e Molion, 1981 e Matzenauer et al. 1992). A medida que o solo seca, o suprimento de água à superfície evaporante vai restringindo-se e, portanto, as variáveis do solo começam a influenciar na evaporação (Berlato e Molion, 1981).

2.1.2 - Evapotranspiração do cultivo (ET)

A evapotranspiração é definida como a evaporação de toda a superfície do solo de um certo local mais a transpiração estomática e cuticular das plantas num mesmo sítio. Chang (1968) afirma que, desprezando-se a quantidade de água usada nas atividades metabólicas, a evapotranspiração será a mesma que o consumo de água pelas plantas. A perda de água de uma cultura não só está intimamente ligada ao estágio de desenvolvimento e crescimento, como também às condições de sanidade, representadas pelas infestações de pragas e doenças (Ometto, 1981). Outra forma de variação do consumo hídrico da cultura é através da evapotranspiração diária, obtendo-se valores baixos em dias chuvosos, úmidos, nublados e de ventos calmos, e valores elevados em dias quentes, secos e com fortes ventos (Doorembos e Pruitt, 1976). A

evapotranspiração ainda pode sofrer influência da variabilidade de cultivo, fertilidade do solo e umidade disponível.

Diversos métodos e conceitos foram desenvolvidos e caracterizados para a determinação da evapotranspiração, entre esses, destacam-se:

a) Evapotranspiração potencial ou de referência (ET_o)

A evapotranspiração potencial foi originalmente definida por Penman (1948), como sendo a quantidade de água evaporada, na unidade de tempo, por um vegetal (cultura) de porte rasteiro, de altura uniforme, em crescimento ativo, que cobre completamente a superfície e sem limitações de água. Vale salientar que a cultura de porte baixo e sua altura, não são definidas neste conceito. Outros autores também definiram a evapotranspiração potencial.

Para Ometto (1981), a evapotranspiração potencial é a quantidade de água máxima possível que a planta pode e deve utilizar. Gangopadhyaya et al. 1968 e Berlato e Molion (1981), definem como sendo a quantidade de água possível de ser perdida, como vapor d'água, em dado clima, por uma superfície extensa completamente coberta pela vegetação e quando o solo se encontra em capacidade de campo. Ambas definições estão de acordo com a definição de Penman.

A taxa de evapotranspiração (ET), está relacionada com a demanda evaporativa do ar. Essa demanda, por sua vez, pode ser expressa como evapotranspiração de referência (ET_o) . Doorenbos e Pruitt (1976); Doorenbos e Kassam (1979) em trabalhos realizados pela FAO, estabeleceram um novo conceito para a evapotranspiração de referência (ET_o). Referem-se a ET_o como

sendo a perda de água para a atmosfera por evapotranspiração de uma área extensa e plana, coberta por grama verde uniforme, possuindo uma altura de 8 a 15cm, em crescimento ativo, sombreando completamente o terreno e sem escassez de água. Representa, portanto, segundo Sedyama (1995), uma extensão da definição original de Penman (1948). O mesmo alerta também, para o fato de não haver uma padronização com referência ao manejo de água da cultura, com base na evapotranspiração de referência (ET_o), uma vez que esta varia de um local para outro, e também para o mesmo local em épocas diferentes.

Inúmeras técnicas de medida e modelos de estimativa de evapotranspiração têm sido sugeridas, testadas e aplicadas. Os modelos variam desde fórmulas complexas, baseadas em processos físicos que controlam a evaporação e a transpiração, até correlações simples entre a evapotranspiração medida e a temperatura do ar, radiação solar, gradiente de temperatura entre a folhagem e o ar (Azevedo et al. 1993). Autores como Thornthwaite e Holzman (1942), Penman (1948); Berlato e Molion (1981); Rosenberg et al. (1983) e Bergamaschi et al. (1992) descreveram técnicas de medida e estimativa da evapotranspiração que serão mencionadas posteriormente.

b) Evapotranspiração real (ET_r) ou evapotranspiração máxima (ET_m)

Segundo Gongopadhaya et al. (1968); Berlato e Molion (1981) e Matzenauer et al.(1992), a evapotranspiração real (ET_r) é a perda de água para a atmosfera por evaporação e transpiração dos cultivos, nas condições reais (existentes). A evapotranspiração máxima (ET_m) é definida por Perrier (1985) como a perda de água para a atmosfera por evaporação e transpiração de uma

cultura em condições ótimas de densidades de plantas, fertilidade e disponibilidade de água no solo, com determinada bordadura e condições atmosféricas típicas (Matzenauer et al. 1992). Para um determinado clima, cultura e estágio de desenvolvimento, a evapotranspiração real da cultura (ET_r), de um período considerado, pode ser obtida através do produto entre o coeficiente de cultivo (K_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o) (Doorenbos e Kassam, 1979), o que comprova que a evapotranspiração máxima depende exclusivamente da cultura e das condições climáticas reinantes.

Há uma certa confusão entre os termos de evapotranspiração máxima e real, cada autor tem sua opinião, uns dizem que a evapotranspiração máxima representa a evapotranspiração da cultura, outros que é a condição de oásis e outros que vem a ser a potencial. Portanto deve-se assumir uma definição clara e segundo Pereira et. al. (1997) é conveniente evitar um termo que tem diferentes significados. Segundo os mesmos autores a evapotranspiração real pode assumir tanto o valor potencial como o de oásis, ou outro qualquer. A evapotranspiração potencial pode ser limitada tanto pela disponibilidade de radiação solar como pelo suprimento de água no solo.

2.1.3 - Drenagem

Devido as dificuldades na determinação do valor exato da drenagem profunda (D_p), na maioria dos balanços de água no solo, este termo tem sido desprezado sem justificativas plausíveis. As limitações do cálculo de (D_p) são enormes, principalmente para intervalos de tempo grandes, o que ocorre no balanço de água no solo, pois muitas vezes se trabalha com $\Delta t = 10, 15$ ou 30 dias, o que torna difícil saber o comportamento da umidade em relação a

profundidade. Para outros intervalos de tempo o cálculo da drenagem já é bem melhor (Klaus, 1985).

A drenagem profunda é importante devido ser resultante da perda de água que permaneceria disponível às plantas na camada superficial do solo, bem como da recarga dos reservatórios subterrâneos. Pereira et al. (1974), ao realizarem o balanço de água no solo em uma cultura de café, para o período de um ano, observaram que a drenagem profunda teve três fases distintas. No início do ciclo, de maio a setembro, quando as plantas se encontravam em repouso vegetativo, a drenagem profunda atingiu de 30-40% do total da água perdida. No período de setembro a janeiro, quando houve um aumento exponencial da área foliar das plantas, 90% da água perdida pelo perfil foi através da evapotranspiração. De fevereiro a maio, período correspondente ao início da queda de folhas, maturação e colheita, a perda d'água por drenagem profunda atingiu novamente 40-50% do total. Nesse caso, a drenagem profunda, no ciclo total de um ano, correspondeu a aproximadamente 30 a 35% do total de perdas de água. Portanto, para culturas anuais o erro que se comete quando despreza-se a drenagem profunda no cálculo do balanço de água no solo dependerá da fase fenológica em que se encontra as plantas, tipo de solo e do sistema de irrigação.

Para a determinação da drenagem profunda, faz-se necessário a determinação da condutividade hidráulica do perfil do solo ($K(\theta)$). A condutividade em solos saturados pode ser determinada tanto por medidas diretas no campo como em laboratórios, através de instrumentos denominados permeâmetros. Por outro lado, a condutividade hidráulica ($K(\theta)$), em solos não saturados, deve ser

determinada, preferencialmente no campo. Rose et al. (1965) e Hiller et al. (1972) desenvolveram métodos do tipo "perfil instantâneo", onde se utiliza instrumentos como tensiômetros ou sonda de neutros. Rose et al. (1965) e Klaus (1978), recomendam e descrevem a aplicação desse tipo de método. No entanto, devido a dificuldade de desenvolvimento dos trabalhos de campo, Burdine (1953), Green e Corey (1971) e Mualem (1976), propõem metodologias básicas que definem valores para $K(\theta)$ em função de parâmetros da curva característica de umidade do solo. Yates et al. (1992), usando o ajustamento dos pontos de curva característica, proposto por Van Genuchten (1980), desenvolveu o programa RETC para avaliar os valores de condutividade hidráulica em condições de solo não saturado.

2.1.4 - Variação no armazenamento de água no solo

A variação no armazenamento do conteúdo de água no solo (ΔA) é mais um elemento da equação do balanço de água, que corresponde a variação da água armazenada dentro da zona radicular. Para avaliar esta umidade é preciso integrar os perfis de umidade para cada intervalo de tempo. Pode-se também determinar esta umidade em termos volumétricos, ou seja, conteúdo volumétrico de água, mediante sonda de neutros ou tensiômetros.

Camargo et al. (1982), desenvolveram e testaram um tensiômetro simples (a base de mercúrio) de leitura direta em tubo transparente. Verificaram que devido a simplicidade, o baixo custo e a facilidade de operação dos tensiômetros, torna-se possível utilizá-los em grande número de pontos no terreno e em várias profundidades no solo, permitindo determinar melhor as

disponibilidades de umidade na zona das raízes e as necessidades de água no manejo de irrigação.

Existem dois tipos de manômetros utilizados nos tensiômetros: aneróides e os de coluna de mercúrio. Ambos possuem inconveniências. O manômetro de cápsula aneróide é pouco confiável, caro e dificilmente encontrado no mercado, o de mercúrio também é dispendioso, apresenta dificuldade de montagem, manutenção e operação (Klaus, 1978 e Camargo et al. 1982).

2.2 -Balanço de energia

Outro método muito utilizado na determinação da evapotranspiração é o método do balanço de energia. O balanço energético está de acordo com o princípio da termodinâmica de que a energia não se pode criar nem destruir, mas apenas transformá-la. Expressa-se o balanço energético através da energia que entra, menos a energia que sai, igual a energia armazenada. Uma parte da troca de energia é feita através da radiação: a superfície recebe radiação de ondas curtas, isto é, a radiação global, da qual parte é refletida (R_r) a nível do solo com um coeficiente de reflexão (albedo). O saldo de radiação (R_n) ou energia efetivamente disponível na interface solo-planta corresponde a soma dos balanços de ondas curtas ($R_g - R_r$) e de ondas longas ($R_{li} - R_{le}$), onde R_{li} é a radiação atmosférica incidente a superfície e R_{le} é a radiação emitida para a atmosfera pela superfície.

O método do balanço de energia baseado na razão de Bowen ($S_n = LE(1 + \beta) + G$), onde a razão de Bowen (β) é a razão entre os fluxos de calor sensível (H) e latente (LE) e G é o fluxo de calor no solo) pode ser utilizado para

determinar a ET de qualquer superfície homogênea, ao assumir que as divergências horizontais dos fluxos de calor sensível e latente entre os níveis de medida são nulos. Por outro lado, o método não requer conhecimentos adimensionais, devido a natureza e condições da superfície, tais como umidade, rugosidade ou qualquer outro parâmetro que exija sua medição ou estimação. A maior dificuldade deste método reside na necessidade de medir, com precisão, os gradientes verticais de temperatura e umidade. A disponibilidade de uma boa instrumentação permite a determinação da evapotranspiração com grande precisão, tanto para curtos como para longos intervalos de tempo. Fuchs e Tanner (1970) sugerem, para uma melhor determinação da evapotranspiração, integrar os valores a cada 30-60 minutos, com isso os resultados são mais precisos do que manipulando valores médios diários de R_n , G e β . Segundo Angus e Walts (1984), o método da razão de Bowen subestima ET em condições advectivas, principalmente porque nessas condições, os fluxos de calor sensível e latente são de sinais opostos e seus coeficientes de transferência turbulenta são diferentes.

Bergamaschi et al. (1988), avaliando os componentes do balanço de energia em cultura de feijoeiro, com diferentes disponibilidades hídricas no solo e de demanda evaporativa da atmosfera, observaram que a quantidade de energia disponível ao processo de evapotranspiração, foi maior quando o índice de área foliar era mais elevado e quando havia maior disponibilidade hídrica e maior demanda evaporativa da atmosfera. Verificaram também uma grande correlação entre a evapotranspiração calculada, através do método de Penman (ET_p), e a evaporação do Tanque Classe "A", com o fluxo de calor latente (LE) determinado pelo método do balanço de energia.

Brun et al. (1985) relacionaram o balanço de energia com a disponibilidade de água do solo, no estágio de crescimento do trigo durante a primavera e verificaram que, em condições favoráveis de umidade no solo, a evapotranspiração consumiu em torno de 92% do saldo de radiação. Já, em condições de solo seco, o consumo foi em torno de 60% e o calor sensível dissipou 30% de R_n . Azevedo e Souza (1991), trabalhando com feijão Macassar, observaram que o fluxo de calor no solo (G) foi reduzido sensivelmente, após as irrigações e com o desenvolvimento da cultura. A evaporação da umidade do solo resultou em um maior consumo de energia disponível para o processo de evapotranspiração. Os mesmos autores concluíram que 70% do R_n foi usado para evaporação, 11,8% para fluxo de calor sensível (H) e 11,2% para fluxo de calor no solo (G).

Cunha et.al. (1996), com base no balanço de energia em uma cultura de milho, verificaram que o saldo de radiação é usado em proporções médias para o ciclo de desenvolvimento, em 80% na forma de fluxo de calor latente, 14% na forma de fluxo de calor sensível e 6% na forma de fluxo de calor no solo. Além disso, observaram que o fluxo de calor latente supera o fluxo de calor sensível, aumentando a diferença entre ambos com o desenvolvimento da cultura.

2.3 -Estimativa da evapotranspiração

A evapotranspiração pode ser obtida através de medições diretas ou através de estimativas. As medidas diretas são obtidas através de lisímetros ou evapotranspirômetros ou determinadas por dois grupos de métodos, um baseado na equação do balanço de água no solo e o outro baseado no balanço

de energia sobre a cultura, através dos quais se determina a ETr para intervalos de tempo muito curtos, como minutos ou horas (Fontana, 1992). Rosenberg et al.(1983), dizem que os métodos micrometeorológicos apresentam vantagens sobre os demais, por permitirem estimativas da evapotranspiração para curtos períodos de tempo, como hora e fração, sendo ainda válidos para calibrar outros métodos.

A evapotranspiração potencial ou de referência (ET_o), a qual representa a demanda atmosférica ao processo de evaporação, pode ser estimada por várias equações. O grau de precisão de cada equação depende, fundamentalmente, do número de parâmetros atmosféricos considerados e da intensidade com que estes interferem no processo (Caramori e Arita, 1988).

Rosenberg et al. (1983) mencionam que a equação de Penman (1948) apresentou-se como o primeiro método para o cálculo da evapotranspiração de superfícies livres de água. Segundo Caramori e Arita (1988), Penman desenvolveu em 1956, uma outra equação para estimativa da evapotranspiração potencial (ET_p), contemplando como fatores básicos que provocavam a perda de água de uma superfície, o saldo de radiação, a velocidade do vento e o déficit de saturação de umidade do ar, ou seja, o método baseia-se no balanço de energia e no processo turbulento de transporte de vapor d'água (aerodinâmico).

Para áreas que possuem dados de temperatura, umidade, vento e insolação, ou radiação solar, é aconselhável o emprego da equação de Penman modificada, pois é provável que proporcione resultados mais satisfatórios para avaliar as necessidades de água da planta (Doorenbos e Pruitt, 1977). Para

Caramori e Arita (1988), a maior dificuldade na utilização deste método reside na necessidade de um grande número de parâmetros, os quais, normalmente, são coletados somente em estações meteorológicas, e também na complexidade dos cálculos para o usuário comum.

Monteith (1965), introduziu termos referentes às resistências estomática e aerodinâmica no modelo de Penman. O modelo de Penman-Monteith tem sido usado com sucesso na estimativa da evapotranspiração de culturas e de florestas (Rosenberg et al. 1983). Costa (1989), também diz que este método foi o que melhor estimou a evapotranspiração da soja nas condições semi-áridas do Nordeste. Azevedo et al. (1993), em um experimento com algodão herbáceo, irrigado, em Souza-Pb, determinaram a evapotranspiração potencial através de 4 modelos (Penman; Priestley e Taylor adaptado as condições advectivas; radiação e tanque classe A). Verificaram que não houve diferenças estatisticamente significativas, ao nível de significância de 0,05, entre os valores de evapotranspiração de referência estimados pelos diferentes modelos, sendo que o modelo de Penman foi o que apresentou as menores diferenças em relação aos valores da FAO. Já Assis (1995), aplicando o modelo de Penman-Monteith em uma área com grama e outra com sorgo, verificou que existe uma boa correlação entre os valores medidos e estimados, com coeficientes de correlação superiores a 0,8. Para o sorgo, foi encontrado coeficientes de 0,89 e para a grama 0,85, o que torna este modelo muito recomendado.

Chaves et al. (1997) estimaram a evapotranspiração potencial em função de modelagem matemática. Os resultados alcançados foram comparados àqueles calculados pelo tanque classe "A" e pelo método de Penman e

chegaram a conclusão de que a melhor aproximação de valores foi verificada para a equação de Penman em relação ao modelo proposto.

2.4 -Coeficiente de cultura

Para a determinação da demanda hídrica de culturas, diversos trabalhos têm sido realizados, comparando valores da evapotranspiração real da cultura (E_{Tr}) com a evapotranspiração potencial ou de referência (E_{To}), sob diferentes condições de clima e solo. Dessa forma, são determinados , empiricamente, coeficientes de cultura ($K_c = E_{Tr}/E_{To}$) que variam com a altura, estágio de desenvolvimento da cultura, velocidade do vento e umidade do ar (Doorenbos e Pruitt ,1977 e Doorenbos e Kassam, 1979). /

O clima é um dos principais fatores que exercem influência no K_c , uma vez que a temperatura do ar, a radiação solar e a frequência de chuva afetam diretamente a transpiração da planta e a evaporação do solo, enquanto a temperatura influencia a taxa de desenvolvimento da cultura. Durante a fase de crescimento inicial, quando o dossel vegetativo não cobre completamente o solo e a quantidade de radiação interceptada é baixa, o K_c é particularmente sensível aos fatores do solo como condutividade hidráulica e conteúdo de água próximo a superfície (Ritchie e Jonhson, 1990). Annandale e Stockle (1994) analisaram a influência do clima (radiação solar, velocidade do vento, temperatura do ar e pressão de vapor) no coeficiente de cultura, verificaram que os valores de K_c , em condições de cobertura completa do solo, tendem a variar com mudanças nos elementos do clima, devido as diferenças nas propriedades aerodinâmicas da superfície e resistência do dossel da cultura de referência e da cultura a ser irrigada. Jagtap e Jones (1989) apresentam fatores para corrigir os coeficientes

em cultura da soja, quando utilizados em situações diferentes daquela para qual foram desenvolvidos , levando em conta a variação dos fatores climáticos.

Costa et al. (1989), estimaram através de vários métodos o coeficiente de cultivo nas diversas fases do ciclo vegetativo da cultura da soja e concluíram que o K_c apresentou valores crescentes ao longo da fase de desenvolvimento vegetativo, atingindo um máximo na época de maior desenvolvimento, decrescendo durante a fase de maturação. Observaram também que, com exceção do método do tanque classe "A", os demais métodos subestimaram os valores de K_c sugeridos pela FAO.

Pereira et al. (1994) determinaram, através da utilização de três lisímetros de lençol freático variável, o consumo de água e o coeficiente de cultura da batata durante a estação de inverno. Evidenciaram que os modelos de Penman original (K_{cp}) e Penman-Monteith (K_{cpm}) apresentam comportamento semelhante para as condições do trabalho e que os valores de K_c calculados através do modelo do tanque classe A (K_{ca}) estiveram mais próximos daqueles propostos pela FAO (K_c FAO). Os valores obtidos pelo modelo de Thornthwaite (K_{cth}) foram os que mais divergiram daqueles preconizados por Doorenbos e Kassam (1979). Pereira et al. (1994) e Cunha (1996) constataram que o K_c sofre variação ao longo do ciclo da cultura, assumindo baixos valores no subperíodo da semeadura-emergência, valores máximos durante o subperíodo de máxima intensidade fotossintética das plantas, declinando com a proximidade do subperíodo de maturação.

Klar e Valadão (1996) determinaram coeficiente de cultura para feijoeiro em dez estágios de desenvolvimento, através da razão entre a

evapotranspiração máxima medida em lisímetros e a estimativa da evapotranspiração de referência, por quatro diferentes modelos e concluíram que os valores médios do K_c correlacionaram-se de forma significativa com os parâmetros de crescimento da cultura medidos: índice de área foliar, altura do dossel vegetativo e taxa de crescimento da cultura. Os valores de K_c aumentam de acordo com o índice de área foliar e a cobertura do solo com o desenvolvimento da cultura, alcançando valores máximos (1-1,23 para a maioria dos cultivos), quando a cobertura do solo atingiu 60-80%. A medida que o cultivo avançar em seu ciclo fenológico os valores de K_c decrescem até alcançar valores de 0,25-0,30.)

Guandique et al. (1997), determinaram o coeficiente de cultura através da razão entre o balanço de água no solo e a evapotranspiração potencial calculada pelos métodos de Penman, Penman Modificado, Thornthwaite e Tanque classe "A" para os diferentes estágios de desenvolvimento da cultura e concluíram que os métodos de Penman Modificado e Tanque Classe "A" apresentaram bons resultados quando comparados ao método da FAO, sendo que os métodos de Penman e Thornthwaite não apresentaram resultados satisfatórios.

O trabalho desenvolvido por Doorenbos e Pruitt (1977) traz extensa relação de coeficientes de cultura, porém não especifica o modelo para o qual estão baseados os valores de K_c propostos e nem as condições em que foram determinados.

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - MATERIAL

3.1.1 - Experimento de campo

O experimento foi conduzido no Campo Experimental de Bebedouro, pertencente a (EMBRAPA/Semi-Árido), no município de Petrolina-PE, latitude: 09° 0'S, longitude: 40° 22'W e altitude: 365.5m, na região semi-árida da Bacia do submédio São Francisco, numa área de 2.668m².

3.1.2 - Clima

O clima, segundo Hargreaves (1974) e Reddy e Amorim Neto (1993) classifica-se como muito árido, com estação chuvosa limitada aos meses de janeiro a abril, de forma que as precipitações são escassas com distribuição irregular e sua média anual em torno de 400mm. A temperatura média anual oscila entre 23 e 28°C, caracterizando-se os meses de junho e julho como os mais frios, e os meses de outubro e novembro como os mais quentes. A arcante do clima local é a evaporação acentuada, resultante de elevados valores de

radiação solar e da velocidade do vento média horária superiores a 2,3m/s (197km/dia). A evaporação anual oscila em torno de 2000 mm, e a umidade relativa do ar em torno de 67,8%. Durante o período experimental, entre maio e agosto de 1996, a temperatura média foi 24,7°C (período mais frio), a umidade relativa média foi 75,6% e a evaporação diária média do tanque classe "A" foi de 5,24mm.

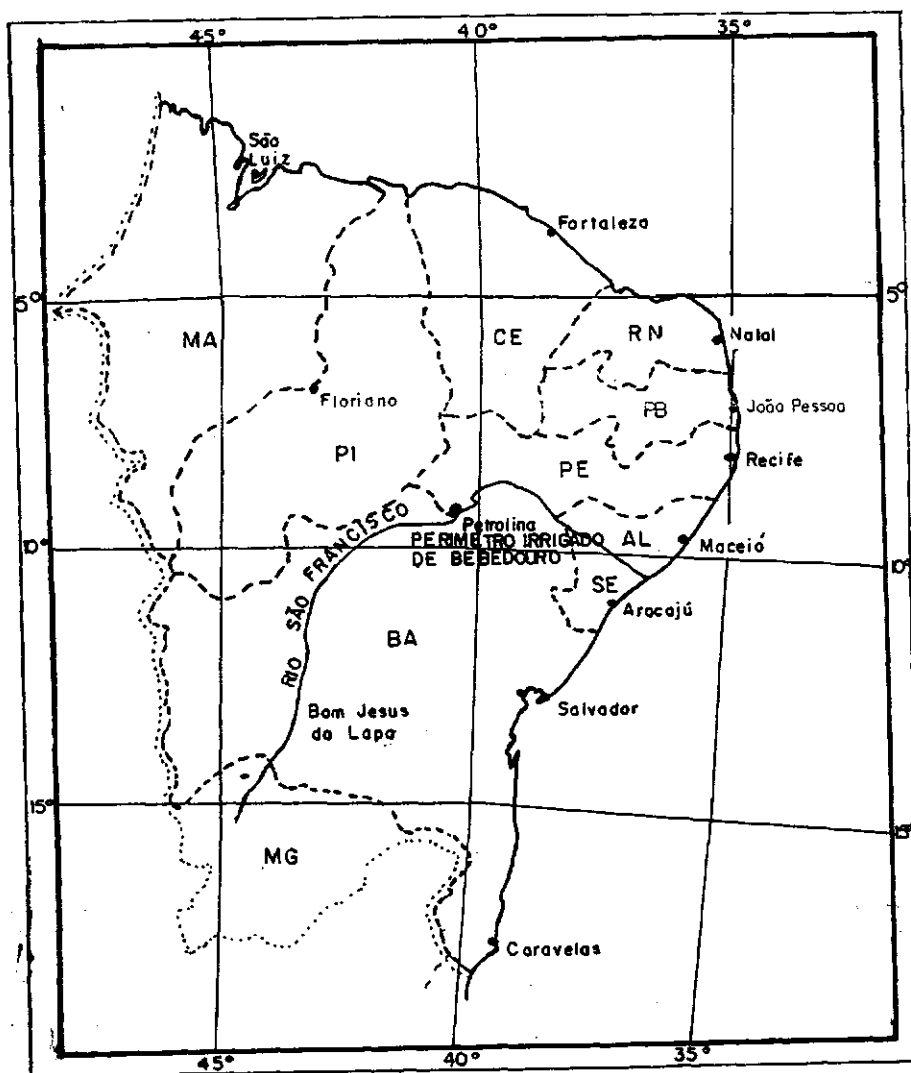


Figura 3.1 - Localização do experimento de campo.

3.1.3 - Cultura estudada

A cultura em estudo foi a videira (*Vitis Vinifera* L.), variedade Itália, com cinco anos de idade, espaçamento de 4m x 2m, conduzida no sistema de latada a 2m de altura, com 7 plantas por fileira e 3 fileiras por parcela, correspondendo a uma área total de 168m² por parcela, num total de 16 parcelas, perfazendo uma área experimental de 2.688m². O sistema de irrigação utilizado foi do tipo gotejamento em linha, com emissores espaçados de 1m, vazão de 4l/h e uma linha lateral por fileira de planta, com frequência de irrigação diária. O experimento foi conduzido no período não chuvoso (maio a agosto de 1996).



Figura 3.2 - Vista do parreiral mostrando o espaçamento da videira, sistema de latada e estágio de desenvolvimento.

3.1.4 - Instrumentos utilizados no experimento

a) Área experimental

Na área experimental foram instalados os seguintes instrumentos:

- Placas de fluxo de calor no solo, instaladas na profundidade de 2cm, sendo uma entre fileiras e outra ao longo da fileira;
- Dois saldo radiômetros (Micromet Instruments) instalados sobre a latada, sendo um posicionado sobre a fileira de plantas e outro entre duas fileiras consecutivas;
- Três baterias de tensiômetros, instaladas na fileira e posicionados nas profundidades de 20, 30,40, 60, 80, 100, 120cm;
- Três piranômetros (ELETEC), sendo dois posicionados sobre a fileira e voltados para abaixo, e um posicionado entre fileiras;
- Três sistemas de aquisição de dados (Data Loggers) da LI-COR e da ELE
- Sensores de umidade relativa e temperatura do ar posicionados a 50 e 150cm acima da latada.

b) Estação meteorológica

Na estação meteorológica, situada a aproximadamente 300m da área experimental, foram feitas as seguintes observações:

- Velocidade do vento obtida pelo anemômetro a 2m de altura;

- Precipitação pluviométrica com pluviômetro e pluviógrafo tipo FUESS - com área de captação de 200 e 100cm² respectivamente;

3.1.5 - Instalação do experimento

a) Instrumentos ambientais

Os instrumentos micrometeorológicos foram instalados sobre a latada da videira numa torre metálica confeccionada nas oficinas da EMBRAPA/Semi-Árido.

b) Instrumento de medição da umidade do solo

A utilização do experimento proporcionou a utilização de três baterias de tensiômetros, que foram instalados nas profundidades de 20,40,60,80,100 e 120cm. Os tensiômetros foram constituídos de uma cápsula de cerâmica porosa, permeável à água (destilada) e impermeável ao ar, acoplada a um tubo PVC rígido com ½ de diâmetro e a um microtubo de plástico conectado a uma cuba, contendo mercúrio metálico. A leitura da coluna de mercúrio obtida corresponde a tensão com que a água esteve contida no solo (Figura 3.3 e Figura 3.4).

Quando a cápsula porosa do tensiômetro é posta em contato com o solo não saturado, este súcciona água do interior, provocando queda de pressão ou tensão dentro do sistema. Esta tensão pode ser medida pelo manômetro para obter o potencial matricial da água no solo e indicar o grau de umidade, (Camargo et al. 1882).

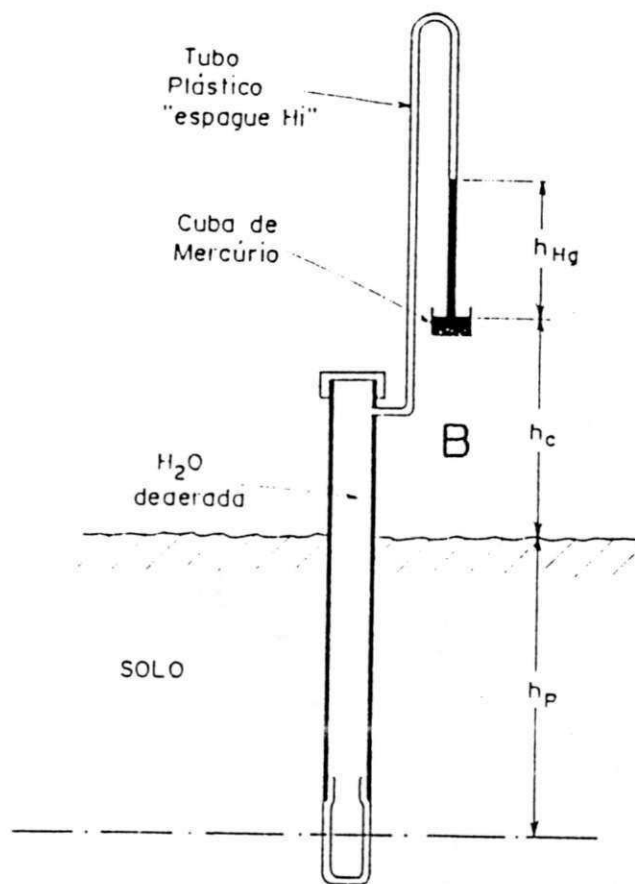


Figura 3.3 - Esquema de um tensiômetro

h_{Hg} - altura do mercúrio (cm), a partir do nível da cuba (medida com régua);

h_c - altura do nível zero de mercúrio em relação ao solo (cm) e

h_p - profundidade da câpsula (cm) no solo.

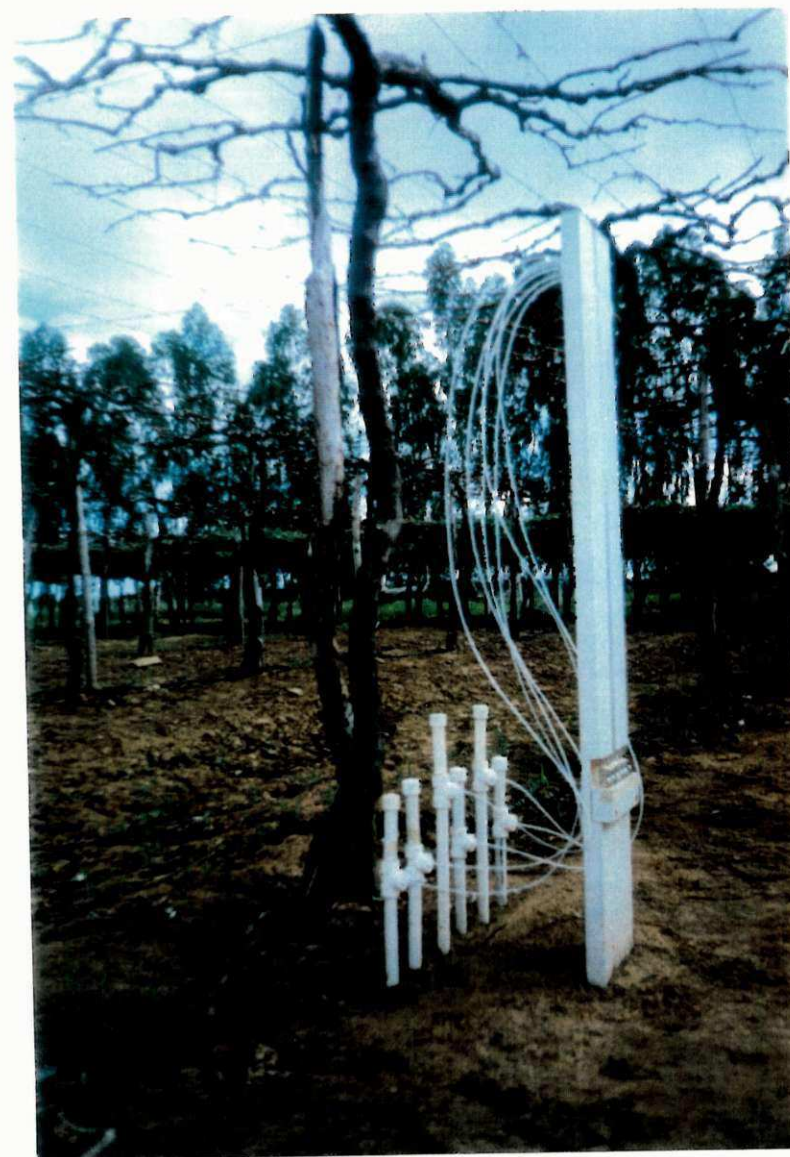
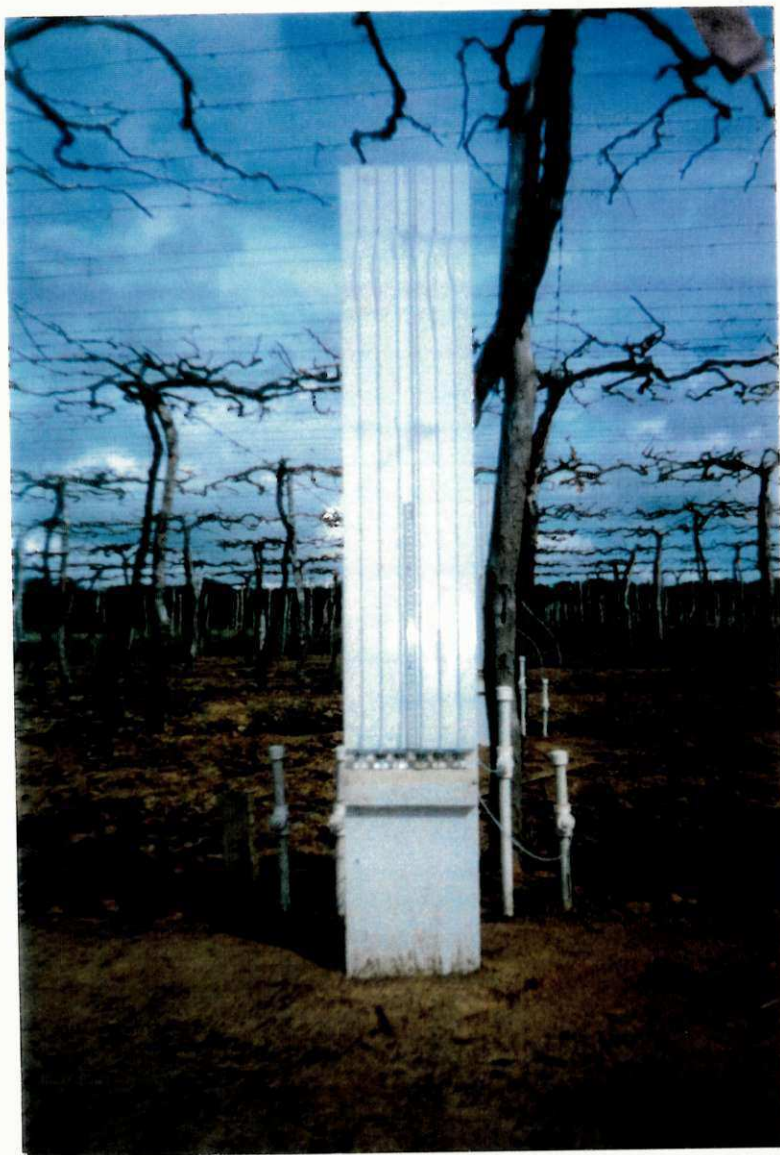


Figura 3.4 - Vista de frente e lateral do sistema de tensiômetro usado.

3.2 - MÉTODOS

3.2.1 - Sistemática de observações

Os dados de área foliar foram obtidos semanalmente, empregando-se um analisador do dossel foliar, modelo LI-2000, da LI-COR.

Para determinar o teor de umidade e a densidade aparente do solo, foram coletadas amostras em camadas de 20cm até a de 120cm. A secagem do solo foi feita em estufa a 105°C. Também, diariamente, foram medidas as seguintes variáveis: saldo de radiação, fluxo de calor no solo, temperatura e umidade do ar sobre a cultura. Todos estes dados foram registrados em sistemas de aquisição de dados, programados para fazer aquisições dos dados a cada cinco segundos e armazenar a média a cada dez minutos.

3.2.2 - Adubação e Tratos culturais

A adubação de manutenção constou da aplicação de dez litros de esterco de curral e mais 300g de superfosfato triplo por planta que foi aplicado num sulco paralelo a fileira de plantas. As adubações nitrogenadas e potássica foram feitas via fertirrigação, nas doses de 100g de N e de K_2O por planta.

No decorrer do experimento a cultura foi mantida livre de ervas daninhas, mediante a prática de capinas periódicas, sempre que necessário. O controle de doenças e pragas foi feito de modo preventivo.

A irrigação foi feita por gotejamento numa frequência diária. A lâmina ou o volume de água aplicado por planta e por irrigação foi calculado com base na seguinte equação:

$$L_b = \bar{E}_t \times k_p \times K_c \times \left(\frac{1}{E_i} \right) \quad (3.1)$$

L_b é a Lâmina bruta, em mm/dia, \bar{E}_t é a lâmina de água média diária, obtida com base na evaporação do Tanque Classe "A" ocorrida na semana anterior; K_p é o coeficiente do tanque ($K_p = 0,75$), K_c é o coeficiente de cultura e E_i é a eficiência de irrigação do sistema ($E_i=90\%$).

Desse modo, a lâmina de irrigação diária ou o volume diário da água é constante para cada semana. A instalação de três baterias de tensiômetros, contendo cada uma seis tensiômetros, correspondentes as profundidades de 20, 40, 60, 80, 100 e 120 cm, proporcionou leituras diárias do nível de umidade no solo antes da irrigação. A limpeza dos tensiômetros foi feita duas vezes por semana, segunda e quinta- feira.

3.2.3 - Determinação da Evapotranspiração da cultura (ETc)

3.2.3.1 - Método do balanço de água no solo

O método do balanço de água no solo, mostra-se relativamente preciso nos estudos do consumo de água por comunidades vegetais, servindo para avaliar, em determinado período de tempo, os vários processos de fluxo de água no solo (Hillel, 1971; Millar, 1978 e Brunini,1987). Para determinar a evapotranspiração real (ETr) utilizou-se o método do balanço hídrico que baseia-se no princípio da conservação de massa, e pode ser apresentado como (Fontana et al. 1992):

$$ET_c = P_r + I \pm D_p \pm \Delta A - R \quad (3.2)$$

onde: ET_c é a evapotranspiração da cultura (mm); Pr é a precipitação pluviométrica (mm); I é a irrigação (mm); ΔA é a variação no armazenamento de água no perfil do solo (mm); R é o escoamento superficial e D_p é a drenagem profunda (mm).

No presente estudo, a precipitação pluviométrica foi medida através de pluviômetro, o escoamento superficial (R) foi considerado nulo, pois, no período do experimento, não houve chuvas com precipitações superiores à velocidade de infiltração básica do solo, e o sistema de irrigação utilizado (gotejamento) não ocasiona escoamento superficial no campo. A variação, no armazenamento de água no perfil do solo (ΔA) foi determinada com base nas leituras dos tensiômetros.

a) Drenagem profunda

Diversos autores, entre eles Klaus (1978), têm determinado a drenagem profunda através da equação de Darcy (1856), que quantifica o movimento de água no solo, de uma forma simplificada, expressa por:

$$D_p = - \left[\bar{k}(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial Z} \right] \quad (3.3)$$

onde D_p é a drenagem profunda (fluxo ascendente ou descendente de água no perfil do solo); $k(\theta)$ a condutividade hidráulica do solo; $\partial \psi$ é a variação de carga hidráulica; ∂Z é a camada do solo estudada e $\frac{\partial \psi}{\partial Z}$ é o gradiente hidráulico.

O fluxo de água D_p representa a quantidade de água que passa pela unidade de área de solo e por unidade de tempo (geralmente em cm/h). O

gradiente hidráulico $\partial\psi/\partial Z$ representa a variação de energia da água do solo com relação a distância (Z) (adimensional). Como $\partial\psi/\partial Z$ é o quociente entre uma energia e uma distância, sua dimensão é de uma força. Logo, esse gradiente é responsável pelo movimento de água no solo. $K(\theta)$ é um coeficiente de proporcionalidade entre o fluxo e o gradiente. Também considera-se que $k(\theta)$ é a propriedade do solo que descreve sua capacidade em transmitir água. Portanto, $k(\theta)$ é função da umidade do solo e o seu valor máximo é constante, alcançado quando o solo está saturado (Klaus, 1978).

Algumas considerações sobre o potencial total de água no solo:

Sendo ψ constante, $\frac{\partial\psi}{\partial Z}=0$ e pela equação (3.3), $D = 0$, ou seja, quando o gradiente de energia de sucção de água no solo é nulo, não há força e conseqüentemente, não há movimento, estando portanto, a água em equilíbrio no solo. Entretanto, se ψ varia ao longo de uma direção (Z), existe $\frac{\partial\psi}{\partial Z}$ e portanto existe movimento de água no solo (fluxo).

Pela equação de Darcy (3.3), o gradiente $\frac{\partial\psi}{\partial Z}$ pode ser aproximado por uma diferença finita $\frac{\Delta\psi}{\Delta Z}$ entre os níveis inicial (i) e final (j) da camada do solo considerada, isto é, $\frac{\psi_i - \psi_j}{Z_i - Z_j}$. Então a equação (3.3) fica:

$$D_p = -k(\theta) \left[\frac{\psi_i - \psi_j}{L} \right] \quad (3.4)$$

onde $L = z_i - z_j$; ψ_i e ψ_j são os potenciais hidráulicos nos níveis z_i e z_j , respectivamente. O gradiente de potencial hidráulico em que ocorre o fluxo foi obtido utilizando-se o potencial hidráulico dos tensiômetros a 80 e 120cm (Libardi,1995). Por outro lado, o potencial hidráulico foi calculado pela soma do potencial gravitacional com o potencial matricial, ou seja:

$$\psi = \psi_m + \psi_g \quad (3.5)$$

onde ψ é o potencial hidráulico (cm H₂O); ψ_m é o potencial matricial (cm H₂O) e ψ_g é o potencial gravitacional (cm H₂O).

O potencial gravitacional, segue um plano de referência arbitrário. Considerou-se este plano passando na superfície do solo. Portanto, o potencial gravitacional neste ponto é zero, o que torna a equação (3.5) igual a:

$$\psi = \psi_m \quad (3.6)$$

já, no caso do tensiômetro instalado a 80cm, o potencial gravitacional é 80cm.

O potencial matricial foi determinado através da equação proposta por Klaus (1993), na forma:

$$\psi_m = -12,6h_{Hg} + h_c + h_p \quad (3.7)$$

sendo h_{Hg} a altura da coluna de mercúrio (cm), a partir do nível da cuba(leitura); h_c é a altura da cuba de mercúrio em relação ao solo (cm); h_p é a profundidade da capsula (cm). A resultado ψ_m é dado em cmH₂O.

b) Condutividade hidráulica

Para aplicar a equação de Darcy (3.3), é necessário determinar a condutividade hidráulica do solo (k), que é uma função da umidade e por essa razão, é apresentada na forma $k(\theta)$, onde (θ) é a umidade do solo em $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ de H_2O . Quanto mais úmido estiver o solo, maior será $k(\theta)$. Em se tratando de um solo saturado, a condutividade hidráulica passa a ser denominada de condutividade saturada do solo ou permeabilidade do solo (k_0). A condutividade saturada (k_0) foi determinada através de um permeâmetro. Em vista disto, coletou-se amostras de solo em 03(três) cilindros na profundidade de 100cm. Utilizou-se os métodos teórico e matemático desenvolvidos para o cálculo de (k_0). (Burdine, 1953; Green e Corey, 1971; Mualen, 1976). Yates et al.(1992) desenvolveram o programa RETC, o qual usa a equação da curva de retenção da água no solo de Van Genuchten (1980) e os modelos de Mualen (1976), e Burdine (1953) para avaliar a condutividade hidráulica em condições de solo não saturado.

As curvas de retenção de água no solo foram elaboradas e ajustadas a equação de Genuchten (1980), conforme Libardi et al.(1994). Estas serviram de base para converter os dados de umidade do solo em potencial matricial e vice-versa usando a equação:

$$\theta(\psi) = \theta_r + \left\{ \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left[1 + (\alpha \times \psi)^n\right]^m} \right\} \quad (3.8)$$

onde $\theta(\psi)$ é a umidade volumétrica (cm^3/cm^3); θ_s é a umidade volumétrica no momento de saturação do solo; θ_r é a umidade volumétrica residual à

15.000cm.c.a. Através da equação (3.8), os parâmetros α , m e n foram conhecidos, assumiu-se $\delta=0,5$. Determinou-se a condutividade hidráulica em condições de solo não saturado através do modelo de Mualem,(1976):

$$K(S_s) = K_0 \times S_s^\delta \times \left\{ 1 - \left(\delta - \delta \frac{1}{m} \right)^m \right\}^2 \quad (3.9)$$

onde $\left(m = 1 - \frac{1}{n} \right)$ e :

$$S_s = \frac{(\theta - \theta_r)}{(\theta_s - \theta_r)} \quad (3.10)$$

A partir do momento em que a condutividade hidráulica tornou-se conhecida, utilizou-se a equação de Darcy (3.3), a qual permite avaliar a contribuição subterrânea ou a percolação profunda ocorridas no campo. Considerou-se o fluxo vertical descendente como sendo negativo, logo os valores de (D_p) menores que zero serão sempre contribuições subterrâneas (Klaus, 1985).

c) Variação no conteúdo de água

Considerando o balanço de água no solo, a variação no armazenamento da água no solo, durante os períodos experimental, foi calculado de acordo com a equação geral:

$$\Delta A = \int_0^1 \bar{\theta}_1 dz + \int_1^2 \bar{\theta}_2 dz + \dots + \int_{n-1}^n \bar{\theta}_1 dz \quad (3.11)$$

onde: $\bar{\theta}$ é a umidade média do perfil do solo considerado(cm^3/cm^3) e z é a profundidade do perfil do solo (cm).

A variação do armazenamento de água no solo durante os períodos de tempo considerados, foi obtida a partir da expressão:

$$\Delta A = \Delta A_t - \Delta A_{t-1} \quad (3.12)$$

onde: ΔA_t e ΔA_{t-1} são os armazenamentos de água no perfil do solo, nos instantes t e $t-1$, respectivamente.

3.2.3.2 - Método do balanço de energia com base na razão de Bowen

Com a finalidade de determinar o fluxo de calor latente correspondente a evapotranspiração da cultura ao longo do dia, utilizou-se a equação do balanço de energia. Sendo a energia fixada pela fotossíntese (F) muito pequena quando comparada com o saldo de radiação (R_n) e o armazenamento nos tecidos das plantas (ΔV) significativo apenas durante o nascer ou pôr -do-sol, o balanço de energia na ausência de advecção (A), descrito por Rosenberg et al. (1983), pode ser apresentado como:

$$R_n = LE + H + G \quad (3.13)$$

onde: R_n é o saldo de radiação; G é o fluxo de calor no solo; H e LE são os fluxos de calor sensível e latente, respectivamente (sendo L o calor latente de vaporização da água e E a taxa de evaporação). Estes fluxos, no sistema solo-planta-atmosfera estão, caracterizados na figura (3.6), a qual apresenta o balanço de energia num volume de controle.

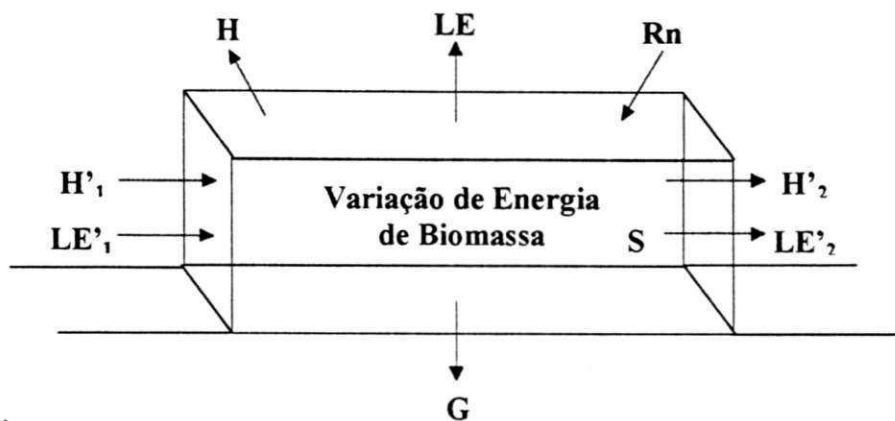


Figura 3.6 - Representação esquemática do balanço de energia num volume de controle.

Onde:

- Rn → Saldo de radiação
- LE → Fluxo de calor latente
- H → Fluxo de calor sensível no ar
- G → Fluxo de calor no solo
- S → Variação de energia de biomassa
- H'1 e H'2 → Advecção de calor sensível
- LE'1 e LE'2 → Advecção de calor latente

No cálculo do balanço de energia, os fluxos que chegam ao sistema (solo-videira) foram considerados positivos, enquanto que os fluxos que saem do

sistema foram considerados negativos. Neste caso, determinou-se como limites inferior do volume de controle, e superior o topo da cultura e a superfície do solo. Assim, acima da cultura, fluxos ascendentes eram negativos e fluxos descendentes positivos, no interior do solo fluxos ascendentes eram positivos e vice-versa (Bergamaschi et al. 1988).

A razão de Bowen (β), definida como a razão entre os fluxos de calor sensível e latente é dado por:

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{PC_p}{L} \left(\frac{K_h}{K_v} \right) \frac{\partial T}{\partial e} \frac{\partial Z}{\partial Z} = \gamma \left(\frac{K_h}{K_v} \right) \frac{\Delta T}{\Delta e_a} \quad (3.14)$$

onde: K_h e K_w são os coeficientes de difusão turbulenta de calor sensível e vapor d'água, respectivamente; e ($\gamma = PC_p/L\varepsilon$) é a constante psicrométrica ($\text{mb}^\circ\text{C}^{-1}$) e considerando que para qualquer condição de instabilidade atmosférica $K_h=K_v$ e $(\partial T/\partial Z)/(\partial e/\partial Z) \approx \Delta T/\Delta e$. Sendo $\Delta T = T_2 - T_1$ e $\Delta e = e_2 - e_1$ as variações de temperatura e pressão de vapor na camada de ar acima da vegetação ($\Delta Z = Z_2 - Z_1$), a equação (3.14) torna-se:

$$\beta \approx \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e_a}, \quad (3.15)$$

A pressão de saturação do vapor foi calculada a partir da temperatura usando a equação (Vianello e Alves, 1991):

$$e_s = 4,58 \times 0,750062 \times \exp\left(\frac{17,269T_a}{T + 237,3}\right) \quad (3.16)$$

e a pressão parcial de vapor, calculou-se pela expressão:

$$e_a = \frac{UR \times e_s}{100} \quad (3.17)$$

Substituindo a razão de Bowen na , equação (3.13), obtem-se o fluxo de calor latente pela fórmula:

$$LE = -\left(\frac{Rn - G}{1 + \beta}\right) \quad (3.18)$$

a qual estima o fluxo de calor latente (LE) com base em medições do saldo de radiação (Rn), do fluxo de calor no solo (G) e dos gradientes verticais de temperatura e vapor d'água sobre a superfície evaporante.

O fluxo de calor sensível no ar (H) foi obtido por diferença, exclusão na equação (3.10), ou seja

$$H = -(Rn + LE + G), \quad (3.19)$$

uma vez que os termos Rn, LE e G são conhecidos.

3.2.4 - Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o)

a) Modelo de Penman

A equação desenvolvida por Penman, (1948) para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) combina o balanço de energia com os efeitos aerodinâmicos do vento sobre a superfície (Berlato e Molion,1981), através da expressão (Azevedo et al,1993):

$$E_o = \frac{\Delta (Rn - G) 0,1L + \gamma E_a}{\Delta + \gamma}, \quad (3.20)$$

onde E_o é a evaporação de referência de uma superfície de água (mm dia^{-1}); E_a é o termo aerodinâmico referente ao poder evaporativo do ar; Δ refere-se à inclinação da curva de variação da pressão de saturação do vapor de água com a temperatura do ar. O termo $.0,1L$ converte a evaporação (E_o) em mm dia^{-1} .

A expressão (3.20) foi desenvolvida para estimar a evaporação de uma superfície livre de água E_o tratando-se da evaporação de referência (sistema solo-planta), E_o deve ser corrigido para;

$$ET_o = f \times E_o \quad (3.21)$$

onde f é uma constante empírica que varia com a estação do ano. Como R_n foi monitorado a 1m acima da latada, esta correção torna-se desnecessária (Thom e Oliver, 1977). O valor de f só é válido para condições em que foi gerado, pois depende do tipo de vegetação e possivelmente, da natureza do solo (Berlato e Molion, 1981).

Para o cálculo do poder evaporativo do ar, E_a utilizou-se a expressão;

$$E_a = 0,35 \left(1 + \frac{\bar{U}_z}{160} \right) (e_s - e_a), \quad (3.22)$$

onde \bar{U}_z é a velocidade média do vento ao nível de 2m acima da vegetação (Km.dia^{-1}) e $(e_s - e_a)$ é o déficit de saturação do ar (mb), obtido através das equações (3.16) e (3.17).

O calor latente de vaporização foi determinado pela expressão (Wright, 1982);

$$L = 595 - 0,51T_a \quad (3.23)$$

onde T_a ($^{\circ}\text{C}$) é a temperatura do ar. A constante psicrométrica (γ) foi calculada pela expressão:

$$\gamma = \frac{(C_p P)}{0,622L} \quad (3.24)$$

onde $C_p = 0,24 \text{ cal g}^{-1} \text{ c}^{-1}$ é o calor específico do ar e P é a pressão atmosférica do local em mb e Δ foi estimado pela expressão proposta por Wright, (1982):

$$\Delta = 33,3639 \left[0,05904 (0,00738T_a + 0,8072)^7 - 3,42 \times 10^{-5} \right] \quad (3.25)$$

3.2.5 - Determinação do coeficiente de cultura



Denomina-se coeficiente de cultura (K_c) a relação entre a evapotranspiração da cultura (ET_c) e a evapotranspiração Potencial de referência (ET_o), observada em um período de tempo, com relação a uma cultura (Moreira, 1992), ou seja,

$$K_c = ET_c/ET_o, \quad (3.26)$$

o qual foi determinado semanalmente. Deste modo, tomando-se com base a evapotranspiração determinada e estimada pelos modelos descritos anteriormente, calculou-se o coeficiente de cultura (K_c) para a videira, no período de maio a agosto de 1996.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Propriedades físicas do solo

a) Textura

Os resultados das análises de distribuição de partículas são mostrados na Tabela 4.1. A análise mostra que a maior concentração de areia (74,87%) encontra-se na camada de 0-20cm, apresentando uma ligeira tendência decrescente até a profundidade de 80cm, quando então permanece constante (Tabela 4.1). As concentrações de silte e argila apresentam comportamento inverso em relação as partículas de areia, mostrando tendências crescentes até a profundidade de 80cm. Nas camadas 80-100 e 100-120cm de profundidade, não constatou-se uma tendência definida(Tabela4.1). Na camada de 0-40 o solo foi classificado como franco argilo arenoso.

b) Densidade global e de partículas

Foram determinados os valores das densidades global e de partículas com o objetivo de determinar a umidades em $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^3$, a qual foi

usada no programa Van Genuchten, para ajustar a curva de retenção de água no solo.

A densidade global apresentou uma tendência crescente muito pequena até a profundidade de 60cm, passando de 1,54 para 1,57 g/cm³, quando então passou a decrescer, conforme a Tabela 4.2. A densidade de partícula apresentou os maiores valores (2,61 e 2,57g/cm³), nas profundidades de 0-20cm e 40-60cm respectivamente (Tabela 4.2). Isto é decorrente da composição do solo, conforme a Tabela 4.1.

TABELA 4.1 - ANÁLISE TEXTURAL DO SOLO

Propriedades	Sistema internacional		
	areia%	silte%	argila%
0-20	74,87	10,10	15,03
		franco arenoso	
20-40	72,85	10,10	17,05
		franco arenoso	
40-60	66,79	13,13	20,08
		franco argilo arenoso	
60-80	63,76	18,18	18,06
		franco arenoso	
80-100	63,94	15,18	20,08
		franco argilo arenoso	
100-120	63,57	17,26	19,10
		franco arenoso	

TABELA 4.2 - DENSIDADE GLOBAL E DENSIDADE DE PARTÍCULAS EM FUNÇÃO DO CONTEÚDO DE ÁGUA PARA OS DIFERENTES HORIZONTES DO SOLO.

Profundidades	Densidade global g/cm ³	Densidade de partículas g/cm ³
0-20	1,54	2,61
20-40	1,55	2,54
40-60	1,57	2,57
60-80	1,51	2,55
80-100	1,47	2,52
100-120	1,53	—

4.2 - Índice de área foliar

O índice de área foliar é de suma importância porque é o principal fator a determinar a produtividade de uma cultura, além de contribuir de maneira substancial para a fotossíntese e na taxa de produção de matéria seca. Na Figura 4.1 está apresentado o comportamento da área foliar. O valor máximo atingido ocorreu no subperíodo de desenvolvimento da baga e é de 1,21 atingindo valores mínimos nos subperíodos de brotação e maturação. A equação para a videira variedade Itália é:

$$IAF = 2 \times 10^{-06} (DAP)^3 - 0,0007(DAP)^2 + 0,0664(DAP) - 0,697 \quad (4.1)$$

$$R^2 = 0,99785$$

Na Figura 4.1 encontra-se o comportamento estacional do índice de área foliar para cada subperíodo fenológico, sendo I subperíodo de

brotação, II floração, III chumbinho, IV desenvolvimento da baga e V maturação.

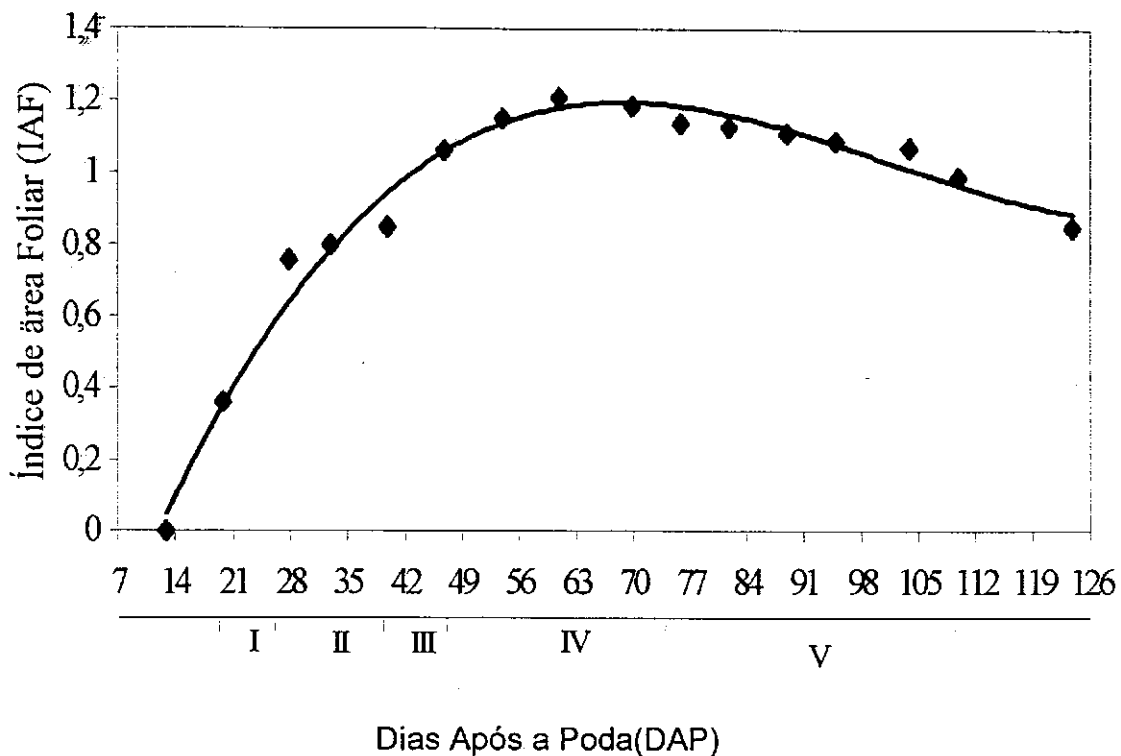


Figura 4.1 - Comportamento estacional das medições de área foliar da videira Variedade Itália, na região do submédio São Francisco.

4.3 - Condutividade capilar

Na Figura 4.2 é exibida a curva de condutividade capilar em função da fração volumétrica de água na camada de 100-120cm de profundidades estimada pelo modelo de Van Genuchten. Na umidade, ao redor de $0,1305\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ obteve-se uma condutividade capilar da ordem de $0,031\text{cm}/\text{dia}$ e a $0,1946\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ de $0,260\text{cm}/\text{dia}$, demonstrando que sob conteúdo de água no solo, próximo ao ponto de murcha permanente, a condutividade capilar é lenta, o que não ocorre quando a umidade do solo está próximo a capacidade de campo. Isso é decorrente da influência da textura,

estrutura e da uniformidade de geometria dos poros na condutividade capilar. Choudhury e Millar (1983), também constataram que a condutividade capilar nas camadas 75-105 e 105-135cm é superior à das camadas 15-45cm e 45-75cm de profundidade. Além disso, quando o solo encontra-se saturado, todos os poros estão preenchidos com água, condicionando uma condutividade capilar máxima. Quando o solo torna-se não saturado, alguns poros ficam preenchidos por ar, o que proporciona um decréscimo rápido da condutividade. Segundo Timm (1994), a condutividade capilar não saturada em alguns solos, decresce cerca de 10^5 vezes da condutividade de em condições de saturação. Timm (1994), observou que o modelo de Van Genuchten, subestimou os valores de condutividade capilar em condições de umidades altas, e para umidades baixas esta diferença diminuiu. Tal comportamento também pode ser observado na Figura 4.2, mas mesmo assim, ele afirma que o método conduz uma boa estimativa da condutividade hidráulica para solos com textura arenosa.

A capacidade de campo e o ponto de murcha permanente foram determinados no próprio local do experimento. O valor correspondeu $0,217\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ para a capacidade de campo (0,33atm) e $0,120\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ para o ponto de murcha permanente (Tabela A1 do Apêndice).

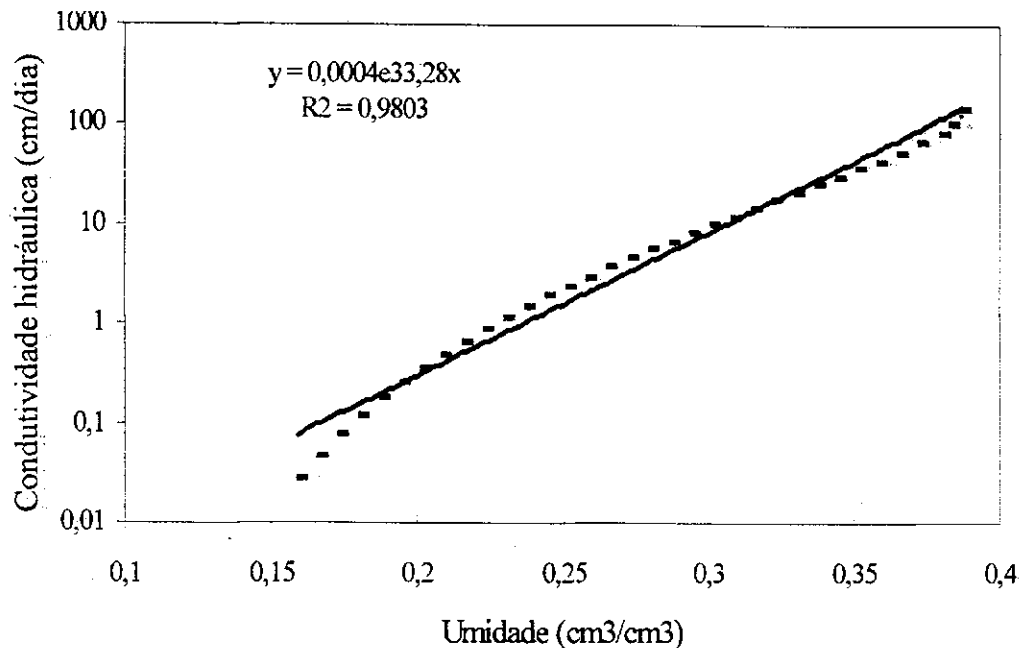


Figura 4.2 - Curva de conduividade capilar em função da fração volumétrica de água no solo na camada de 100-120cm de profundidade.

4.4 - Balanço de água no solo

Os valores dos componentes do balanço de água no solo, de acordo com a metodologia descrita anteriormente, foram determinados para o período de 07/05 a 11/08/96, totalizando 96 dias divididos em 14 períodos semanas (Tabela 4.6).

Dependendo da precisão com que se obtenha os parâmetros do balanço, pode-se ter uma boa estimativa da evapotranspiração. A parte mais importante do balanço de água no solo é a estimativa da componente da drenagem profunda (D_p), equação (3.4), na qual o fluxo pode ocorrer na direção para camadas mais profundas, abaixo da zona radicar (drenagem) ou para dentro da zona radicar (contribuição do lençol freático). Este dado foi obtido com base nos gradientes hidráulicos obtidos pelas leituras dos

tensiômetros instalados nas camadas de 80-100cm e 100-120cm de profundidade, e na relação entre condutividade capilar(K) e conteúdo de água(θ) na camada de 100cm.

Pode-se verificar, através do balanço de água no solo na camada de solo entre 0 e 120cm (Tabelas 4.5 e 4.6), que houve perda por percolação profunda nos subperíodos de brotação e maturação (07/05 a 19/05 e 15/07/ a 11/08/96), enquanto, que nos subperíodos de floração, chumbinho e desenvolvimento da baga(20/05 a 14/07), houve contribuição do lençol freático para dentro da camada de solo onde está contido a maior parte do sistema radicular da cultura (fluxo ascendente). Tal contribuição é comum em locais onde o lençol freático situa-se próximo da superfície. A maior contribuição do lençol freático foi observada nos subperíodos de chumbinho e desenvolvimento da baga (10 a 16/06), com um valor da ordem de 1,13mm/dia(7,88mm/semana), uma vez que a lâmina de água aplicada pela irrigação não foi suficiente para atender a evapotranspiração da planta (Tabela A4). Medeiros (1989), trabalhando com milho determinou um fluxo ascendente da ordem de 2mm/dia na fase de floração. Observando a Tabela 4.6 nota-se que a drenagem no início do ciclo (07 a 19/05), quando a videira se encontrava na fase de brotação, a drenagem profunda atingiu 23,07% do total de água perdida. No período de 20/05 a 14/07 (chumbinho e desenvolvimento da baga), correspondente ao período de maior desenvolvimento vegetativo(maior aumento do IAF da videira), do total de água que penetrou no perfil do solo pela irrigação mais o fluxo capilar do lençol freático, a contribuição do lençol freático foi de 16,78%. De 15/07 a 11/08, período que corresponde ao início da

queda das folhas e maturação do fruto, a perda por drenagem profunda atingiu 12,03% e a evapotranspiração atingiu 87,97%.

A lâmina total ascendente do lençol freático(33,06mm) representou 10,67% da lâmina total aplicada pelo sistema de irrigação, enquanto que a lâmina de água perdida por percolação profunda(24,82mm) foi da ordem de 8,01%. Com base nisto, pode-se supor que os valores do coeficiente de cultura utilizados nos subperíodos de chumbinho e desenvolvimento da baga (valores utilizados no cálculo da lâmina de água), subestimaram às necessidades de água das plantas nesses subperíodos(Tabela A5).

Nas Tabela 4.3 encontra-se a variação do conteúdo de água no solo e na Tabela 4.4 encontra-se a variação do potencial hidráulico, gradiente hidráulico, condutividade hidráulica e drenagem profunda para o primeiro e o último dia de cada semana.

TABELA 4 3 - VARIACÃO DO CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO (mm).

Datas	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm	100-120 cm	Total
07-05 a 12/05/96	-1,24	-1,43	-1,43	-1,32	-1,20	-6,62
13 a 19/05/96	1,85	-1,40	-4,70	-4	-6,40	-14,65
20 a 26/05/96	-4,59	-2,86	-0,98	-0,49	-0,68	-9,60
27 a 02/06/96	-0,31	-0,50	-0,51	-0,13	-1,16	-2,61
01 a 09/06/96	0,56	0,41	-0,89	-0,95	-1,14	-2,01
10 a 16/06/96	-0,97	-0,85	-0,37	0,46	0,33	-1,40
17 a 23/06/96	-0,57	-0,54	-0,73	-1,15	-1,49	-4,48
24 a 30/06/96	-3,20	-2,53	-0,70	-0,25	-0,38	-7,06
01 a 07/07/96	-1,70	-0,97	-0,21	-0,43	-0,84	-4,15
08 a 14/07/96	-0,89	-0,71	-0,21	-0,24	-0,70	-2,75
15 a 21/07/96	-0,55	-0,18	-0,20	0,02	0,28	-0,63
22 a 28/07/96	-0,27	0,06	0,15	0,17	0,11	0,22
29 a 04/08/96	0,78	0,70	0,94	0,75	0,27	3,44
05 a 11/08/96	0,13	0,09	-0,12	-0,19	-0,08	-0,17
Total	-10,97	-10,71	-9,96	-7,75	-13,08	-52,47

TABELA 4.4 - VARIACÃO DO POTENCIAL HIDRÁULICO (ψ), GRADIENTE HIDRÁULICO ($\Delta\psi = \psi_{120} - \psi_{80}$), CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA ($K\theta$) E DRENAGEM PROFUNDA (DP) PARA O PRIMEIRO E O ÚLTIMO DIA DE CADA SEMANA.

Datas	ψ_{80} (mmH ₂ O)	ψ_{120} (mmH ₂ O)	$\Delta\psi$	$K\theta$ mm/dia	Dp mm/dia
07/05/96	-5244,00	-5420,40	-0,44	0,93	0,41
12/05/96	-5382,60	-5672,40	-0,72	0,91	0,66
13/05/96	-5161,00	-5811,00	-1,63	0,89	1,45
19/05/96	-4903,80	-5231,40	-0,82	0,97	0,79
20//05/96	-5559,00	-5382,60	0,44	1,01	-0,44
26/05/96	-5634,60	-5622,00	0,03	0,89	-0,03
27/05/96	-4891,20	-4752,60	0,35	0,88	-0,31
02/06/96	-4992,00	-4866,00	0,32	0,89	-0,28
03/06/96	-5281,80	-4828,20	1,13	0,88	-0,99
09/06/96	-5861,40	-5256,60	1,51	0,79	-1,20
10/06/96	-5862,70	-5269,20	1,48	0,79	-1,17
16/06/96	-5785,80	-5304,50	1,20	0,90	-1,08
17/06/96	-5785,80	-5281,80	1,26	0,90	-1,13
23/06/96	-6413,30	-6151,12	0,66	0,74	-0,49
24/06/96	-6370,40	-6144,90	0,56	0,72	-0,40
30/07/96	-6447,30	-6365,40	0,20	0,68	-0,14
01/07/96	-6995,40	-6390,60	1,51	0,70	-1,05
07/07/96	-6986,60	-6892,10	0,24	0,60	-0,14
08/07/96	-6567,00	-6252,00	0,79	0,72	-0,57
14/07/96	-6743,40	-6907,20	-0,41	0,68	0,28
15/07/96	-7083,60	-7537,20	-1,13	0,63	0,71
21/07/96	-7228,50	-7285,20	-0,14	0,65	0,09
22/07/96	-7222,20	-7310,40	-0,22	0,62	0,14
28/07/96	-7089,90	-7266,30	-0,44	0,63	0,28
29/07/96	-7310,40	-7512,00	-0,50	0,62	0,31
04/08/96	-7105,70	-7285,20	-0,45	0,65	0,29
05/08/96	-7138,80	-7908,90	-1,93	0,63	1,21
11/08/96	-7266,30	-7959,30	-1,73	0,61	1,05

TABELA 4.5 - VALORES DA DRENAGEM PROFUNDA PARA CADA PERÍODO SEMANAL CONSIDERADO.

Períodos	Intervalo (dias)	\bar{D} (mm/dia)	Dp (mm/7dias)
07/05 a 12/05/96	5	0,54	2,70
13 a 19/05/96	7	1,12	7,84
20 a 26/05/96	7	-0,24	-1,65
27 a 02/06/96	7	-0,30	-2,07
03 a 09/06/96	7	-1,10	-7,67
10 a 16/06/96	7	-1,13	-7,88
17 a 23/06/96	7	-0,81	-5,67
24 a 30/06/96	7	-0,27	-1,92
01 a 07/07/96	7	-0,60	-4,17
08 a 14/07/96	7	-0,29	-2,03
15 a 21/07/96	7	0,40	2,80
22 a 28/07/96	7	0,21	1,47
29 a 04/08/96	7	0,30	2,10
05 a 11/08/96	7	1,13	7,91

TABELA 4.6 - VALORES DAS COMPONENTES DO BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO PARA O PERÍODO DE OBSERVAÇÕES (07/05 A 11/08/96), NA VIDEIRA VARIEDADE ITÁLIA EM PETROLINA-PE.

Período	ΔA (mm)	I (mm)	Dp (mm)	ETr (mm)
07/05/96 a 12/05/96	-6,62	10,13	2,70	14,05
12 a 19/05/96	-14,65	12,24	7,84	19,05
20 a 26/05/96	-9,60	16,20	-1,65	27,45
27 a 02/06/96	-2,61	15,00	-2,07	19,68
03 a 09/06/96	-2,01	15,98	-7,67	26,66
10 a 16/06/96	-1,40	16,50	-7,88	25,78
17 a 23/06/96	-4,48	17,34	-5,67	27,49
24 a 30/06/96	-7,06	18,06	-1,92	27,04
01 a 07/07/96	-4,15	21,98	-4,17	30,30
08 a 14/07/96	-2,75	24,18	-2,03	28,96
15 a 21/07/96	-0,63	27,48	2,80	25,31
22 a 28/07/96	0,22	22,86	1,47	21,17
29 a 04/08/96	3,44	26,28	2,10	20,74
05 a 11/08/96	-0,17	27,66	7,91	19,92
Total	-52,47	271,89	-8,24	332,80

ΔA - Variação no armazenamento;

I - Irrigação e

Etr - Evapotranspiração real da cultura.

4.4 - Balanço de energia sobre a videira

A água utilizada pela videira é controlada pela energia absorvida pelas plantas e pela superfície do solo, o método do balanço de energia, baseado na razão de Bowen, foi utilizado com a finalidade de comparar a partição do saldo de radiação dentro da cultura e, em especial, para estimar a evapotranspiração ao longo do dia. Devido o fato de ter-se detectado transporte horizontal de calor sensível em determinados dias, problemas com os sensores de temperatura do ar e umidade relativa; além de falhas no sistema de aquisição de dados, não foi possível obter dados consistentes. Em alguns dias observou-se gradientes de temperatura positivo e negativo durante o período diurno, o que acarreta em grandes erros na determinação da ETc.

O método do balanço de energia baseado na Razão de Bowen (3.13) pode ser utilizado para determinar a evapotranspiração desde que se verifique três hipóteses: a) Que a acumulação de calor na cobertura vegetal seja omitida; b) Que a energia empregada nos processos bioquímicos seja desprezada e que não ocorra advecção, pois este método assume que as divergências horizontais de calores sensível e latente, entre os níveis de medida, sejam nulos. Baseado nesses fatos, não se utilizou esse método para a determinação da evapotranspiração da cultura. Selecionou-se alguns dias, os quais são mostrados nas Figuras 4.3 e 4.4 e na Tabela 4.7, nas quais apresenta-se os resultados de cada componente do balanço de energia, levando-se em consideração a componente diurna horária.

Na floração (28/05), 25 dias após a poda (DAP = 25) e índice de área foliar (IAF) alcançou 0,55 (Figura 4.3 a), 76,1% da energia disponível foi utilizada como calor latente de evaporação, 15,02% como calor destinado ao aquecimento do ar e 8,84% como calor para aquecimento do solo. No dia (08/06), DAP =45 e IAF = 1,05 (Figura 4.3 b), 80,7% do saldo de radiação foi utilizado como calor latente de evaporação, 10% como calor sensível e 9,3% como fluxo de calor no solo. Pode-se observar que no dia (10/06), quando o índice de área foliar estava em torno de 1,08 (Figura 4.4 c), o fluxo de calor latente diário foi 14,51% superior ao saldo de radiação e 25,41% maior do que a soma de (Rn+G), o que vem demonstrar que a advecção apresentou-se como uma fonte de energia secundária, na forma de calor sensível. Na Figura 4.4 dia 10/06/96 (c), verifica-se que o fluxo de calor sensível foi positivo durante todo o período diurno, ou seja, o sistema solo-planta-atmosfera adquiriu energia, isto é, o ar alimentou o sistema aumentando a quantidade de energia para evapotranspiração. Esse problema é muito comum na região nordeste, devido o clima semi-árido, encontra-se culturas irrigadas circundadas por áreas secas (efeito de oásis) (Leitão 1989 e Cunha et.al 1996). Deste modo como, na área seca, a evapotranspiração é limitada pela falta de água no solo, grande parte da radiação solar disponível é usada para aquecer o solo e o ar (calor sensível). Na área vegetada, a maior parte de energia é utilizada na evapotranspiração, resultando em um menor aquecimento do ar. Essa situação induz o desenvolvimento de um gradiente térmico entre as duas áreas. Havendo deslocamento de ar da área seca para a área vegetada, haverá transporte de calor sensível, (Pereira et al. 1997). Já no dia (20/07), DAP = 87e IAF de 1,09 (Figura 4.4 d), 62,3% do saldo de radiação

foi utilizado como calor latente de evaporação, 28,8% como calor sensível e 8,9% como fluxo de calor no solo. Portanto, pode-se concluir que, no dia 08/06, quando a videira estava completamente desenvolvida, ou seja, com maior índice de área foliar, maior quantidade de energia foi destinada à evapotranspiração e, conseqüentemente, menor quantidade de energia esteve disponível para o processo de aquecimento do ar. Por outro lado, no dia 20/07 uma maior quantidade de energia foi destinada para o aquecimento do ar.

Os percentuais do saldo de radiação utilizados para o aquecimento do solo, estão dentro da faixa de 5 a 12%, estabelecidos por Sellers (1969). Chang (1974), diz que na ausência de advecção, a evapotranspiração de uma cultura bem suprida de água e bem desenvolvida, ou seja, em condições potenciais de transpiração, consome de 80 a 90% do saldo de radiação, o que foi observado no dia 08/06, enquanto que no dia 20/07 apenas 62,3% de R_n foi usado como fluxo de calor latente, 28,8% como aquecimento do ar e 8,9% a aquecimento do solo, devido ao fato do solo está mais descoberto, causando um maior aquecimento da superfície do solo e por sua vez, transferindo mais calor para o ar.

TABELA.4.7 - COMPONENTES DO BALANÇO DE ENERGIA SOBRE A VIDEIRA VARIEDADE ITÁLIA, CALCULADOS NO PERÍODO DIURNO, PARA DIFERENTES SUBPERÍODOS FENOLÓGICOS.

Dias	R_n (W/m ²)	LE (W/m ²)	H (W/m ²)	G (W/m ²)	DAP	IAF
28/05/96	190,09	144,72	28,56	16,81	25	0,55
08/06/96	154,83	124,87	15,65	14,29	45	1,05
10/06/96	138,41	158,50	-32,11	12,02	47	1,08
20/07/96	331,54	206,39	95,50	29,65	87	1,09

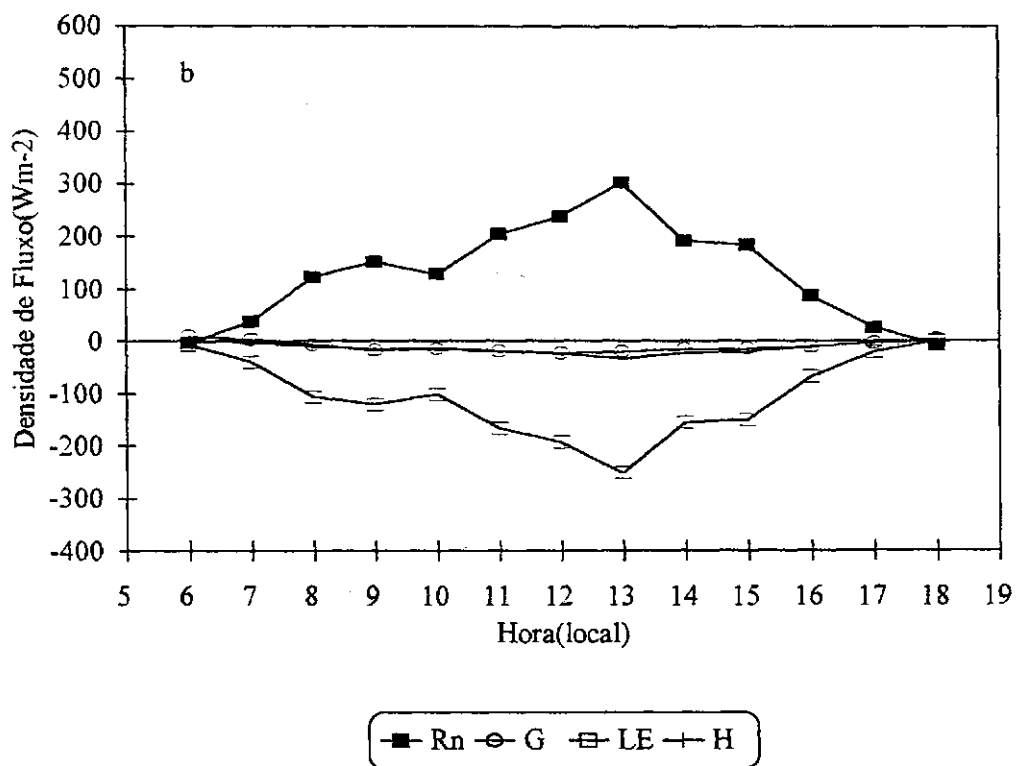
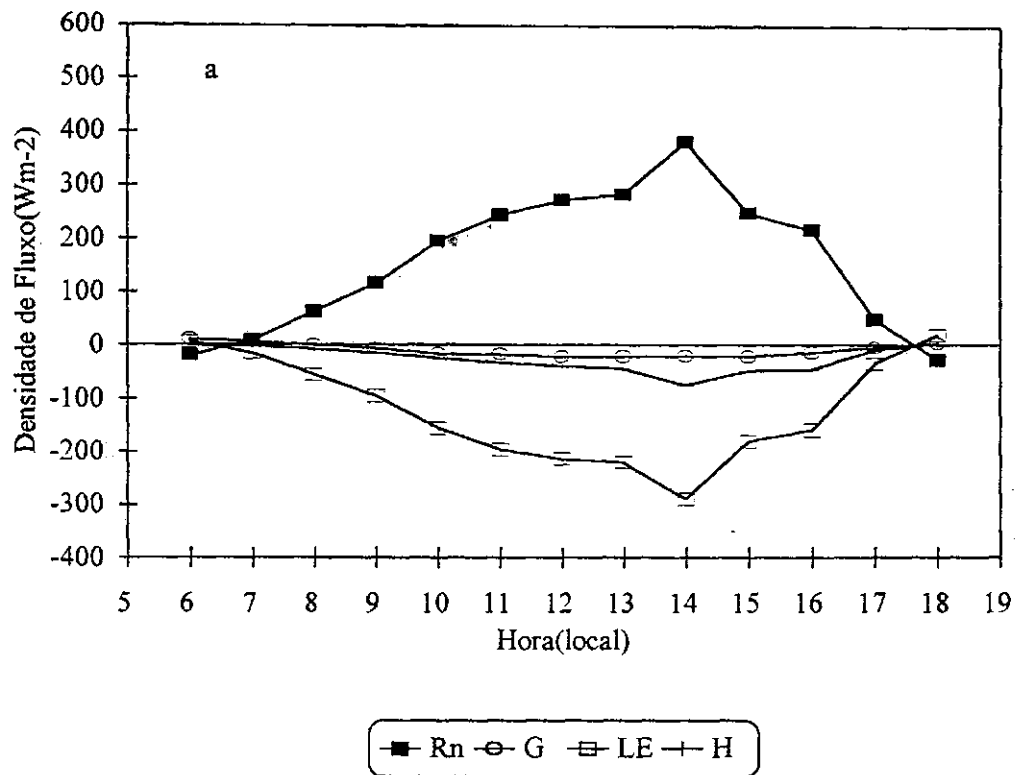


Figura 4.3 - Balanço de energia sobre a videira variedade Itália para os dias 28/05/96 (a) 25 DAP e 08/06/96 (b) 45 DAP na região do submédio São Francisco.

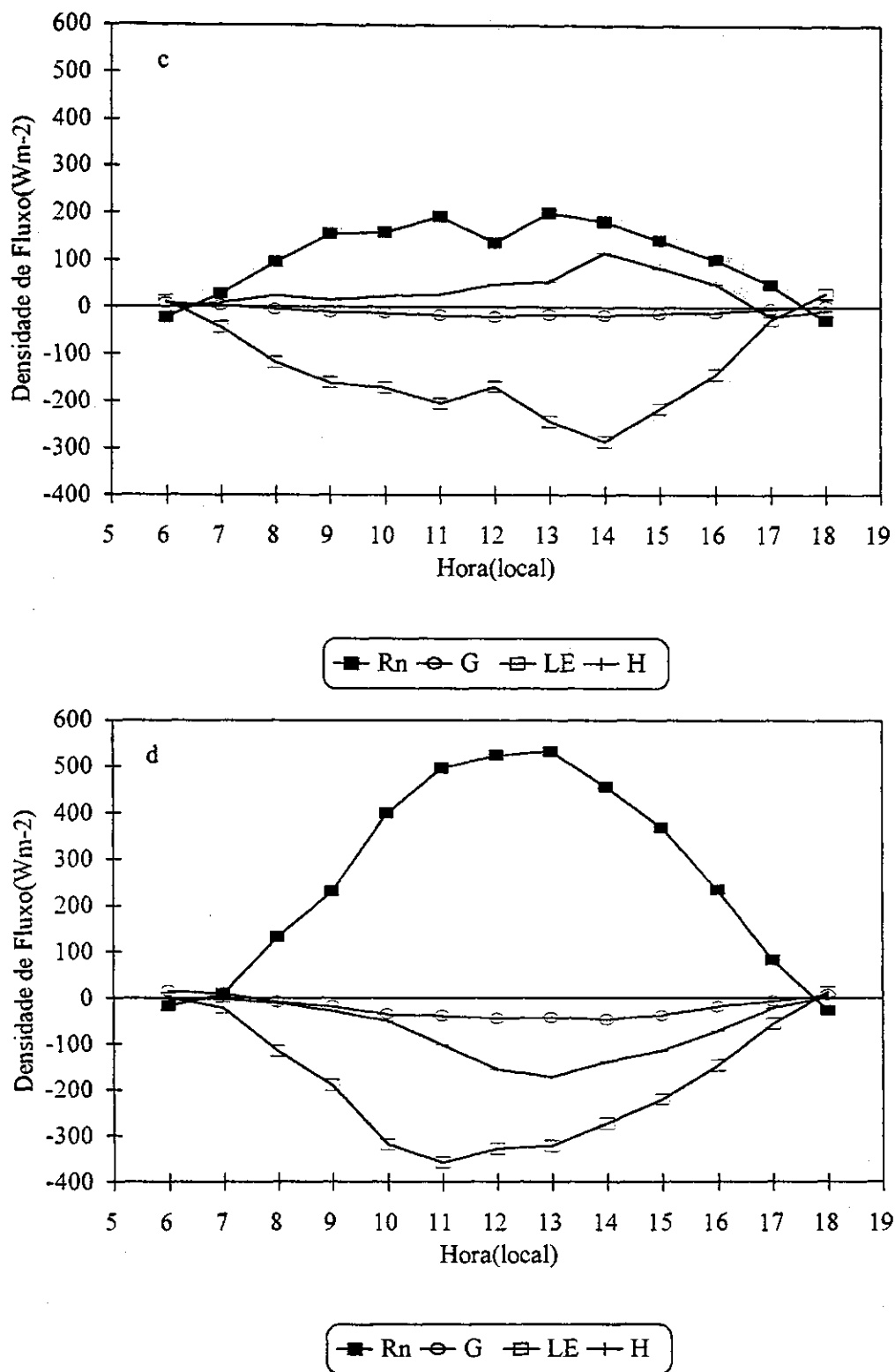
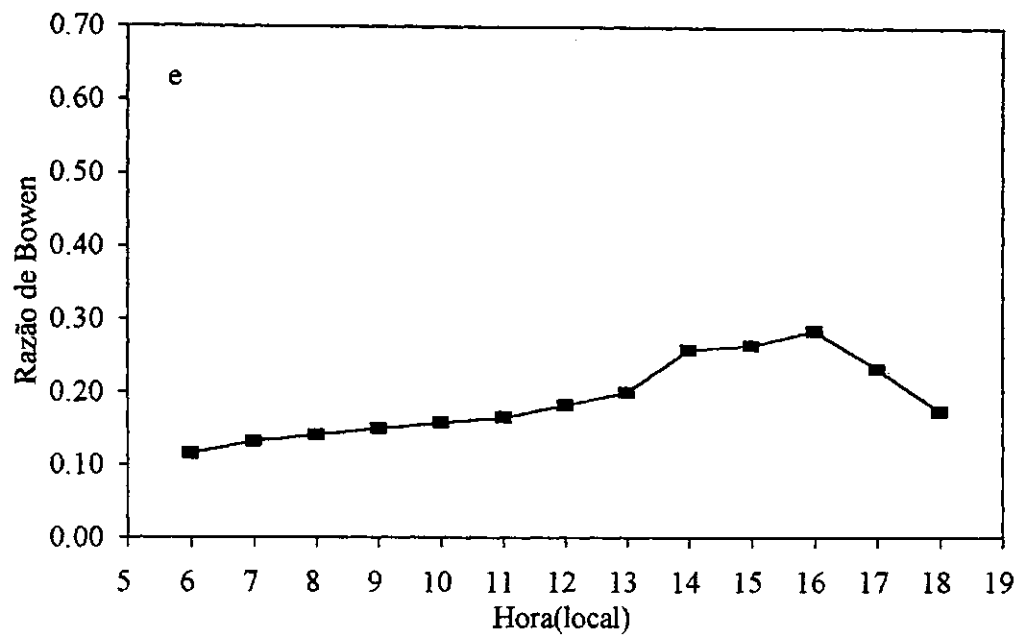


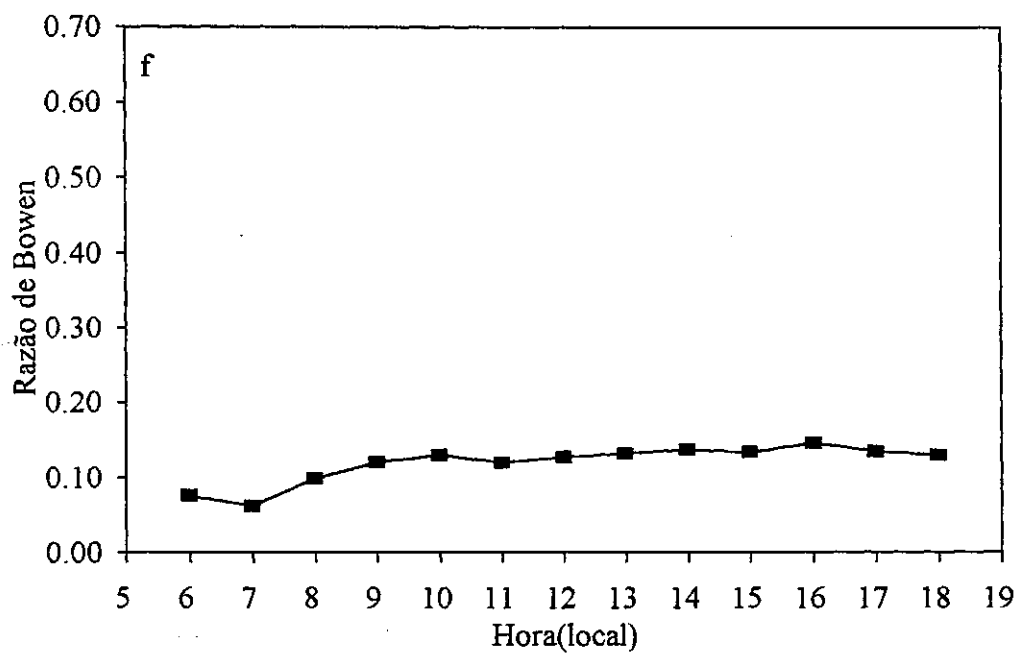
Figura 4.4 - Balanço de energia sobre a videira variedade Itália para os dias 10/06/96 (c) 47 DAP e 20/07/96(d) 87 DAP na região do submédio São Francisco

Nas Figuras 4.5 e 4.6, são apresentadas as variações da razão de Bowen (β), calculadas para os dias escolhidos. No dia (28/05) não evidenciou-se transferência de energia do meio para o sistema, pelo o fato de não ter ocorrido valores negativos de β . A razão de Bowen cresceu suavemente até as 14 horas, quando teve um acréscimo significativo devido ao aumento de LE e H. Já, às 16 horas β , assume seu valor máximo, pois o fluxo de calor sensível manteve-se praticamente constante, enquanto que o fluxo de calor latente sofreu um decréscimo, como pode-se observar na Figura 4.5 (e). Na Figura 4.5 (f), correspondente ao dia 08/06, com bastante nebulosidade (13,38 MJ/m²/dia) observa-se que a razão de Bowen manteve-se praticamente constante durante todo o dia, sofrendo pequenas alterações às 07:00 horas, devido o aumento do fluxo de calor latente, o que resultou em um decréscimo de β . Às 10:00 horas, β cresceu devido ao decréscimo do fluxo de calor latente, mantendo-se praticamente constante a partir de então. Nesse dia, a razão de Bowen manteve-se praticamente constante e positiva durante todo o dia, logo pode-se concluir que, em nenhum instante, o fluxo de calor sensível foi superior ao fluxo de calor latente. No dia (10/06), Figura 4.6(g), β assumiu valores negativos, portanto houve transferência de energia do meio para o sistema, implicando em ocorrência de fluxo de calor sensível positivo, fazendo com que o fluxo de calor latente neste dia atingisse 13,69 MJ/m²/dia, enquanto que o saldo de radiação foi de apenas 11,95 MJ/m²/dia, além disso pode-se observar que este dia possui bastante nebulosidade. A transferência de energia do meio para o sistema pode ser caracterizada como oriunda da

divergência horizontal de energia, determinando a superestimativa do processo evapotranspirativo em relação ao suprimento energético vertical (Cunha, 1996). Observa-se nessa Figura que às 17:00 horas houve ocorrência de inversão do gradiente térmico acima da cultura, comum no início da manhã e no final da tarde. No dia (20/07), onde tem-se um saldo de radiação de $28\text{MJ/m}^2/\text{dia}$, tendo portanto este dia pouca nebulosidade, gerando valores de β superiores aos dias 28/05/96 e 08/06/96. Na Figura 4.6 (h), observa-se que β apresentou um comportamento consistente, com valores inferiores pela manhã, os quais aumentaram rapidamente até às 13:00 horas, em consequência do maior aumento de calor sensível em comparação com o fluxo de calor latente. No período das 13:00 e 15:00 horas a razão de Bowen atingiu o seu valor máximo, com um pequeno decréscimo às 14:00 horas, decrescendo suavemente até às 18:00 horas. Vale salientar que, em nenhum dos casos, β se aproximou de -1, apenas no dia 10/06/96, o β aproximou-se de -0,5, que vem a ser o limite de confiança da razão de Bowen, $\beta = H/LE$, pois valores de β entre -0,5 e -1,5 podem levar a valores de LE, considerados não consistentes (Tanner, 1960 citado por Galvani, 1997)



-■- B



-■- B

Figura - 4.5 Razão de Bowen sobre a videira variedade Itália para os dias 28/05/96 (e) e 08/06/96 (f) na região do Submédio São Francisco.

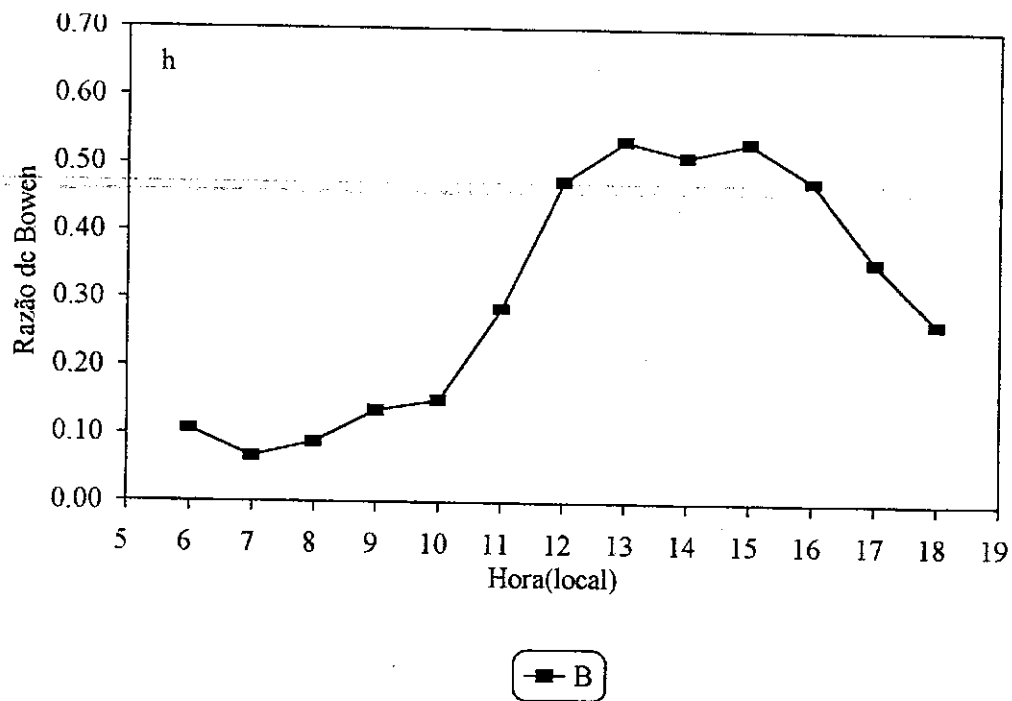
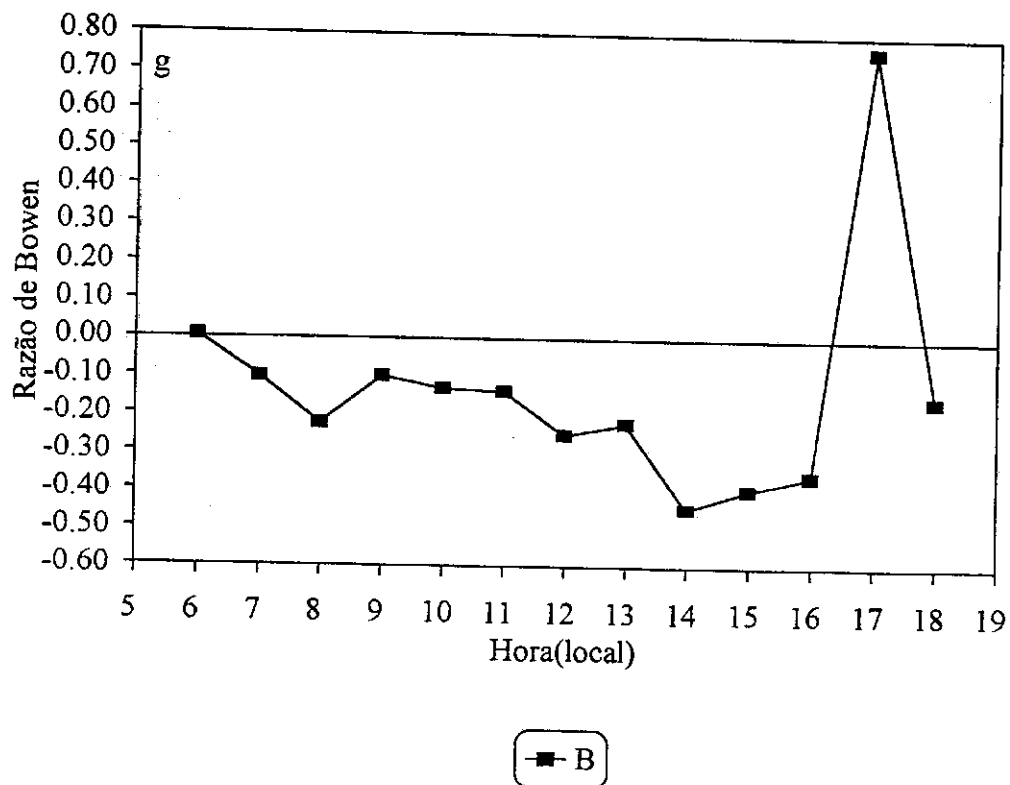


Figura 4.6.- Razão de Bowen para a videira variedade Itália para os dias 10/06/96 (g) e 20/07/96 (h), na região do submédio São Francisco.

4.6 - Evapotranspiração da cultura (ETc)

Sabe-se que a evapotranspiração real da cultura é influenciada pela disponibilidade de água no solo; energia disponível ao processo evaporativo, subperíodo fenológico da cultura; características fisiológicas das plantas entre outros. Considerando que não existem muitos estudos referentes ao consumo hídrico da cultura da videira, procurou-se determiná-lo através do método do balanço de água no solo, o qual levou em consideração os valores diários da água aplicada (irrigação) e da água percolada (drenagem). Os valores diários médios da evapotranspiração para períodos semanais, determinados, respectivamente pelos métodos do balanço de energia e balanço de água no solo sobre a cultura são apresentados na Tabela 4.8. Observa-se que, em algumas semanas, a evapotranspiração obtida pelo método do balanço de energia, com base na razão de Bowen, foi superior àquela obtida pelo balanço de água no solo, devido, provavelmente, a presença de advecção de calor sensível (transporte horizontal de calor das áreas circunvizinhas, para a área em estudo), o que é comum quando se trabalha em áreas irrigadas localizadas em grandes áreas secas ou semi-áridas (Leitão, 1989 e Cunha et.al 1996).

Em alguns períodos semanais verificou-se que a diferença entre os métodos é acentuada, o que pode ser explicado pelo fato de, nesses períodos, ter-se obtido poucos dias de dados completos, ou seja, com dados armazenados durante as 24 horas ou 12 horas. Por exemplo, no sétimo período semanal o saldo de adiação correspondente ao dia 19/06/96 foi de

15,65MJ/m²/dia e o fluxo de calor latente foi de 14,39MJ/m²/dia, o que leva a obter-se uma evapotranspiração baixa, fazendo com que a diferença entre os métodos seja mais acentuada. Outro fato que pode ter ocorrido é a advecção entre fileiras, pois o calor gerado em superfícies de solo seco, pode ser consumido através do aumento da transpiração das plantas. Como a videira foi irrigada por gotejamento mantendo, portanto, a maior parte do solo seco e mesmo no momento de máximo índice de área foliar a vegetação não cobre completamente o solo, a advecção entre fileiras pode ter ocorrido. Kanemasu e Arkin (1974) verificaram que a evapotranspiração de fileiras largas (0,91m), em sorgo, foi cerca de 10% mais elevada do que de fileiras estreitas (0,46m), atribuindo isso, ao aumento da transpiração na fileira larga devido ao consumo do calor sensível gerado na superfície do solo. Vale salientar que o balanço de água no solo, baseado em tensiometria e com turno de rega diário apresenta algumas dificuldades operacionais tais como a estimativa da percolação. Devido a falta de dados e problemas de advecção, utilizou-se o balanço de água no solo para determinar o coeficiente de cultura da videira variedade Itália, uma vez que o mesmo mostrou-se mais consistente.

Os valores médios diários para períodos semanais da evapotranspiração real, determinados pelos métodos da razão de Bowen e do balanço de água no solo são apresentados na Tabela 4.8. Os maiores valores de evapotranspiração, para ambos os métodos, ocorreram no período de 03/06 a 14/07/96, que correspondem aos subperíodos fenológicos de chumbinho e desenvolvimento da baga, ou seja, entre 47 e 81 DAP, quando a videira encontrava-se em pleno desenvolvimento vegetativo, sendo portanto a

evapotranspiração maior nesses subperíodos. Os menores valores de ET_c foram observados nos subperíodos de brotação, floração e maturação. A evapotranspiração total do ciclo vegetativo obtida pelo método do balanço de água no solo foi de 332,80 mm, enquanto que pelo balanço de energia foi de 296,6 mm, significando que ET_c baseado no balanço de água no solo foi 12% superior a ET_c baseado no balanço de energia. Vale salientar que o método do balanço de água no solo é composto somente pela evaporação desde o solo e pela água consumida pela planta. Segundo Mota et al. (1974), a evapotranspiração diária varia de 2,5 a 4,0mm durante o ciclo vegetativo no Rio Grande do Sul, sendo que na região nordeste a evapotranspiração atinge valores superiores nos meses de outubro e novembro devido elevados valores de radiação solar. O método do balanço de água no solo contabilizou valores dentro desta faixa, com valores superiores apenas na fase de desenvolvimento do fruto.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 4.8, pode-se evidenciar a necessidade de comparações prévias, visando estabelecer correções apropriadas ao local em estudo, antes de se adotar qualquer método. No caso da área experimental do Perímetro Irrigado Bebedouro, Petrolina-PE, deve-se estudar o problema da advecção sobre e abaixo da cultura da videira, pois o sistema de latada relativamente alta (2m) pode proporcionar a geração de um microclima abaixo da videira, daí a necessidade de estudar-se o comportamento do balanço de energia abaixo e acima da latada. Fato também comprovado por Costa (1989), que enfatiza que o fraco desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração deve estar associado a falta de uma adaptação dos modelos às condições semi-áridas.

**TABELA 4.8 - EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA DA VIDEIRA
VARIEDADE ITÁLIA (ETc mm/dia) OBTIDA PELOS BALANÇOS DE ENERGIA
E DE ÁGUA NO SOLO, NA REGIÃO DO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO.**

Períodos	Balanço de energia (mm)	Balanço de água no solo(mm)
07/05/96 a 12/05/96	2,9	2,81
13 a 19/05/96	3,3	2,71
20 a 26/05/96	3,4	3,92
27 a 02/06/96	2,4	2,81
03 a 09/06/96	3,2	3,70
10 a 16/06/96	4,4	3,68
17 a 23/06/96	3,0	3,93
24 a 30/06/96	3,7	3,86
01 a 07/07/96	4,5	4,33
08 a 14/07/96	3,4	4,14
15 a 21/07/96	3,0	3,62
22 a 28/07/96	3,3	3,02
29 a 04/08/96	2,7	2,96
05 a 11/08/96	-	2,85
Total p/ o ciclo vegetativo	296,6 mm	332,80 mm

4.7 - Evapotranspiração de referência (ET_o)

Vários métodos têm sido desenvolvidos para a estimativa da evapotranspiração de referência, correspondente à demanda atmosférica para o processo evaporativo. Neste trabalho, utilizou-se o método de Penman para estimar a evapotranspiração diária média para períodos semanais.

A evapotranspiração de referência (ET_o) manteve um comportamento quase homogêneo. As maiores demandas evapotranspirativas ocorreram nos períodos de 01 a 14/07. O total da demanda evaporativa, no

decorrer do período estudado, foi da ordem 507,77mm como pode -se verificar na Tabela 4.9.

TABELA.4.9.-EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA MÉDIA
(ETo mm/dia) PARA PERÍODOS SEMANAIS, NA REGIÃO DO SUBMÉDIO
SÃO FRANCISCO

Período	ETo(mm/dia)
07/05/96 a 12/05/96	4,52
13 a 19/05/96	4,06
20 a 26/05/96	5,60
27 a 02/06/96	3,96
03 a 09/06/96	5,14
10 a 16/06/96	5,04
17 a 23/06/96	5,31
24 a 30/06/96	5,35
01 a 07/07/96	6,22
08 a 14/07/96	6,12
15 a 21/07/96	5,67
22 a 28/07/96	5,36
29 a 04/08/96	5,73
05 a 11/08/96	5,75
Total p/o ciclo vegetativo	507,77 mm

4.8.-. Coeficiente de cultura (Kc)

O manejo da irrigação depende, fundamentalmente, das exigências hídricas das culturas. Na maioria das áreas irrigadas, as informações meteorológicas para a determinação da evapotranspiração são limitadas, o que leva a utilização de métodos e dados obtidos para regiões e áreas com características bastante diferentes daquela onde essas metodologias e valores estão sendo aplicadas (Sobrinho, 1989). Para

relacionar a evapotranspiração da cultura (ET_c); com a evapotranspiração de referência (ET_o), utiliza-se coeficientes de cultura (K_c) determinados empiricamente.

Na Tabela 4.10 são apresentados os valores diários médios para períodos semanais da evapotranspiração e do coeficiente de cultivo da videira variedade Itália, com ET_c determinada pelo método do balanço de água no solo e ET_o pelo método de Penman. Nessa Tabela, observa-se uma tendência de aumento dos valores de K_c , com o desenvolvimento vegetativo, até atingir um valor máximo em torno de 0,74, decrescendo em seguida como consequência do processo de maturação dos frutos e redução da capacidade transpiratória da folhagem. No início, as necessidades hídricas da planta são pequenas e com o seu desenvolvimento há um aumento rápido da área foliar, ocasionando portanto um aumento do processo evapotranspiratório e, conseqüentemente, aumento do coeficiente de cultivo. No final do ciclo, há um decréscimo do K_c , em virtude da redução do poder evapotranspiratório da cultura, causado pela senescência das folhas e pelo início da fase de maturação (Encarnação et al, 1987).

Os valores de K_c obtidos neste trabalho não diferem significativamente dos sugeridos pela FAO no trabalho desenvolvido por Doorenbos e Pruitt (1977). Esses autores recomendam um coeficiente de 0,45 - 0,65 no subperíodos de brotação e floração, passando a 0,75 no subperíodo de chumbinho e desenvolvimento da baga, diminuindo para 0,70 a 0,55 no período de maturação. Portanto, os valores de K_c obtidos no presente estudo foram similares aos sugeridos por Doorenbos e Pruitt (1977), para a cultura da

videira, sofrendo uma pequena alteração no subperíodo de desenvolvimento da baga quando os valores médios máximos foram em torno de 0,72 e 0,74, sendo portanto um pouco inferiores. Quando comparados com os coeficientes utilizados no cálculo da irrigação, verifica-se que eles foram superiores, nas fases de desenvolvimento da baga e inferiores no subperíodo de maturação, isso ocorre em função do comprimento do ciclo fenológico da cultura. O ciclo da FAO é de nove meses, enquanto, que o ciclo fenológico da videira variedade Itália em Bebedouro é de apenas cinco meses.

O método do balanço de água no solo para a determinação de ET_c e o método de Penman para a estimativa de ET_o , mostraram-se eficientes na determinação do K_c para a videira, nas condições climáticas do Submédio São Francisco. Azevedo et al. (1993) encontraram resultados compatíveis com a literatura para o K_c utilizando o método de Penman, para a cultura do algodoeiro herbáceo nas condições climáticas de Souza-PB.

O consumo total de água foi de 332,80 mm, o que correspondeu a um consumo médio diário de 3,47 mm ao longo do período estudado (DAP = 18 a DAP = 109). A lâmina total de água obtida neste trabalho mostrou-se inferior às necessidades hídricas da videira segundo Doorenbos e Pruitt (1977). Isto pode ser decorrente da falta de dados de tensiometria no início e no período de repouso do ciclo da cultura - videira, período de menor consumo hídrico, além de possíveis diferenças das condições climáticas, da variedade da videira.

Na Figura 4.8 encontra-se a curva característica do K_c ao longo dos diferentes subperíodos de desenvolvimento da videira, nas condições

climáticas reinantes na região do Submédio São Francisco, onde I representa o subperíodo de brotação, II é o subperíodo de floração, III é o subperíodo de chumbinho, IV é o subperíodo de desenvolvimento do fruto e V é o subperíodo de maturação

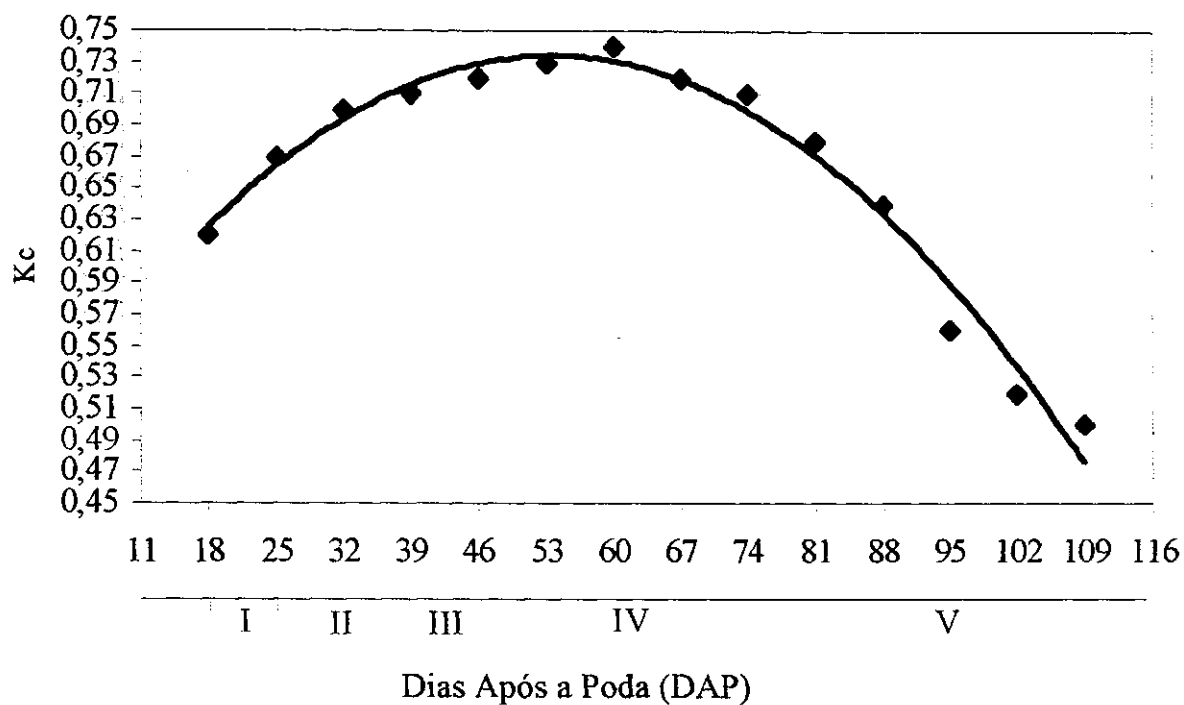


Figura 4.7 - Coeficiente de cultura para a videira variedade Itália no Submédio São Francisco.

A equação de ajuste de Kc em função de DAP foi a seguinte:

$$Kc = -8.10^{-5} (DAP)^2 + 0,0091(DAP) + 0,4886, r^2 = 0,97$$

TABELA 4.10.- VALORES DIÁRIOS MÉDIOS, PARA PERÍODOS SEMANAIS, DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA (ETc), DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ETo) E DO COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc) DA VIDEIRA VARIEDADE ITÁLIA, NA REGIÃO DO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO.

Períodos	ETr (mm/dia)	ETo (mm/dia)	Kc	DAP
07/05/96 a 12/05/96	2,81	4,52	0,62	18
13 a 19/05/96	2,72	4,06	0,67	25
20 a 26/05/96	3,92	5,60	0,70	32
27 a 02/06/96	2,81	3,96	0,71	39
03 a 09/06/96	3,70	5,14	0,72	46
10 a 16/06/96	3,68	5,04	0,73	53
17 a 23/06/96	3,93	5,31	0,74	60
24 a 30/06/96	3,86	5,35	0,72	67
01 a 07/07/96	4,33	6,22	0,70	74
08 a 14/07/96	4,14	6,12	0,68	81
15 a 21/07/96	3,62	5,67	0,64	88
22 a 28/07/96	3,02	5,36	0,56	95
29 a 04/08/96	2,96	5,73	0,52	102
05 a 11/08/96	2,85	5,75	0,50	109
Total	332,80mm	507,1mm	0,65	-

4.9 - Rendimento

Segundo Doorenbos e Kassam (1979) o rendimento da videira varia de um ano para outro e de uma planta para outra. O nível máximo de rendimento depende da variedade e do ambiente em que se desenvolve. Nas zonas tropicais, em sistema de produção para fins de comercialização, são considerados bons os rendimentos da ordem de 5 a 10 t/ha. Na Tabela 4.11

são apresentados os dados da produção de frutos da videira variedade Itália, em Kg/planta e em t/ha. Esses resultados evidenciam uma excelente produção, comparando-os àqueles sugeridos por Doorenbos e Kassam (1979).

**TABELA 4.11 - DADOS DA PRODUÇÃO DE FRUTOS DA VIDEIRA
VARIEDADE ITÁLIA EM kg/planta E EM t/ha**

Videira (planta)	Produção (Kg/planta)	Produção (t/ha)
I	13,63	17,03
II	11,38	14,23
III	14,38	17,98
IV	11,25	14,06
V	9,88	12,35
Média	12,10	15,13

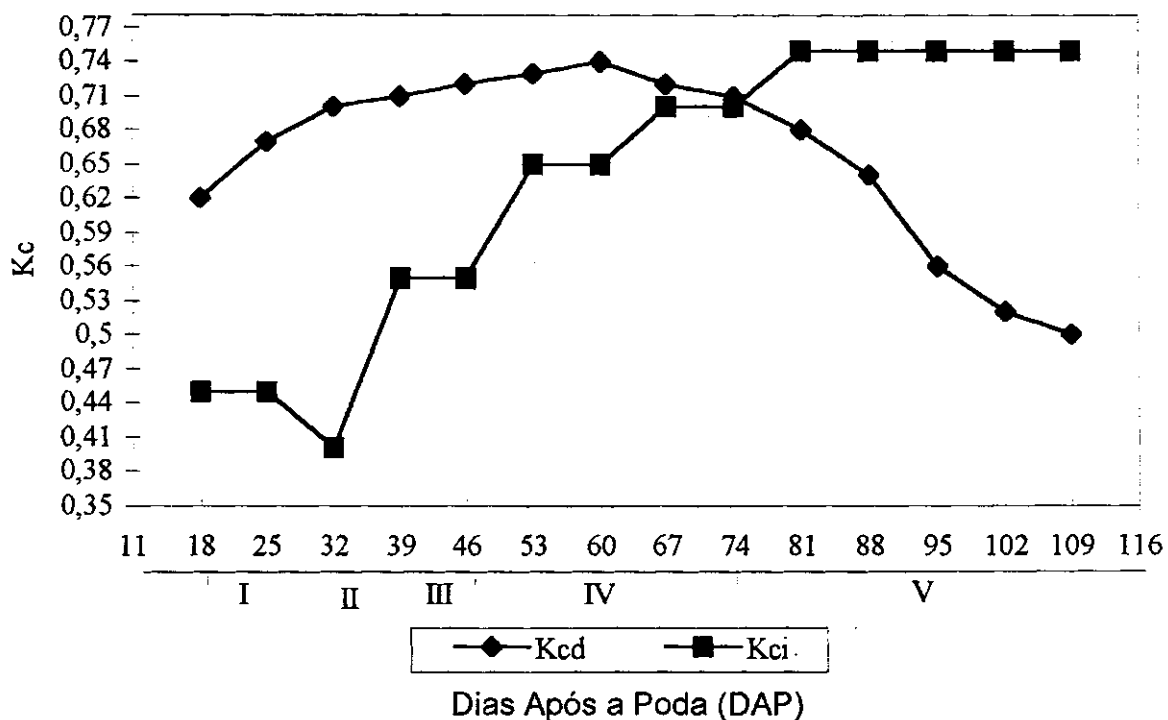


Figura 4.8 - Variação dos valores do Kc, obtidos neste pesquisa (Kcd) e utilizados no cálculo da irrigação (Kci), ao longo do ciclo vegetativo da videira variedade Itália, na região do submédio São Francisco.

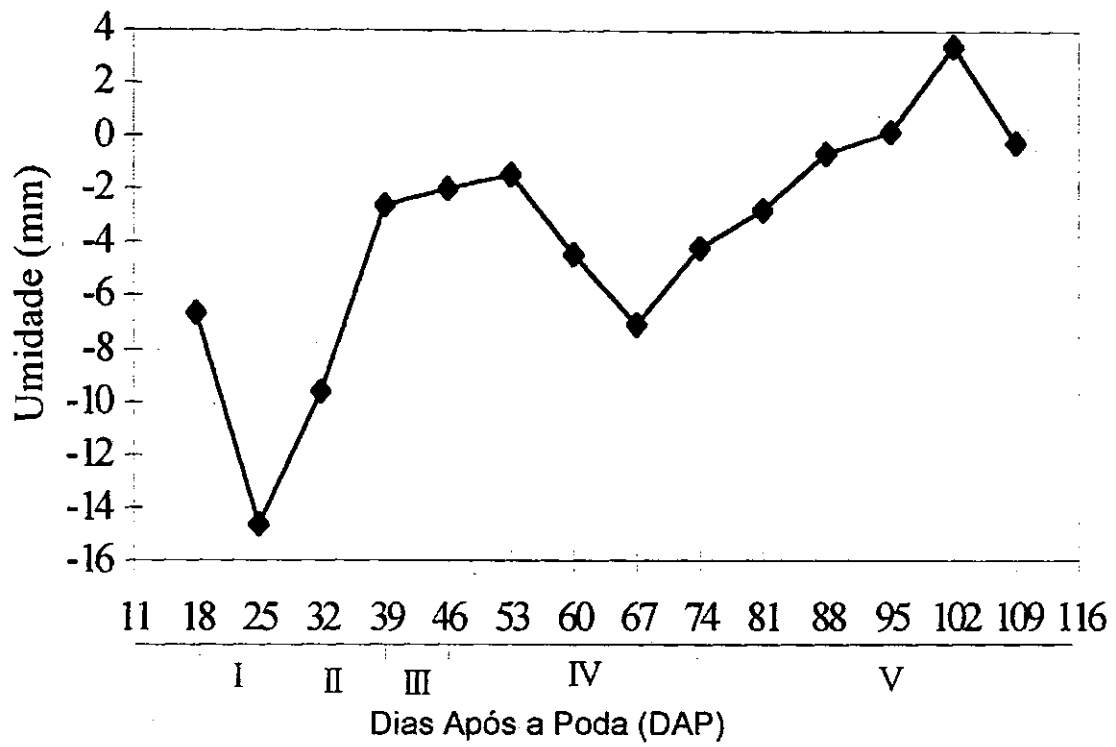


Figura 4.10 - Variação dos valores semanais da umidade do solo, ao longo do ciclo vegetativo da videira variedade Itália, na região do submédio São Francisco.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Após a análise dos dados e resultados alcançados para as condições em que foi realizado o experimento, foi possível chegar às seguintes conclusões e recomendações:

- 1 - Os valores máximos de índice de área foliar da videira variedade Itália ocorrem no estágio de desenvolvimento da baga;
- 2 - A determinação da componente da drenagem profunda indicou uma contribuição, por fluxo capilar, do lençol freático para a zona radicular, nos subperíodos de chumbinho e desenvolvimento da baga;
- 3 - A proporção do saldo de radiação usada como fluxo de calor latente atingiu valores superiores a 80% da energia disponível no período de maior área foliar e ausência de advecção;
- 4 - Não evidenciou-se a transferência de energia do meio para o sistema com exceção do dia 10/06/96, quando a razão de Bowen, $\beta = H/LE$, assumiu

valores negativos, havendo portanto uma transferência de calor sensível do ar mais quente para a superfície mais fria;

- 5 - O método do balanço de água no solo mostrou-se mais consistente na determinação da evapotranspiração da videira variedade Itália em comparação com o método do balanço de energia baseado na razão de Bowen;
- 6 - O coeficiente de cultura (K_c), obtido para a videira variedade Itália cultivada na região de Petrolina-PE, apresentou a mesma ordem de grandeza dos valores recomendados pela FAO. Já, em relação aos coeficientes utilizados no cálculo da irrigação o K_c foi superior no subperíodo de desenvolvimento da baga e inferior ao subperíodo de maturação.
- 7 - Recomenda-se estudos de advecção no perímetro irrigado de Bebedouro e do comportamento do balanço de energia sobre e abaixo da latada em pomares de videira na região do submédio São Francisco, haja visto que, em condições de completo desenvolvimento da videira, forma-se um microclima abaixo da latada o que difere das condições climáticas sobre a cultura.
- 8 - Recomenda-se a repetição da presente pesquisa, utilizando-se para medir a evapotranspiração da cultura lisímetros e outros métodos de estimativa da evapotranspiração de referência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, V. C.; LIMA, V.M. Determinação da evapotranspiração de referência para a região de Presidente Prudente, para o ano de 1990. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 9., Campina Grande. **Anais...**, p. 85 - 87, 1995.
- ANGUS. Y WATTS. Evapotranspiration. How good is the radio method?. **Agric. Water.Manag.** v. 8. p. 133 - 150, 1984.
- ANNANDALE, J. G.; STOCKLE, C.O. Fluctuation of crop evaporation coefficients with weather: A sensitivity analysis. **Irrigation Science.**, v.15, p. 1 - 7, 1994.
- ASSIS, F.N.de. Validação da equação de Penman-Monteith para estimar a evapotranspiração de referência em condições brasileiras. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 9. Campina Grande. **Anais...**, p. 63 - 64, 1995.
- AZEVEDO, C. de . e SOUZA, I. F. de. Balanço de energia em cultivo de feijoeiro macassar. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia,7 , **Anais....**, Viçosa, SBA, p. 164 - 167,1991.
- AZEVEDO, P.V.de; RAMANA RAO, T.V;AMORIM NETO, M; PEREIRA; J. R. O; SOBRINHO; J. E e MACIEL, G. F. Necessidades hídricas da cultura do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 7, p. 863 - 870, jul.1993.

- BELTRAMIN, C. A. R. **Balance hídrico en viñas de secano de la Provincia de Nuble, sometidas a dos sistemas de manejo**: Chile, Universidad de Concepcion. Tese de magister, 65 p,1975.
- BERGAMASCHI, H. Desenvolvimento do déficit hídrico em culturas. In : BERGAMASCHI, H. (coord.). **Agrometeorologia aplicada a irrigação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS. Cap.2, p. 25 - 47, 1992.
- BERGAMASCHI, H; OMETTO, J.C; VIEIRA, H.J; ANGELOCCI, L.R; LIBARDI, P.L. Deficiência hídrica em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n.7, p. 45 - 75, jul. 1988.
- BERLATO, M.A e MOLION, L. C.B. . Evaporação e evapotranspiração. **IPAGRO**, (IPAGRO boletim técnico,07),95 p, 1981.
- BRUN, L. J. ; ENZ, J. W. e LARSEN, J. B. M. Evolution of energy balance and water use by spring wheat during a normal and dry season. **Agric. For. Meteorol.**,v. 35. p.103 - 111, 1995.
- BRUNINI, O. Consumo hídrico e parâmetros ecológicos da cultura do milho. In: **SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA**, Campinas. **Anais...**, Campinas: Fundação Cargil, p. 93 - 122. 1995
- BURDINE, N. T. Relative permeability calculations from poresize distribution data. **Trans. Am. Inst. Min. Metall. Pet. Eng.** v. 198, p 71 - 77, 1953.
- CAMARGO, A.P. de; GROHMANN, F.; CAMARGO, M.B.P.de. Tensiômetro simples de leitura direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v12, n.17, p. 1764 - 1772,1982.
- CARAMORI, P.H e ARITA, C.A. Evapotranspiração potencial no estado do Paraná segundo o método de Penman. **IAPAR**, 1988. 44 p. (IAPAR Boletim Técnico,25)

- CERDAN, C; SANTIER, D; BENTZEN, M. C.P et al. O agronegócio da uva no Submédio São Francisco. **Relatório de pesquisa**, Convênio Sudene, agosto 1997.
- CHOUDHURY, E. N e MILLAR, A.A. Retenção e movimento de água em latossolo vermelho-amarelo irrigado de Petrolina (PE). **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 7: p. 21 - 26. 1983.
- CHANG, J. **Climate and agriculture; an ecological survey**. Chicago, Aladine.. 304p., 1968.
- CHAVES, J.G; LEOPOLDO, P.R e RIBEIRO, J.B.M. Evapotranspiração potencial estimada para a cultura do feijoeiro (*Phaseolus Vulgaris* L.) em Botucatu/SP. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 10, Piracicaba,1997. **Anais...**, Piracicaba, p. 692 - 694. 1997.
- COSTA, J. de P.R da. **Comportamento fisiológico e consumo hídrico da cultura de soja (*Glycine max* (L) Merrill) irrigada nas condições semi-áridas do Nordeste brasileiro**.Campina Grande - PB, UFPB-CCT, 1989. 111p.Tese de Mestrado.
- COSTA, J.de P.R.da; AZEVEDO, P.V.de e LEITÃO, M.de M. V. B. R. Comportamento estacional do coeficiente de cultivo em cultura de soja irrigado. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. **Anais...**, Maceió - Al., p. 283 - 291. 1989.
- CUNHA, G. R.da, BERGAMASCHI, H; BERLATO, M.A e MATZENAUER. R. Balanço de energia em cultura de milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 1 - 14, 1996.
- DARCY, H. Les fontaines publique de la Ville de Dijon. Victor Dalmont, Paris. 592 p.,1856.
- DOORENBOS, J.; KASSAM;A H.. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Roma, 1979. 306p. (Irrigação e drenagem, 33).

- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Roma, 1977. 144p (Irrigação e drenagem, 24).
- ENCARNAÇÃO, C. R.F. Exigências hídricas e coeficientes culturais da batata (*Solanum tuberosum*, L). In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, V. **Coletânea de trabalhos**. Belém-PA. p.143 - 153, 1987.
- EMPRESA CATARINENSE DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Zoneamento Agroclimático do estado de Santa Catarina**. Porto Alegre; Ed. Palloti, 150p. 1978.
- FONTANA, D.C. Determinação da evapotranspiração. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia Aplicada à Irrigação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade / UFRGS. 1992. Cap 4, p.48-61.
- FUCHS, M. e TANNER, C.B. **Error analysis of Bowen ratio measured by differential psychrometry**. Agric. Meteorol. 7: p.329 - 334, 1970.
- GALVANI, E, DANTAS, R. T, ESCOBEDO, J. F, GUANDIQUE, M. E. G. Balanço de energia em cultura de alface (*Lactuca sativa*, L.) em condições de estufa com orientações leste - oeste e norte - sul. In: Congresso de Agrometeorologia, X. **Anais...**, Piracicaba - SP, 1997, p. 500 - 502.
- GANGOPADHYAYA, M. et al. **Measurement and estimation of evaporation**. Geneva, WMO. (Technical note,83)
- GONÇALVES, J. S.; AMARO, A. A.;MAIA, M. L.; SOUZA, S. A. M. Estrutura de produto e de mercado da uva de mesa brasileira. **Agricultura em São Paulo**, v.43, n.1, p. 43 - 93, 1996.
- GREEN, R. E. e COREY, J. C. Calculation of hydraulic conductivity: A further evaluation of some predictive methods. **Soil Sci. Soc. Am.J.v.** 35, p. 3 - 7,1971.
- GUANDIQUE, M. E. G, VILLA NOVA, N. A. e LIBARDI, P.L. Determinação da evapotranspiração e do coeficiente de cultura (Kc) para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*. L.) Irrigado através de vários métodos. In: Congresso

- Brasileiro de Agrometeorologia, 10,. **Anais.....**, Piracicaba, p 612 - 619, 1997.
- HARGREAVES, G.H. **Climate Zonning for agricultural production in Northeast, Brasil**. Logan, Utah State university, 6 p., 1974.
- HILLEL, D. **Soil and water. Physical Principles and Processes**. New . York Academic Press, 288 p. 1971.
- HILLEL, D.; KRENTOS, V.D.;STILIANOU,Y. Procedure and test of an internal drainage method for measuring soil hydraulic conductivity. **Soil Science**. v. 114. p. 395 - 400,1972.
- JAGTAP, S. S. e JONES, J. W.. Stability of crop coefficients under different climat and irrigation management practices. **Irrigation. Scienci**, v.10, p. 231 - 44, 1989.
- KANEMASU, E.T., e ARKIN, G.F. Radiant energy and light environment of crops. **Agriculture. Meteorology**. v. 14, p. 211 - 225, 1974.
- KLAR, A. E.e VALADÃO, L. A Coeficientes de cultura para dez estágios de desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.).In: Congresso Nacinal de irrigação e drenagem. **Anais...**, p 43 - 55, 1996.
- KLAUS, R. **Água na produção agrícola**. p. 51-65, 1978.
- KLAUS, R. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Fundação Cargil.466 p.1895.
- KLAUS, R. **Controle de irrigação do milho**. Fundação Cargil. Folheto. 20 p. 1993.
- LEITÃO, M. de. M. V. B. **Balanço de radiação e energia numa cultura de soja irrigada..** Campina Grande - PB, UFPB-CCT, 109 p.Tese de Mestrado. 1989.

- LIBARDI, P. L e SAAO, A. M.. Balanço hídrico em cultura de feijão irrigado por pivô central em latossolo roxo. **Revista brasileira de ciência do solo**. Campinas, v. 18, p: 529 - 532, 1994.
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Depto. de física e meteorologia (ESALQ/USP). 1ª edição, Piracicaba, SP, p. 359 - 430, 1995.
- LIUNI, C.S. Table grape production in Italy. In: International Symposium on table GRAPE PRODUCTION, 1994, Anaheim, California-USA. . **Proceedings...** DAVIS: American Society for Enologia and Viticulture/University of California, p. 18 - 21, 1994.
- MATZENAUER, R. Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficientes de cultura. In: BERGAMASCHI, H. (coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS, 1992. Cap 3, p. 33 - 47.(UFRGS.Nova Série. Livro texto, 17).
- MEDEIROS, H. T. de. **Função de produção de nitrogênio e água na cultura de milho irrigado no município de SEMÉ-PB**. Tese de mestrado. Campina Grande-PB, 1989. 92p
- MILLAR, A. A; CHOUDHURY, E. N e ABREU, T. A. Determinação da evapotranspiração em tomate industrial através do balanço completo de água sob diferentes regimes de irrigação.In: **Congresso de irrigação e drenagem**, Salvador-BA. **Anais...**, . p. 02 - 20, 1978.
- MONTEITH, J. L. Evaporation and environment. **Proceedings of the symposium society experimental biology**, v. 19, p. 205 - 234, 1965.
- MOREIRA, H.J. da. **Sistema agroclimatológico para o comportamento das culturas irrigadas**: Manual prático para as culturas de irrigação. Brasília: NAARA-SENIR.1992, 86p.
- MOTA, F. S .da;BEIRSDORF, M. I. C.; ACOSTA, M. J. C.;et al. Zoneamento climático do Rio Grande do Sul para a videira européia. In.: **CONFERÊNCIA**

- LATINO AMERICANA DEL VINO Y LA UVA, 6, Caxias do Sul, RS. **Ata das reuniões...**, Porto Alegre,RS, OLAVU, 1974, (n.p.).
- MUALEM, Y. **A catalogue of the hydraulic properties of unsaturated soil**. Res. Proj.442. Technion. Israel Inst.of Technol., Haifa, Israel, 1976.
- OMETTO, J. C.. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: Ed. Agrônoma Seres, 220p, 1981.
- PENMAN, H. L. **Natural evaporation from open water, bare soil and grass**. Proc. Roy. Soc. London, 193: 120-145, 1948.
- PEREIRA. A. R; FERRAZ. E. S. B; REICHARDT. K E LIBARDI. P. L. Estimativa da evapotranspiração e da drenagem profunda em cafezais cultivados em solos produzidos (Lins e Marília). In: **Reunião latina-americana de fitotecnia (ALAF)**,Paraná. v. 9, p. 01 - 13, 1974.
- PEREIRA, A.R; VILLA NOVA, N. A e SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FESALQ, 183 p.:il.1997.
- PERRIER, A.Updated evapotranspiration and crop water requeriment definitions; for de ICID multilingual dictionari (may 1948). In: **Les Besoins des cultures; crop requeriments**. Conference international. Paris, 11-14 sept.1984. Paris INPA. p. 885-7, 1985.
- PEREIRA, A. B; PEDRAS, J.F; VILA NOVA, N.A e CURY,D.M. Consumo de água e coeficiente de cultura da batata (*Solanum tuberosum*.L. cv. Itararé) em plantas de inverno no município de Botucatu-SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria -RS. v. 3. p. 59 - 62, 1994.
- REEDY, S. J. e AMORIM NETO, M. da S. **Dados de precipitação , evapotranspiração potencial, radiação solar global de alguns locais e classificação climática do Nordeste do Brasil**. Petrolina-PE, EMBRAPA/CPATSA, 280 p., 1993.

- RITCHIE, J. T e JONHSON, B. S. Soil e plant factors affeting evaporation. In: STEWART, B. A., NIELSEN, D.R. (Ed) : **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASA, 1990, Cap 13, p. 363 - 390, 1990.
- ROMANELLA, C. A.. **El riego de la vid**. Petrolina, PE / Juazeiro, BA, 1974, 18p (Trabalho apresentado no Curso de Produção de Hortaliças e frutos sob Irrigação).
- ROSE, C. W., STERN, W. R e DRUMMOND, J. E. Determination of hydraulic conductivity as a function of depth and water content for soil. **Aust. J. Soil. Res.** v. 3, p. 1 - 9, 1965.
- ROSENBERG, N. J; BLAD, B. L; VERMA, S. B.. **Microclimate: The biological environment**. New York, John Wiley & Sons.,1983, 495p.
- SEDIYAMA, G.C. **A versão /proposta para o conceito de evapotranspiração de referência**. Campina Grande-PB, 1995, .40p.
- SELLERS, W. D. **Physical climatology**. 3.ed. Chicago, University of Chicago Press, 271p. 1969.
- SLABBERS, P. J. Surface roughness of crops and potential evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, v.34, p. 181-191,.1977.
- SOARES, J. M.; BASSOI, L. H. Distribuição do sistema radicular de videiras em vertisolo sob irrigação localizada. **Congresso Brasileiro de Ciências do Solo**, XXV.Viçosa. Junho de 1995.
- SOBRINHO, J., E. ; MEDINA; B. F. E NETO MAIA, J.M. Determinação de campo da evapotranspiração e dos coeficientes de cultivo para caupi e milho. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. **Anais....**, Maceió. p295-312. 1989.
- TANNER, C. B. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v. 24, n. 1, p. 1 - 9, 1960.

- TEIXEIRA, A. H. de C. e AZEVEDO, P.V. de.. Zoneamento agroclimático para a videira européia no estado de Pernambuco. Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v.4., n.1, p.139-145, 1996.
- TIMM, L. C. **Avaliação de alguns modelos matemáticos para a determinação da condutividade hidráulica de solos não-saturados**. Viçosa. 74p. Tese de Mestrado. 1994.
- THOM, A. S. e OLIVER, H. R. On Penman's equation for estimating regional evaporation. **Quart J.R. Meteorol. Soc.**, v.103, p.345-357, 1977.
- THORNTHWAITE, C. W.; HOLZMAN B. Measurement of evaporation from land and water surfaces. **USDA Teach. Bull.** v. 817, p. 1 - 75, 1942.
- VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Sci.Am. J.** v. 44. p. 898 - 982, 1980.
- VIANELLO, R. L e ALVES, A.R.. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Viçosa, UFV, Imp. Univ.,449 p., 1991.
- WEAVER, R. J. Vini structure. In: Weaver, R. J. **Grape growing**. New York: John Wiley, 1976, Cap.2, p. 10-22.
- WINKLER, A. J. et al. **General Viticulture**. 2d. Ed. Berkeley: University of California Press, 1974.710p.il.
- WRIGHT, J.L. New evapotranspiration crop coefficients. **Journal of the irrigation and drainage division**, v.108, n.IR2, p.57 - 74,1982.
- YATES, S. R.; VAN GENUCHTEN, M. Th.; WARRICK, A. W. E LEIJ, F.J. Using the analysis of measured, predicted and estimated hydraulic conductivity RETC computer program. **Soil Sci.Soc.Am.J.** v.56. p.347 - 354, 1992.

APÊNDICE

TABELA A1 - VALORES DA CURVA CARACTERÍSTICA DA UMIDADE DO SOLO UTILIZANDO DADOS DO CAMPO

Profundidade	Ponto matricial						
	0	100	330	1000	5000	10000	15000
0-20	0,410	0,264	0,124	0,086	0,073	0,070	0,059
20-40	0,390	0,270	0,128	0,088	0,085	0,074	0,068
40-60	0,388	0,314	0,169	0,116	0,110	0,096	0,094
60-80	0,407	0,331	0,194	0,119	0,111	0,108	0,105
80-100	0,415	0,323	0,189	0,125	0,117	0,111	0,107
100-120	0,387	0,329	0,207	0,136	0,114	0,109	0,102

TABELA A2 - VALORES DA CURVA CARACTERÍSTICA DETERMINADA POR VAN GENUCHTEN PARA A PROFUNDIDADE DE 100-120 cm.

Ponto matricial	θ observado	θ calculado
0	0,387	0,387
100	0,329	0,329
330	0,207	0,207
1000	0,136	0,138
5000	0,114	0,109
10000	0,109	0,106
15000	0,102	0,104

**TABELA A3 - COEFICIENTE DE CULTURA RECOMENDADO POR
DOORENBOS E PRUITT (1977).**

Mês	Coeficientes de cultura (Kc)
Março	0,25
Abril	0,45
Maio	0,6 - 0,65
Junho	0,7 - 0,75
Julho	0,7 - 0,75
Agosto	0,6 - 0,7
Setembro	0,55
Outubro	0,45
Novembro	0,35

Estes coeficientes servem para videiras maduras cultivadas em zonas quentes e secas com inverno suave, primeiras folhas no final de fevereiro para início de março, colheita no final de julho, cobertura do solo de 30 - 35% na fase intermediária.

TABELA A4.- DURAÇÃO DOS SUBPERÍODOS FENOLÓGICOS

Subperíodos	Duração
Brotação	24/04/96 a 23/05/96
Floração	24/05/96 a 31/05/96
Chumbinho	01/06/96 a 08/06/96
Desenvolvimento da baga	09/06/96 a 04/07/96
Maturação	05/07/96 a colheita

**TABELA A5 - IRRIGAÇÃO (I) APLICADA POR SEMANA,
 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO TANQUE(ETt), COEFICIENTE DE CULTIVO E
 LÂMINA BRUTA(Lb), $K_p = 0,75$ e $E_i = 0,90$.**

Período	ETt(mm)	Kc	Lb(mm)	I(mm)
07/05/96 a 12/05/96	5,40	0,45	2,03	10,13
13 a 19/05/96	5,44	0,45	2,04	12,24
20 a 26/05/96	6,54	0,40	2,18	16,20
27 a 02/06/96	5,46	0,55	2,50	15,00
03 a 09/06/96	5,81	0,55	2,40	15,98
10 a 16/06/96	5,07	0,65	2,75	16,50
17 a 23/06/96	5,33	0,65	2,89	17,34
24 a 30/06/96	5,16	0,70	3,01	18,06
01 a 07/07/96	6,28	0,70	3,66	21,98
08 a 14/07/96	6,45	0,75	4,03	24,18
15 a 21/07/96	7,32	0,75	4,58	27,48
22 a 28/07/96	6,09	0,75	3,81	22,86
29 a 04/08/96	7,00	0,75	4,38	26,28
05 a 11/08/96	7,34	0,75	4,61	27,66