

COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DE
DOIS TIPOS DE LISÍMETRO NA
DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPI-
RAÇÃO MÁXIMA DA CULTURA DA
ERVILHA (Pisum sativum L.).

ROBERTO FERNANDO ROSA CRUZ
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof.Dr.LUIZ ROBERTO ANGELOCCI

Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia, Área de con-
centração: Agrometeorologia.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Julho - 1995

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Luiz Roberto Angelocci pela orientação deste trabalho e incentivo pessoal.

A todos os professores do Departamento de Física e Meteorologia pelos ensinamentos e contribuições prestadas a este trabalho.

Ao professor Keigo Minami pela concessão da área experimental do Departamento de Horticultura e ao apoio na condução geral do trabalho, bem como aos funcionários da horta pelos serviços prestados.

Aos colegas de curso e funcionários do Departamento de Física e Meteorologia pela amizade e dedicação.

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vi
RESUMO.....	vii
SUMMARY.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Evapotranspiração.....	3
2.2. Consumo de água da ervilha.....	5
2.3. Determinação da evapotranspiração.....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1. Caracterização da área experimental.....	11
3.2. Solo.....	11
3.3. Clima.....	12
3.4. Cultura.....	12
3.5. Instalação e condução do experimento.....	13
3.6. Lisímetros de lençol freático constante..	15
3.7. Lisímetros de drenagem.....	18
3.8. Medidas meteorológicas.....	20
3.9. Determinação da Evapotranspiração de refe- rência - ETo.....	21
3.9.1. Método do tanque classe A.....	21
3.9.2. Método de Penman.....	21

	Página
3.10. Parâmetros biométricos e fenológicos.....	22
3.11. Produção e produtividade.....	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4.1. Produção e rendimento da cultura.....	24
4.2. Evapotranspiração máxima.....	25
4.3. Evapotranspiração de referência.....	37
4.4. Coeficiente cultural.....	41
5. CONCLUSÕES.....	45
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
7. APÊNDICE.....	53

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 01 - Croquis da área experimental.....	14
FIGURA 02 - Detalhes do lisímetro de lençol freático constante.....	16
FIGURA 03 - Detalhes do lisímetro de drenagem.....	19
FIGURA 04 - Reta de regressão da ETM para os dois tipos de lisímetro.....	27
FIGURA 05 - ETM medida em dois tipos de lisímetro e ETo para onze sub-períodos.....	29
FIGURA 06 - Perfis de umidade nos lisímetros de drenagem E5 e E6.....	33
FIGURA 07 - Perfis de umidade nos lisímetros de lençol freático constante E1 e E2.....	36
FIGURA 08 - ETo segundo três métodos de estimativa para onze sub-períodos.....	40

LISTA DE TABELAS

	página
TABELA 01 - Análise granulométrica e de densidade de partículas do solo da área experimental..	11
TABELA 02 - Dados de produtividade, densidade de plantas produção por planta e n° de vagens por planta nos dois tipos de lisímetro e numa parcela da bordadura com ervilha....	24
TABELA 03 - Valores de ETM total e média diária medidos em 2 tipos de lisímetro para 11 sub-períodos de duração variável.....	26
TABELA 04 - Estimativas de ETo por 3 métodos para 11 sub-períodos ao longo do ciclo da cultura.....	38
TABELA 05 Coeficientes culturais obtidos segundo 2 fontes de ETM e 3 estimativas de ETo para 4 estádios de desenvolvimento da cultura.....	42
TABELA 06 - Dados do posto meteorológico da Esalq - ano 1992.....	54

COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DE DOIS TIPOS DE LISÍMETRO NA DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA DA CULTURA DA ERVILHA (Pisum sativum L.).

Autor: Roberto Fernando Rosa Cruz

Orientador: Prof. Dr. Luiz Roberto Angelocci

RESUMO

Foi determinada a evapotranspiração máxima (ETM) da cultura da ervilha (Pisum sativum L.) variedade Mikado, durante os meses de agosto, setembro e outubro de 1992 em Piracicaba, SP. Foram utilizados 3 lisímetros de lençol freático constante e 3 de drenagem, permitindo a comparação do comportamento de cada tipo dele. Obteve-se para o lisímetro de drenagem um consumo hídrico de 261,7 mm contra 212,8 mm no lisímetro de lençol freático constante, para o mesmo período de medida, correspondente ao ciclo da cultura desde a emergência até a maturação.

O lisímetro de drenagem mostrou sempre valores maiores de evapotranspiração ao longo do período de medida, mas não houve diferença significativa entre a produtividade

nos dois tipos de lisímetro, bem como quando comparou-se com a produtividade da cultura na bordadura, indicando não ter ocorrido deficiência hídrica. Houve evidências de que no lisímetro de lençol freático, o mesmo não supriu adequadamente a demanda hídrica, mas a evapotranspiração máxima pode ter ocorrido às custas da diminuição do armazenamento de água do solo, que não foi contabilizada, levando assim a valores medidos de ETM subestimados; por outro lado, o lisímetro de drenagem pode ter acumulado água nas camadas mais profundas, o que pode ter levado a superestimativas da ETM. Essas hipóteses necessitam ser comprovadas. Foram determinados valores de coeficientes culturais (K_c) para os diferentes períodos de medida, a partir dos valores de ETM e da estimativa da evapotranspiração de referência (E_{To}) a partir dos métodos de Thornthwaite, do tanque classe A e de Penman, sendo os valores de K_c dependentes então do método usado na estimativa de E_{To} . O método do tanque classe A mostrou valores superiores aos obtidos pelos outros métodos em todos os períodos. Em geral, os valores de K_c obtidos a partir de qualquer método de estimativa de E_{To} foram superiores aos indicados pela FAO, com exceção daqueles obtidos pelo uso da ETM medida pelo lisímetro de lençol freático e E_{To} estimada pelo tanque classe A.

**PERFORMANCE COMPARISON OF TWO
TYPES OF LYSIMETER IN DETER-
MINING THE MAXIMUM EVAPO-
TRANSPIRATION OF PEA CROP (Pi-
sum sativum L.) .**

Author: ROBERTO FERNANDO ROSA CRUZ

Adviser: PROF. DR. LUIZ ROBERTO ANGELOCCI

SUMMARY

Values of maximum evapotranspiration (ETM) of pea crop (Pisum sativum L.), cv. Mikado were obtained during the months of August, September and October 1992, at Piracicaba, São Paulo state, Brazil, using two types of lysimeters: drainage lysimeter and compensation lysimeter with constant groundwater table. The drainage lysimeters gave consistently bigger values than compensation lysimeters, but the yields were high in both conditions and did not differ substantially, indicating that there was no water deficit in both types.

However there was evidence that the compensation lysimeters did not supply adequately the water demand, also occurring evapotranspiration by the lowering of the water storage in the soil and giving subestimated measurements of ETM. Otherwise, the drainage lysimeter probably accumulated water in the deeper depths, than resulting in larger measured values of ETM than the actual ones.

The crop coefficients were determined for each period from the values of ETM and the values of reference evapotranspiration (ET_o) estimated by the Thornthwaite's, class A evaporation pan and Penman's methods. The class A evaporation pan gave the biggest K_c values during all periods. Generally, values of K_c obtained from any of these methods to estimate ET_o were bigger than the proposed by FAO, except those obtained by ETM values measured by the compensation lysimeters and ET_o estimated by the class A evaporation pan.

1 - INTRODUÇÃO

A utilização cada vez maior da irrigação para viabilizar e otimizar produções agrícolas em todo o mundo e particularmente no Brasil, levou a um aumento na procura por conhecimentos agroclimatológicos de diversas culturas. A ciência da irrigação evoluiu rapidamente nas últimas décadas, produzindo equipamentos sofisticados e eficientes, e exigindo da pesquisa agrônoma um acompanhamento de igual ou maior importância em estudos hidrológicos de culturas irrigadas para o correto dimensionamento de sistemas de irrigação.

Alguns dos melhores trabalhos de pesquisadores estrangeiros nesta área, foram testados e adaptados por instituições brasileiras de pesquisa em nossas condições, mas ainda existe uma grande necessidade de informações sobre o consumo de água de diversas culturas a nível regional, dado a grande diversidade de solo, clima, espécies vegetais e variedades encontradas em nosso país.

A utilização de lisímetros ainda é o método de campo mais indicado para a determinação do consumo hídrico de culturas anuais e semi-perenes por reunir praticidade e baixo custo, com razoável precisão.

Os lisímetros que não se utilizam do princípio de pesagem, reúnem as qualidades acima citadas e por isso são os

mais utilizados no mundo todo, fornecendo dados imprescindíveis para os projetos de irrigação. No Brasil, a grande maioria dos trabalhos de pesquisa empregou dois tipos de lisímetros: de drenagem livre e de lençol freático constante ou de compensação. Ambos foram e continuam sendo utilizados em estudos de evapotranspiração potencial e evapotranspiração máxima de culturas, com bom desempenho relatado pelos autores.

Cada tipo de lisímetro tem seus problemas operacionais, que causam erros nas medidas, além de diferentes dificuldades de operação. Medidas de evapotranspiração podem apresentar diferenças devido aos tipos de lisímetros, mas a utilização deles tem sido feita de forma individualizada, sem preocupação em comparar o desempenho dos dois equipamentos a nível de campo, nas mesmas condições experimentais.

Procurou-se, neste trabalho, comparar o desempenho de dois tipos de lisímetros (de drenagem livre e de compensação). Para isso utilizou-se a cultura da ervilha como forma de suprir as pouquíssimas informações existentes sobre a mesma no tocante ao consumo de água e manejo de irrigação nas diferentes condições agro-climáticas em que é cultivada no Brasil.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - Evapotranspiração

Evapotranspiração é o termo que define a perda de água por evaporação e transpiração, conjuntamente, numa superfície vegetada. Thornthwaite (1948) foi o primeiro a introduzir o termo, definindo a evapotranspiração potencial (ETP) como a perda de água de uma superfície totalmente coberta por vegetação em fase de crescimento ativo, sem restrição hídrica e com dimensões suficientes para evitar o efeito de advecção.

Penman (1956) definiu a evapotranspiração potencial como a quantidade de água perdida para a atmosfera, na unidade de tempo, por uma cultura de porte baixo e altura uniforme, cobrindo totalmente o solo, em pleno desenvolvimento vegetativo e sem restrição de água no solo.

Jensen (1969) sugeriu que se adotasse a alfafa como cultura de referência com altura entre 30 e 50 cm porque ela representava melhor os valores de evapotranspiração das principais culturas nas condições áridas do local.

Doorenbos e Pruitt (1977), na intenção de aperfeiçoar o

conceito de evapotranspiração propuseram que a perda d'água para a atmosfera de uma superfície totalmente vegetada com grama, de 8 a 15 cm de altura, em fase de desenvolvimento ativo e com o solo com teor de umidade próximo à capacidade de campo, seria denominada de evapotranspiração de referência. Se a superfície vegetada for uma cultura qualquer, sem restrições hídricas, então é denominada de evapotranspiração máxima (ETM) e, ainda, se a superfície vegetada for uma cultura qualquer com ou sem restrição hídrica em qualquer fase de desenvolvimento é denominada evapotranspiração real (ETR).

A evapotranspiração é função das condições meteorológicas, da planta e da disponibilidade de água no solo. No caso da evapotranspiração potencial, Penman(1956) cita que para uma completa cobertura do solo com plantas da mesma cor, ou com o mesmo coeficiente de reflexão, a taxa de evapotranspiração potencial independe da planta ou do tipo de solo.

Os parâmetros meteorológicos que influenciam a evapotranspiração são a radiação, o vento, a temperatura e a umidade do ar. A radiação líquida é o fator mais importante, sendo que cerca de 80% desta é utilizada na evapotranspiração em locais onde não há déficit hídrico (Lemon, 1956).

Quando a disponibilidade de água no solo é limitada, começa a existir influencia deste fator na evapotranspiração. Denmead e Shaw (1962) trabalhando com a cultura do milho em Iowa (EUA), mostraram que em condições de baixa demanda atmosférica a evapotranspiração real se mantém próxima da potencial mesmo com teores de umidade abaixo da capacidade de campo; e ao contrário, em

condições de alta demanda atmosférica a ET real é menor que a ET potencial mesmo com água disponível no solo em valores próximos a capacidade de campo.

2.2 - Consumo de água da ervilha

Segundo Berlato e Molion (1981), o conhecimento do consumo de água pelas plantas, total e nas diferentes fases fenológicas, é essencial para se estimar a quantidade de água aplicada na irrigação e para melhorar a eficiência do uso da água de acordo com as exigências da cultura. O consumo de água de uma cultura durante o seu ciclo é normalmente expresso pela taxa de evapotranspiração, determinada para um dado local e época do ano, e usado como ferramenta indispensável para o manejo de irrigação nos cultivos. Doorenbos e Kassam (1979) relatam um consumo de água para a cultura da ervilha, para a produção de grãos secos, de 350 a 500 mm para um ciclo com duração entre 85 e 120 dias. Estes valores são médias obtidas em diversas localidades para variedades distintas.

No Brasil, Minchio e Volpe (1987), trabalhando com ervilha em Jaboticabal (SP), encontraram valores de consumo total de água no ciclo de 343,6 mm para a variedade Mikado e 351,4 mm para a variedade Trioфин, ambas com ciclo de 101 dias. Foram utilizados neste experimento lisímetros de drenagem para a determinação da evapotranspiração máxima, com uma densidade populacional de 100 plantas/m².

Mello (1992), em experimento com variedade de ervilha Majestic cultivada em Campinas (SP), obteve valores médios diários de evapotranspiração real de 3,6 ; 3,8 e 4,3 mm/dia para densidades populacionais de 36, 50 e 146 plantas/m², respectivamente, concluindo que houve aumento na taxa de evapotranspiração com aumento da população de plantas por unidade de área.

Estes valores apresentados variam, como se pode observar, com a época do ano, com o local, com a variedade utilizada e sua densidade populacional e também com o método de determinação da evapotranspiração. Devido a dificuldade em se obter medidas diretas da evapotranspiração em condições de campo, utiliza-se largamente o método da estimativa da evapotranspiração baseada em parâmetros meteorológicos.

Segundo Doorenbos e Pruitt (1977), pode-se relacionar a evapotranspiração de referência (E_{To}), obtida no local desejado, através de dados meteorológicos, com a evapotranspiração máxima da cultura (E_{Tc}), nos seus diferentes estádios fenológicos através de um coeficiente denominado coeficiente de cultura K_c, utilizando a relação $E_{Tc} = K_c \cdot E_{To}$. Ainda, segundo os mesmos autores, o coeficiente de cultura varia conforme o estágio fenológico da cultura e descrevem a divisão das fases de desenvolvimento das culturas em 4 estádios: o primeiro que vai da germinação até 10% da cobertura do solo; o estágio II que vai do final do estágio inicial até o máximo desenvolvimento vegetativo, com 80% do solo coberto pela cultura; o estágio III que compreende o florescimento e formação de frutos até o início da maturação e o estágio IV que vai

até o final da maturação ou colheita.

Doorenbos e Kassam (1979) apresentam valores médios de Kc para a cultura da ervilha, conforme os estádios fenológicos acima descritos, como sendo 0,4 no estágio I ; 0,7 a 0,8 no estágio II; 1,05 a 1,20 no estágio III e 0,65 a 0,75 no estágio IV .

Minchio e Volpe (1987) trabalhando com a cultura da ervilha em Jaboticabal (SP) obtiveram valores de Kc maiores que os sugeridos pela FAO, utilizando a estimativa da evapotranspiração de referência através do tanque classe A.

Mello (1992), utilizando o cálculo de coeficiente de cultura basal, em experimento de campo com ervilha em Campinas (SP) , encontrou valores menores que os sugeridos pela FAO, e ainda que, os coeficientes aumentaram conforme aumentou a densidade populacional.

Nas duas últimas citações, uma conclusão é comum: o valor de Kc é dependente do método de estimativa da evapotranspiração de referência utilizado.

2.3 - Determinação da evapotranspiração

A evapotranspiração pode ser determinada pelos métodos de medida direta ou estimada pelos métodos de medida indireta.

O método de medida direta tem como base o balanço hídrico em um volume de solo conhecido. Segundo van Bavel (1961), a lisimetria é o método que oferece maior nível de precisão para a

determinação direta da evapotranspiração, sendo utilizado como padrão para calibrar outros métodos. Aboukhaled et al. (1982) definiram o lisímetro como grande recipiente preenchido com solo, situado em local representativo do ambiente em estudo, tendo superfície vegetada ou solo nú, para determinação da evapotranspiração de uma cultura em crescimento ou cobertura vegetal de referência ou ainda da evaporação do solo nú.

Os lisímetros podem ainda ser classificados em dois tipos, o primeiro tendo por princípio a pesagem e o segundo em outros princípios que não a pesagem, sendo o primeiro o que apresenta maior precisão apesar do custo do equipamento. O segundo tipo, apresenta baixo custo e facilidade de operação, mas só oferece bons resultados com períodos maiores de medida, como 5 dias ou mais; eles podem, segundo Aboukhaled et al. (1982), ser classificados em dois sub-tipos: o lisímetro de drenagem e o lisímetro de compensação com lençol freático constante.

O do primeiro tipo foi utilizado por Camargo(1966) no estado de São Paulo comparando evapotranspiração potencial medida e estimada pelos métodos de Thornthwaite, Penman-Bavel e Blaney-Criddle, encontrando altas correlações entre os valores medidos e estimados.

Minchio e Volpe (1987) também utilizaram este tipo de lisímetro na determinação da evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura da ervilha para as condições de Jaboticabal - SP.

O lisímetro de lençol freático constante foi utilizado por diversos autores, como Assis (1978) em medidas de

evapotranspiração potencial, Encarnação(1980) em demanda hídrica na cultura do feijão, Barbieri (1981), em consumo de água na cultura da cana-de-acúcar e Moura (1992), na determinação do consumo de água na cultura da cenoura, mostrando em todos os casos, bom desempenho e facilidade de manuseio.

Os métodos de medidas indiretas, fornecem valores de evapotranspiração potencial ou de referência a partir de fórmulas empíricas, fórmulas com base física e evaporímetros.

Entre tantos métodos citados pela literatura, Berlato e Molion (1981) descrevem os seguintes, de base empírica: o de Thornthwaite como função apenas da temperatura, é de fácil aplicação e fornece melhores estimativas para períodos de um mês; o de Blaney e Criddle baseado na temperatura e horas de brilho solar também fornece valores de ETP mensais; o do saldo de radiação, que utiliza apenas o valor da radiação líquida, para períodos acima de um dia; o de Makking que utiliza dados de radiação global e fornece boas estimativas diárias; o de Linacre que utiliza dados geográficos e temperatura do ar na estimativa da ETP diária.

O método combinado desenvolvido por Penman é, sem dúvida o mais utilizado no mundo inteiro; ele combina o balanço de energia com o termo aerodinâmico e utiliza dados de radiação, temperatura, umidade do ar e vento, fornecendo estimativas muito precisas de evapotranspiração para períodos de um dia.

Ortolani et al. (1966) utilizaram este método na estimativa da ETP no Estado de São Paulo, obtendo boa correlação com valores medidos em evapotranspirômetros vegetados com grama.

O método de estimativa da evapotranspiração por evaporímetros é baseada na medida direta da evaporação de água através de tanques ou atmômetros. O tanque classe A é sem dúvida o instrumento de uso mais difundido no Brasil e no mundo, tanto em pesquisas como em aplicações práticas nos projetos de irrigação. A estimativa da evapotranspiração potencial pode ser obtida através de coeficientes de ajuste aplicados aos valores de evaporação obtidos no tanque e calibrados para as condições locais (Doorenbos e Pruitt, 1977).

Coefficientes de tanque classe A (K_p) foram tabelados para diferentes condições de cobertura, umidade relativa e velocidade do vento por Doorenbos e Kassam (1979). Villa Nova (1967) encontrou um valor médio de K_p igual a 0,84 em relação a fórmula de Penman, estudando evapotranspiração potencial para as condições do Estado de São Paulo.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Caracterização da área experimental

O presente estudo foi conduzido na área experimental do Departamento de Horticultura, localizada no Campus da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, no município de Piracicaba, Estado de São Paulo, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 22°42'30"S, longitude 47°30'00"W e altitude de 576 metros.

3.2 - Solo

O solo é classificado como Terra Roxa Estruturada Latossólica correspondente ao Rhodic Kanhapludalf da classificação americana (Vidal Torrado, 1989 citado por Dourado Neto, 1989) e sua textura determinada pela análise granulométrica conforme resultados apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Análise granulométrica e de densidade de partículas do solo da área experimental.

Profundidade cm	ARGILA %	SILTE %	AREIA %	DENSIDADE DE PARTÍCULAS g/cm ³
0 - 15	43,54	22,23	34,32	2,86
15 - 30	55,17	17,51	27,32	2,90
30 - 45	63,27	18,00	18,47	2,95

Fonte: Vieira, (1994)

Com os dados obtidos por Vieira (1994) na mesma área experimental, determinou-se a curva de retenção de umidade característica deste solo, para as profundidades de 0-15cm, 15 a 30cm e 30 a 45cm.

3.3 - Clima

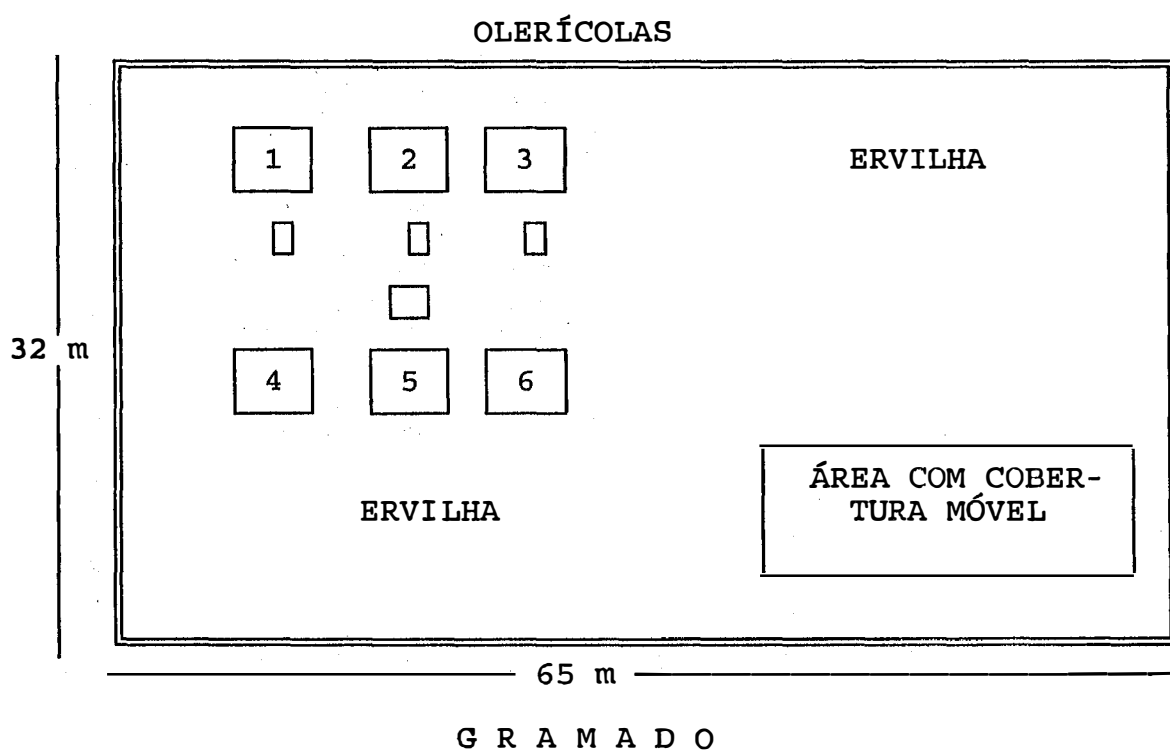
O clima da região é classificado como tipo Cwa (subtropical úmido, com estiagens de inverno), de acordo com a classificação climática de Köppen, denominado também como tropical de altitude por Camargo et al. (1974). A temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente superior a 22°C.

3.4 - Cultura

A cultura utilizada foi a da ervilha (Pisum sativum L.), variedade Mikado, destinada à produção de grãos secos para a indústria. Possui um ciclo médio de 100 dias, com início do florescimento ao redor dos 40 dias. É recomendada para toda a região centro-sul do Brasil, com época de plantio no outono-inverno e com produtividade média de 1500 kg/ha.

3.5 - Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido numa área útil de 500 m², na qual foi efetuado o preparo do solo, constituído de uma aração e destorroamento com enxada rotativa. Os evapotranspirômetros e os equipamentos meteorológicos foram instalados no interior desta área e ao redor foi utilizada uma área de bordadura com a mesma cultura com aproximadamente 1000 m², conforme figura 1.



Legenda

- 1, 2 e 3: Lisímetros de lençol freático cte.
- 4, 5 e 6: Lisímetros de drenagem.

Figura 1 : Croquis da área experimental.

A semeadura foi efetuada manualmente em toda a área no dia 31 de julho de 1992, em sulcos distanciados de 35 cm com densidade de semeadura de 15 sementes por metro, estabelecendo-se uma população final aproximada de 35 a 40 plantas por metro quadrado. De acordo com o resultado da análise química do solo, foi dispensada a adubação no plantio.

Toda a área recebeu irrigação por aspersão até o completo estabelecimento das plantas, sendo daí em diante irrigada de acordo com a condução do experimento. As leituras dos equipamentos meteorológicos, dos evapotranspirômetros e dos tensiômetros instalados no experimento foram realizadas diariamente às 8:00 horas.

3.6 - Lisímetros de lençol freático constante

Este equipamento já se encontrava instalado no local há cerca de 2 anos, sendo utilizado anteriormente com a cultura da beringela e após criteriosa revisão e limpeza geral das tubulações e conexões ficou pronto para iniciar novo ciclo de funcionamento. A figura 02 mostra o desenho do lisímetro.

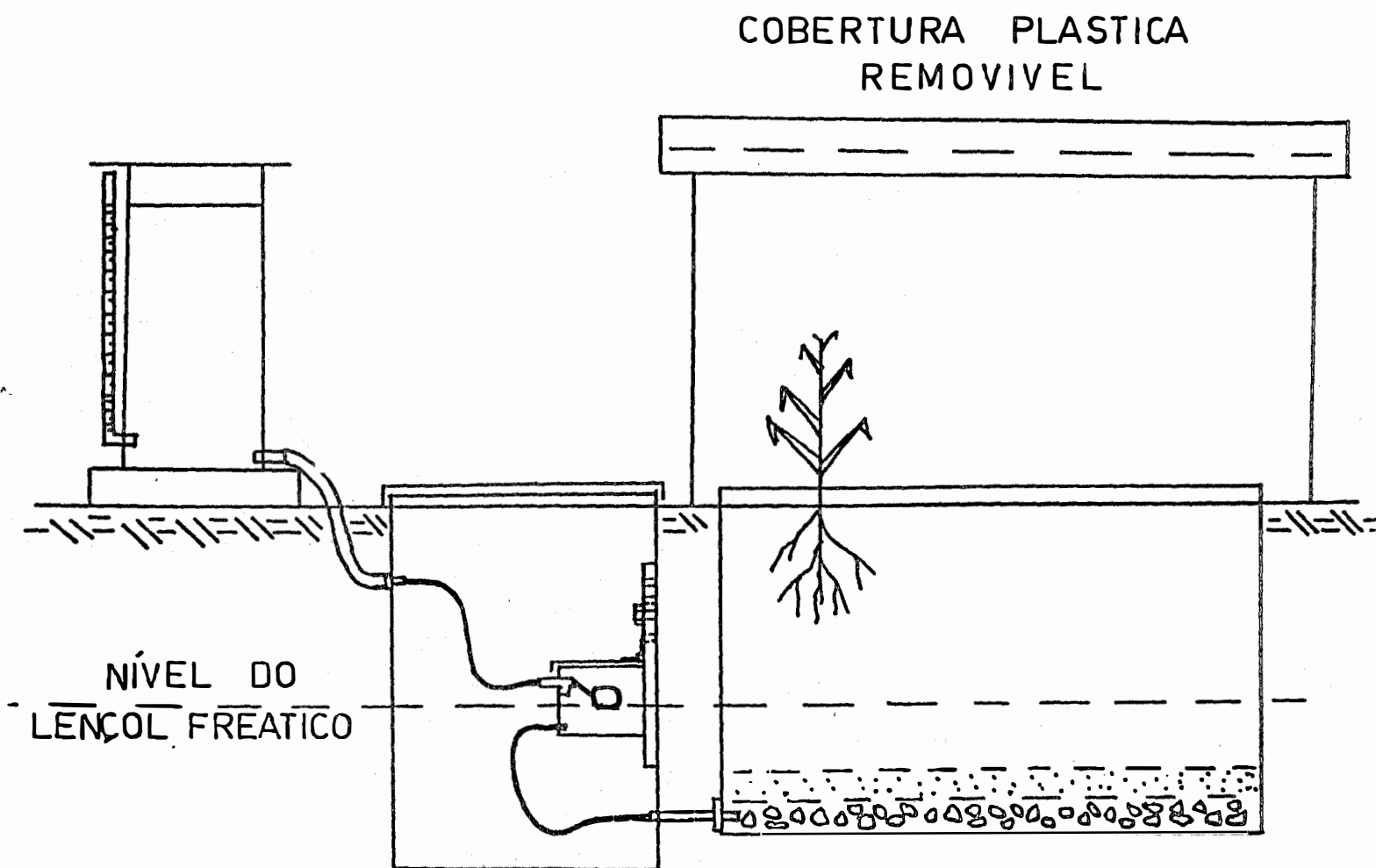


Figura 02 - Detalhes do lisímetro de lençol freático constante.

Cada um dos três lisímetros é constituído de uma caixa de cimento amianto impermeabilizada, com capacidade para 1000 litros, de formato retangular com área de exposição de 1,70 m², enterrado no chão e deixando-se uma borda de aproximadamente 5 cm de altura acima da superfície do solo para evitar entrada da água de enxurrada. Seu enchimento foi efetuado com o próprio solo retirado do local, respeitando-se a disposição dos perfis e tendo ao fundo uma camada de 5 cm de brita fina, sobreposta por uma camada de igual espessura de areia grossa e preenchido o restante com solo até que este ficasse no mesmo nível da superfície do terreno, resultando uma camada útil de solo de 50 cm de profundidade.

O sistema de alimentação e leitura de água para o lisímetro é feito na seguinte sequência: um reservatório auxiliar de PVC com escala graduada em milímetros leva a água por gravidade até uma pequena caixa de passagem com bóia, para manutenção do nível do lençol na altura desejada, e desta para o lisímetro utilizando tubo flexível conectado ao fundo da caixa.

Foram instalados 3 tensiômetros em cada um destes lisímetros nas profundidades de 7,5cm, 15 cm e 25 cm, sendo cada conjunto provido de cobertura móvel com plástico transparente, usada toda vez que houve ocorrência de chuva e irrigação.

O cálculo da água evapotranspirada no lisímetro foi feito através de um fator de conversão que relaciona a área do reservatório auxiliar com a área de exposição do lisímetro, que neste caso foi calculado em 0,0298, bastando multiplicar a altura da coluna de água observada no reservatório pelo fator, para obter

diretamente a lâmina de água evapotranspirada no lisímetro.

O nível do lençol freático foi ajustado 2 vezes ao longo do experimento, acompanhando o crescimento das raízes, para permitir a melhor condição de umidade com condições de aeração na zona radicular. Da emergência até os 20 dias de idade da cultura o lençol permaneceu a cerca de 30 cm abaixo da superfície do solo; dos 20 aos 44 dias permaneceu no nível de 35 cm abaixo da superfície, e dos 44 dias até o final do ciclo com 40 cm abaixo da superfície do solo.

3.7 - Lisímetros de drenagem

Foram instalados 3 lisímetros deste tipo próximos aos de lençol freático constante, com características estruturais idênticas aos anteriormente citados, com a diferença que no fundo do reservatório foram instaladas duas saídas para a água de drenagem de 3/4 polegadas de diâmetro, protegidas com tela plástica e sobrepostas pela camada de brita fina. Os fundos das caixas apresentavam ligeira inclinação, suficiente para que toda a água percolada até o fundo do tanque fosse conduzida pelas saídas de drenagem, minimizando armazenamento indevido da água drenada. As saídas de drenagem foram ligadas por um tubo de PVC de 3/4 de polegada até o poço de coleta da água drenada que recebia água das três caixas e as coletava separadamente em recipientes para leitura do volume. A figura 03 mostra o desenho do lisímetro.

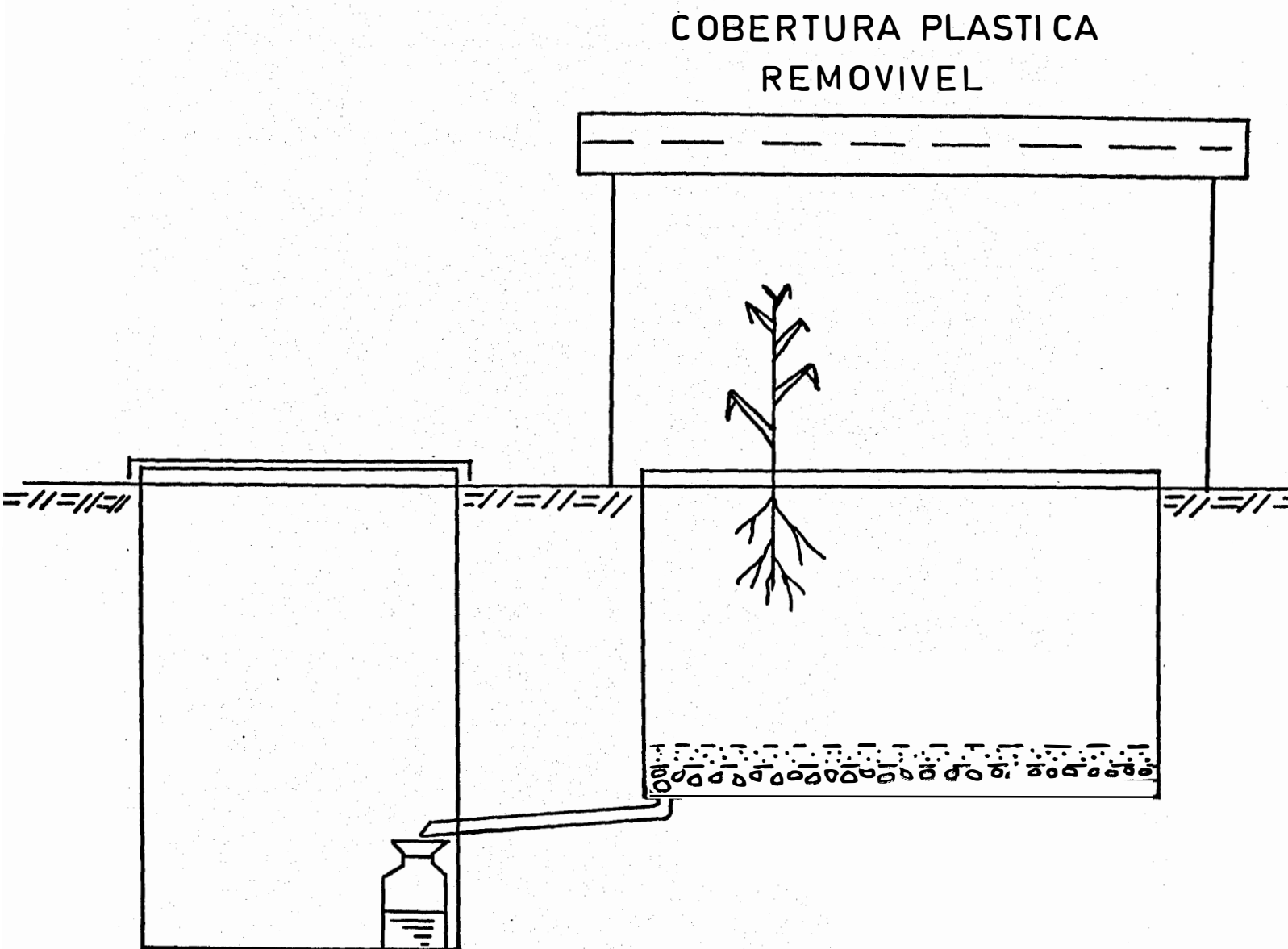


Figura 03 - Detalhes do lisímetro de drenagem.

Após a montagem, estes lisímetros foram preenchidos com solo no período entre 5 e 10 de junho de 1992 e durante algum tempo foram irrigados com excesso de água, para acomodação do solo.

As irrigações foram efetuadas pela superfície através de recipientes calibrados em litros, toda vez que os tensiômetros instalados a 15 cm de profundidade, forneciam valores de tensão de água no solo próximos de 400 cm de coluna de água, adotada em função da curva de retenção para este solo, para que o mesmo permanecesse com boa disponibilidade hídrica às plantas. A quantidade de água utilizada em cada irrigação foi adotada empiricamente num valor médio de 40 litros, suficiente para provocar drenagem e repor a água perdida no período. Os lisímetros foram cobertos com filme plástico transparente durante a ocorrência de chuva ou irrigação.

3.8 - Medidas meteorológicas

Além das duas baterias de lisímetros, foram instalados na área quatro pluviômetros tipo Ville-de-Paris, sendo dois instalados no interior dos lisímetros, um entre as duas baterias de lisímetros e um na área de bordadura, para medir eventual entrada de água de chuva ou irrigação nas parcelas dos lisímetros e assim não interromper o cálculo do balanço hídrico. Foram utilizados, também, os dados observados na estação meteorológica da ESALQ, que fornece valores diários de radiação solar global, insolação, evaporação do tanque classe A, temperatura e umidade relativa do

ar, precipitação, e velocidade média do vento. A estação está situada a cerca de 500 metros do local do experimento.

3.9 - Determinação da evapotranspiração de referência - ETo

3.9.1 - Método do tanque classe A

Utilizou-se as medidas diárias de evaporação obtidas no tanque classe A instalado no posto meteorológico, estimando-se a ETo pela multiplicação da evaporação pelos coeficientes de tanque obtidos a partir da tabela elaborada por Doorenbos e Pruitt (1975) utilizando os dados de velocidade do vento e umidade relativa coletados no mesmo posto meteorológico.

3.9.2 - Método de Penman

A estimativa da ETo foi determinada utilizando a seguinte expressão:

$$ETR = \frac{k \cdot RL/59 + PEA}{k + 1} \dots\dots\dots (1)$$

sendo,

$k = s/\gamma$ onde s é o coeficiente angular da curva de saturação de vapor versus temperatura do ar e γ a constante psicrométrica.

$$R_L = R_s (1-r) - \sigma T^4 (0,56 - 0,09\sqrt{ea}) (0,1 + 0,9 n/N) \dots (2)$$

R_s é a radiação solar global (cal/cm².dia)

r = albedo = 0,25 (para gramado)

σ = Constante de Stefan-Boltzman = $1,19 \times 10^{-7}$ cal/cm².dia.K⁴

T = temperatura média do ar (K)

ea = pressão atual de vapor (mmHg)

n/N = razão de insolação

PEA = Poder evaporante do ar = $0,35 (1+U/160)$ ($es-ea$)

U = velocidade do vento a 2 m de altura (km/dia)

es = pressão de saturação do vapor (mmHg)

3.9.3 - Método de Thornthwaite

Utilizou-se o nomograma elaborado por Camargo(1962), que fornece valores de ETP em função das temperaturas médias diária e anual, os quais foram ajustados para o comprimento do dia do local do ensaio.

3.10 - Parâmetros biométricos e fenológicos

Foram efetuadas ao longo do ciclo da cultura, medidas de altura de plantas, sendo a primeira aos 10 dias após a emergência, a segunda aos 25 dias após a emergência e a última aos 33 dias após a emergência, considerando-se a distância da superfície do solo até o topo da planta.

O florescimento, considerado quando 50% das plantas estavam com pelo menos uma flor aberta, se deu aos 45 dias após a emergência e a frutificação quando 50% das plantas estavam com pelo menos uma vagem formada, ocorreu aos 60 dias após a emergência.

3.11 - Produção e produtividade

Dados de produção foram obtidos colhendo-se cada parcela separadamente, tendo-se o cuidado de contar o número de vagens por parcela, incluindo aí uma parcela na bordadura. Após a debulha colocaram-se os grãos para secar até atingirem em torno de 13% de umidade e então efetuou-se a pesagem em balança de precisão.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Produção e rendimento da cultura

Os resultados de produção de grãos secos, densidade de plantas e números de vagens por planta, foram obtidos separadamente por tipo de lisímetro e numa parcela situada na área de bordadura conforme apresentado na tabela 02.

Tabela 02 - Dados de produtividade, densidade de plantas, produção por planta e nº de vagens por planta nos dois tipos de lisímetro e numa parcela da bordadura com ervilha.

	produtividade kg/ha	densidade populac. plt/m ²	produção por planta g/plt	vagens por planta
L F C	1343 a*	35	3,84	9
DREN.	1512 a	38	3,94	9
BORD.	1579 a	39	4,00	8
C.V.	8,2%	5,5%	2,0%	6,6%

* As médias marcadas com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

A produtividade alcançada no experimento dentro e fora dos lisímetros superou a média obtida por Wutke et al. (1991) de 1250 kg/ha em 5 regiões do Estado de São Paulo sob condições de campo com irrigação. Comparando a produção de grãos secos entre lisímetros, observa-se que a produção por área foi maior no lisímetro de drenagem, mas a análise estatística mostra que não houve diferença significativa de produtividade entre os lisímetros e destes com a bordadura.

4.2 - Evapotranspiração máxima (ETM)

Os valores de evapotranspiração máxima, medidos nos lisímetros de lençol freático constante e de drenagem, foram obtidos num período total de 86 dias e agrupados em 11 sub-períodos com duração variando de 6 a 12 dias cada um, conforme apresentado no Tabela 03.

Tabela 03 - Valores de ETM total e média diária medidos em 2 tipos de lisímetro para 11 sub-períodos de duração variável.

PERÍODO	DURAÇÃO dias	ETM			
		Lençol freático		drenagem	
		mm	mm/dia	mm	mm/dia
I	09	22,78	2,53	28,80	3,20
II	09	14,71	1,63	16,70	1,85
III	12	19,00	1,58	24,50	2,04
IV	08	16,40	2,05	17,30	2,16
V	06	19,69	3,28	24,20	4,03
VI	07	15,10	2,15	16,90	2,41
VII	06	17,20	2,86	21,70	3,61
VIII	08	22,20	2,77	26,00	3,25
IX	06	19,90	3,31	27,40	4,56
X	07	32,00	4,57	42,70	6,10
XI	08	13,90	1,73	15,50	1,93
TOTAL	86	212,80 mm		261,70 mm	
ETM MÉDIA DIÁRIA		2,47 mm/dia		3,04 mm/dia	

Fêz-se uma análise de regressão entre os dados obtidos nos dois lisímetros, encontrando-se o melhor ajuste numa relação linear cuja equação é $y = - 5,15 + 1,49x$ e coeficiente de correlação $R = 0,97$. A figura 04 mostra o gráfico relativo a equação encontrada comparando com a relação ideal 1:1.

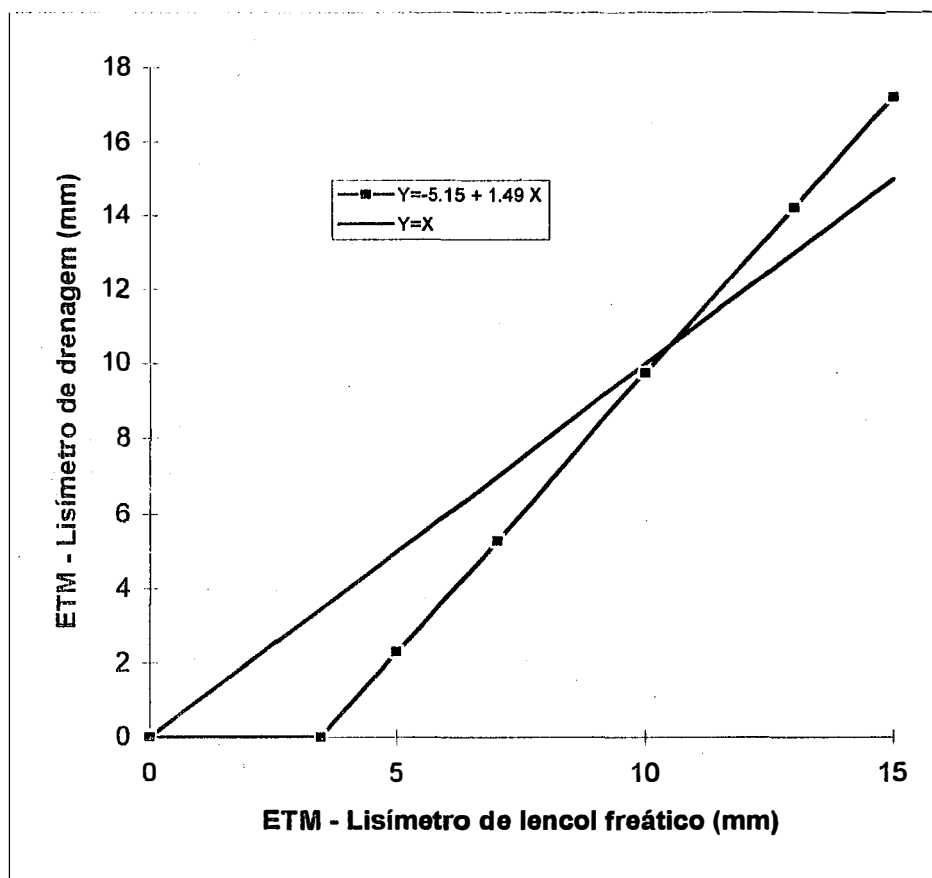


Figura 4. Retas de regressão de ETM para os dois tipos de lisímetro

Analisando os dados, verifica-se que os lisímetros apresentaram variações de amplitude da ETM semelhante ao longo do ciclo da cultura, mas com valores absolutos de evapotranspiração máxima superiores no lisímetro de drenagem, para todos os sub-períodos. A figura 05 ilustra bem este comportamento, mostrando que os lisímetros acompanharam a demanda climática do período nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.

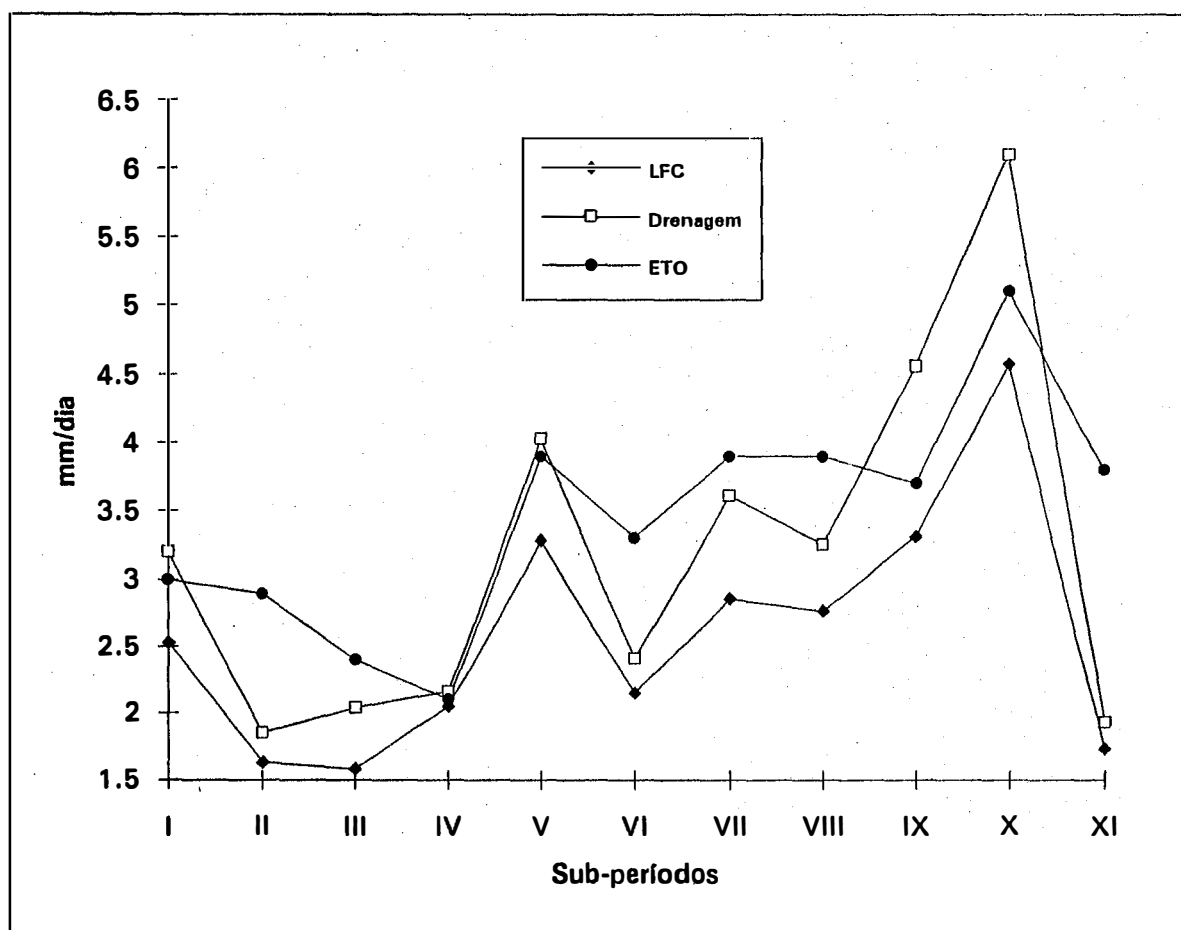


Figura 5. ETM medida em dois tipos de lisímetro e ETO para onze sub-períodos.

(LFC = lençol freático constante)

(ETO = evapotranspiração de referência pelo método do tanque classe A)

Comparando com os dados obtidos por Minchio e Volpe (1987), observa-se que o consumo de água, medido em Jaboticabal com a mesma variedade de ervilha em lisímetros de drenagem, foi de 3,3 mm/dia, aproximadamente 10% superior ao consumo de água medido nos lisímetros de drenagem do presente experimento que foi de 3,04 mm/dia. Os autores usaram no experimento uma densidade populacional de 100 plantas/m², quase 3 vezes maior que a estabelecida no presente estudo (35 a 38 plantas/m²), mas apesar disso o consumo hídrico medido não aumentou na mesma proporção. Maior número de plantas por área implica em maior índice de área foliar com consequente aumento da transpiração, mas por outro lado, também aumenta a competição entre plantas e o sombreamento reduzindo a intensidade da evapotranspiração. A confrontação direta destes dados é problemática devido às diferenças de condições experimentais, principalmente climáticas entre os dois experimentos, mas servem de referência para analisar o desempenho deste tipo de equipamento na determinação da evapotranspiração máxima da cultura.

A evapotranspiração máxima média diária, medida através do lisímetro de lençol freático, foi de 2,47 mm/dia para o mesmo período, portanto abaixo daquela obtida através do lisímetro de drenagem.

Diante dos resultados discrepantes obtidos, partiu-se para uma análise crítica, investigando em cada caso os fatores envolvidos na sua determinação e a influência destes nos resultados que pudessem explicar a diferença observada.

Um dos problemas que pode afetar a determinação da ET no lisímetro de drenagem é a variação do armazenamento de água no volume de solo estudado entre dois períodos de medida. Em solos de textura fina, como o utilizado no experimento, com teor de 43 a 63% de argila ao longo do perfil, a capacidade de retenção de água é elevada, dificultando o processo de drenagem. Considerando-se que ao fim da drenagem - detectado quando se observa que não há saída de água pelo tubo de drenagem - esteja estabelecido o ponto de equilíbrio ou "capacidade de campo", inicia-se a contabilização hídrica de um novo período, admitindo-se que o solo teve seu armazenamento de água restabelecido ao nível do início de cada período anterior de contabilização. Pode ocorrer que devido à dificuldade de drenagem e acúmulo de água, principalmente nas camadas mais profundas do lisímetro, o solo não tenha seu armazenamento original restituído, e a água armazenada em excesso será contabilizada como evapotranspiração, aumentando erroneamente o seu valor. Este processo pode ocorrer a cada ciclo de irrigação e drenagem, aumentando acumuladamente a água armazenada que será contabilizada como ETM, já que considerou-se nula a variação do armazenamento no balanço hídrico.

No presente experimento, observou-se que a saída de água de drenagem cessou em 24 horas após a irrigação na superfície do lisímetro em todas as repetições, tempo este considerado pequeno por autores como Aboukhalel (1982) e Reichardt (1990), evidenciando a possibilidade de ter havido retenção de água na massa de solo, ainda mais por se tratar de solo argiloso. A figura 06 mostra os

perfis de umidade obtidos a partir dos tensiômetros instalados a 7,5 ; 15 e 25 cm dentro dos lisímetros E5 e E6 no período de 18/09 a 15/10 mostrando que não houve variação significativa no armazenamento de água no solo entre cada final de drenagem na profundidade medida; porém pode ter havido armazenamento em camadas mais profundas, como neste caso em que a profundidade do solo vai até 50 cm, nas quais não foram instalados tensiômetros.

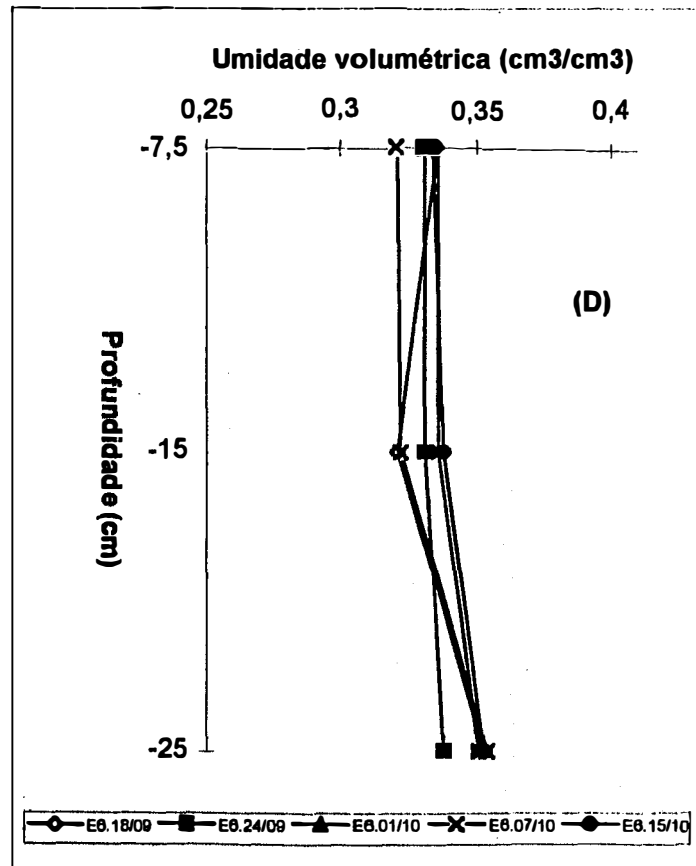
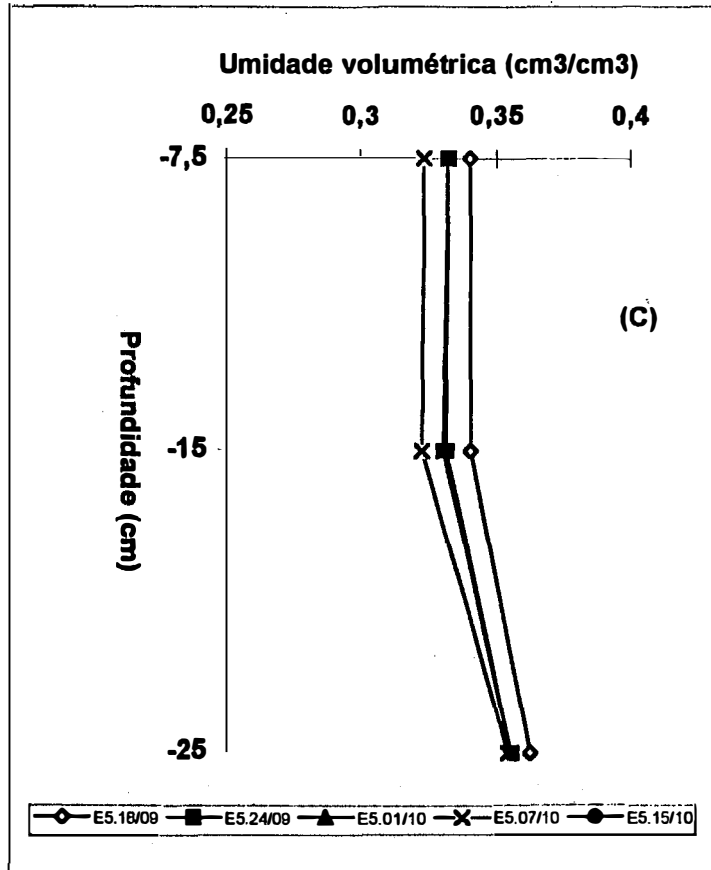


Figura 6. Perfis de umidade nos lisímetros de drenagem E5 (C) e E6(D)

No lisímetro de lençol freático constante, não ocorre este tipo de problema, pelo próprio princípio de alimentação hídrica utilizada, mas outro tipo de problema pode surgir: o fluxo ascendente de água através do solo, poderia não estar atendendo a demanda hídrica, por problemas de transporte de água desde o lençol até as raízes ou até a superfície. Na fase de desenvolvimento inicial da planta devido ao maior distanciamento do sistema radicular com a lâmina d'água, poderia ter ocorrido deficiência hídrica na camada mais superficial do solo, diminuindo a evapotranspiração. Isso provavelmente não ocorreu porque os dados de produção por planta e de altura de plantas nos lisímetros de lençol não foram muito diferentes daqueles nos lisímetros de drenagem. Esta falta de atendimento da demanda pelo lençol é acentuada sob condições de alta demanda evaporativa do ar. A figura 05 mostra que em sub-períodos de baixa demanda atmosférica (expressa pela evaporação do tanque classe A), os valores de ETM medidos pelos dois tipos de lisímetros, praticamente se igualam, como no sub-período IV, indicando uma possível situação de pleno atendimento da demanda hídrica a partir do lençol.

Como se sabe, a condutividade hidráulica de um solo está relacionada exponencialmente com o teor de umidade do mesmo, o que explica a resistência ao fluxo de água nas camadas mais secas próximas a superfície. Os registros dos tensiômetros instalados nos lisímetros de lençol freático, mostram que o potencial mátrico manteve-se acima de -100 cm de água nas profundidades de 15 e 25 cm, mas alcançou valores próximos a -800 cm de água na profundidade

de 7,5 cm, indicando secamento da camada superficial. Este secamento foi consequência do abaixamento do lençol freático a uma altura de 40 cm da superfície, feito em 18 de setembro para que se ajustasse o mesmo ao crescimento do sistema radicular. Conforme pode se ver no gráfico da figura 07, os perfis de umidade na profundidade de 7,5 a 25 cm mostram que houve variações no armazenamento nesta camada e que as mesmas vão se atenuando na profundidade de 25 cm, posição mais próxima do lençol d'água.

Teoricamente o lisímetro de lençol deve operar em condições de variação nula de armazenamento hídrico no solo, para que a fração de água repostada ao lençol freático pelo sistema alimentador reflita a evapotranspiração ocorrida num determinado período. Como a figura mostra que houve diminuição no valor do armazenamento, isto pode ter constituído uma fonte de erro na estimativa de ETM, porque essa variação de armazenamento representa evapotranspiração, que não foi contabilizada, contribuindo para uma diminuição do valor medido, e não do real, da ETM.

Conclui-se então, que houve indícios de que houve variação do armazenamento hídrico do solo no lisímetro de lençol freático para um período analisado de 35 dias, conduzindo a uma sub-estimativa da ETM. No lisímetro de drenagem houve evidências de que poderia ter havido retenção de água no solo, aumentando o armazenamento, mas isso não foi confirmado.

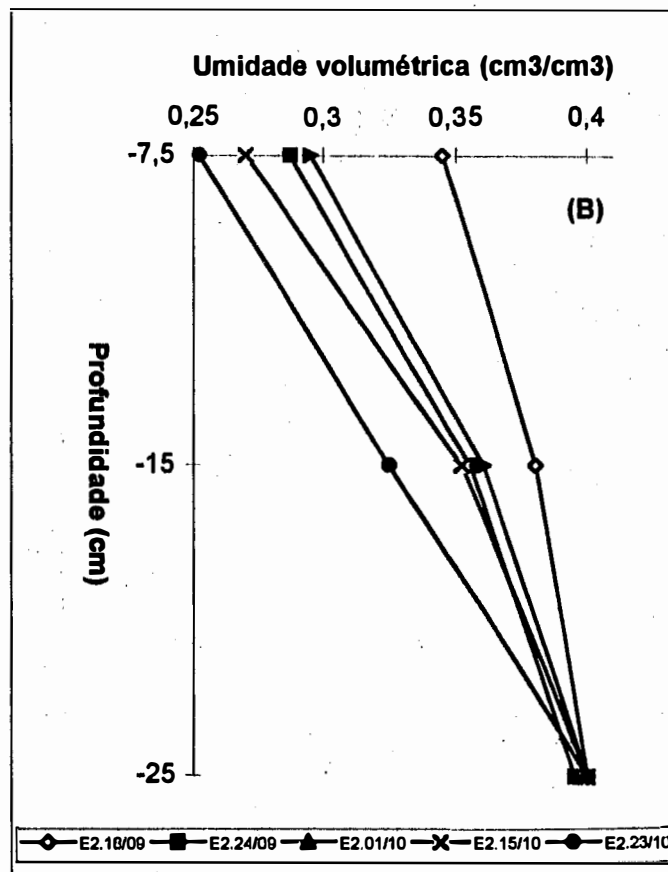
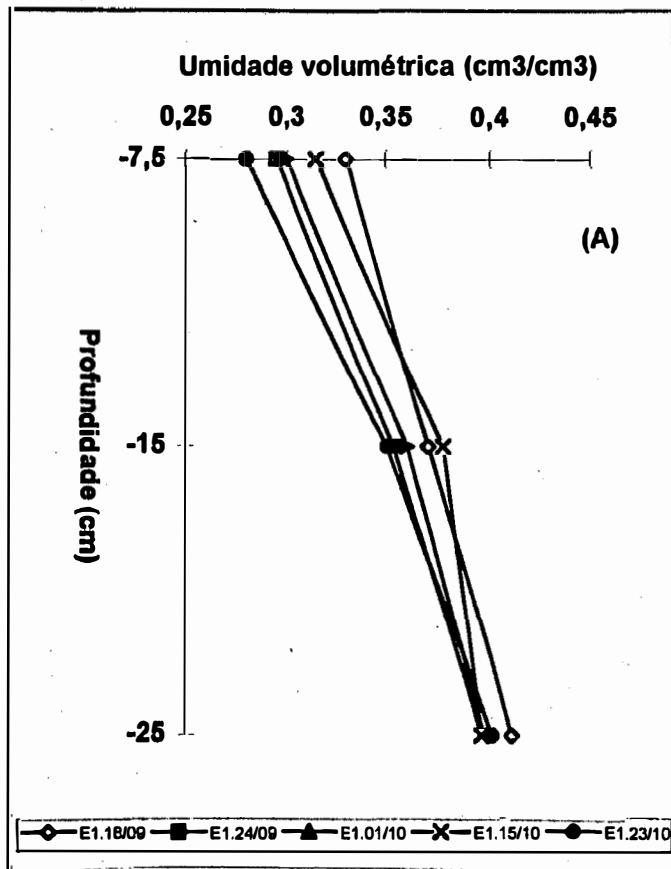


Figura 7. Perfis de umidade nos lisímetros de lençol freático constante E1(A) e E2(B)

Com base nos resultados observados e discutidos apresenta-se a seguir algumas sugestões a serem utilizadas no trabalho com estes equipamentos:

a) Os lisímetros de drenagem devem ser utilizados com solos de textura média e fácil drenagem, utilizando ainda um tensiômetro em profundidade maior que as utilizadas aqui, que possa monitorar uma possível variação no armazenamento de água nessa profundidade.

b) Irrigações superficiais no lisímetro de lençol freático são desejáveis para diminuir o secamento que ocorre nas primeiras camadas do solo, quando o lençol d'água está muito abaixo da superfície e/ou em períodos de alta demanda climática; a água acrescentada deve ser medida e computada no cálculo da evapotranspiração do lisímetro.

4.3 - Evapotranspiração de referência (ETo)

Os dados de ETo foram estimados por três métodos frequentemente utilizados: Thornthwaite, Penman e tanque classe A. Os resultados, como no item anterior, foram agrupados em onze sub-períodos ao longo do ciclo da cultura e apresentados na tabela 04

Tabela 04 - Estimativas de ETo por 3 métodos para 11 sub-períodos ao longo do ciclo da cultura.

DATAS	PERÍODOS	ETo - mm		
		THORNTHWAITE	E.C.A	PENMAN
10.08 a 18.08	I	17,0	27,1	20,4
19.08 a 27.08	II	18,2	26,3	23,2
28.08 a 08.09	III	25,7	28,6	26,2
09.09 a 16.09	IV	16,0	16,9	16,0
17.09 a 22.09	V	16,8	23,7	17,7
23.09 a 29.09	VI	17,5	23,4	17,8
30.09 a 05.10	VII	16,5	23,5	18,0
06.10 a 13.10	VIII	23,1	31,4	21,1
14.10 a 19.10	IX	21,4	22,5	18,8
20.10 a 26.10	X	23,1	35,7	27,3
27.10 a 03.11	XI	30,1	30,8	25,5
	TOTAL	225,4	289,9	232,0

Pela análise dos resultados, nota-se que os maiores valores encontrados foram obtidos pelo método do tanque classe A em todos os sub-períodos e os menores pelo método de Thornthwaite, tendo havido uma grande discrepância nos dois primeiros períodos. Valores de ETo mais elevados utilizando o tanque classe A em comparação com outros métodos também foram obtidos por Minchio e Volpe (1987), Moura (1992) e Assis (1978); esta tendência pode estar relacionada à resposta do tanque à energia advectiva não computada nos outros métodos. A figura 08 ilustra o comportamento dos três métodos durante o período de desenvolvimento da cultura, mostrando que os métodos do tanque classe A e Penman tiveram oscilações de amplitude

durante o período de desenvolvimento da cultura, mostrando que os métodos do tanque classe A e Penman tiveram oscilações de amplitude semelhantes e que os valores absolutos quase se igualaram no sub-período IV.

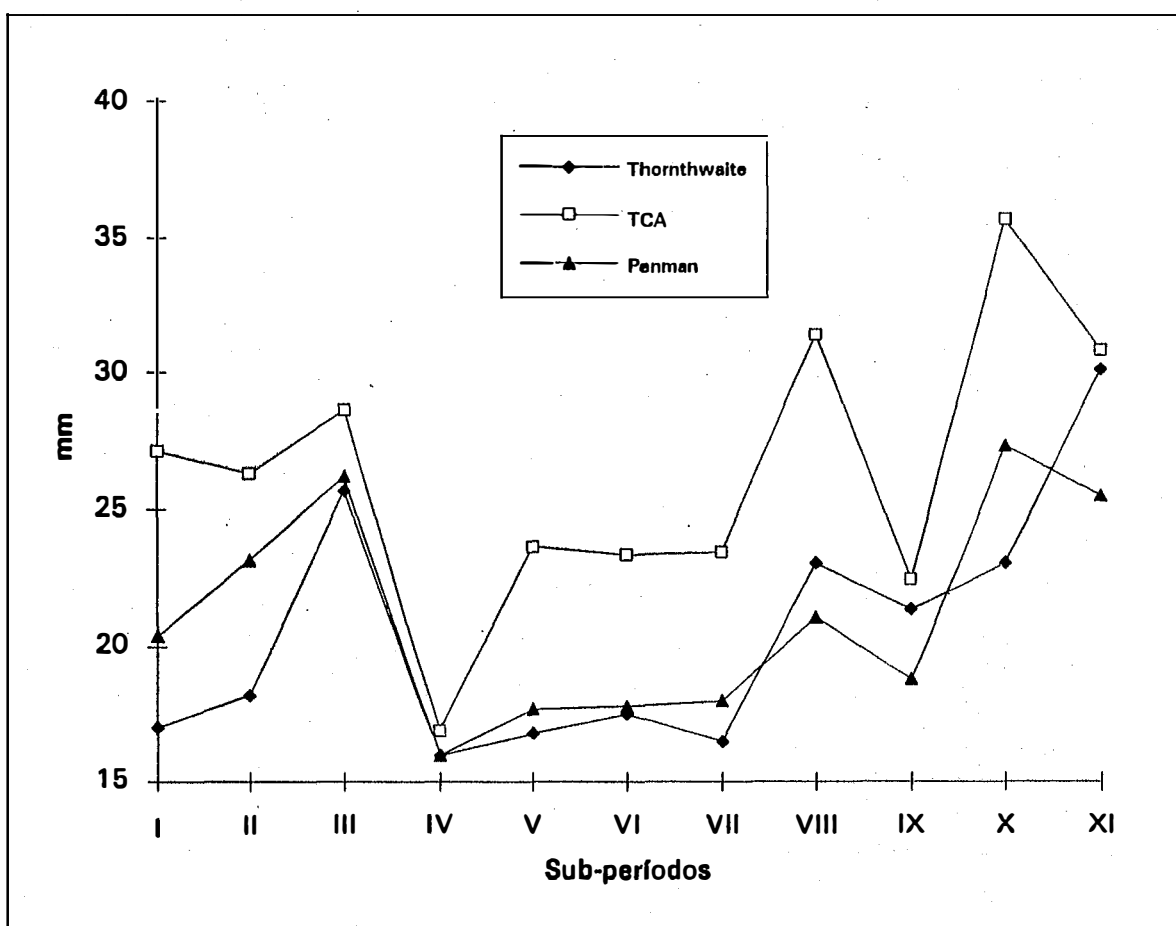


Figura 8. ETo segundo três métodos de estimativa para onze sub-períodos

Conclui-se que, em virtude dos diversos métodos de estimativa de ETo existentes e da diferença nos valores determinados entre eles, é natural que se encontrem valores discrepantes entre os diversos autores na determinação do consumo hídrico e e coeficiente de cultura das diversas culturas, e que o uso de um determinado método depende principalmente da disponibilidade dos dados meteorológicos da região de estudo.

4.4 - Coeficiente cultural

Determinaram-se com os dados de ETM medidos e ETo estimados, os coeficientes culturais da cultura da ervilha, separados em dois grupos, conforme a medida da evapotranspiração máxima da cultura que o originou: medido pelo lisímetro de lençol freático constante e medido pelo lisímetro de drenagem. Cada um destes grupos resultou em três séries de coeficientes culturais, uma para cada método de estimativa de ETo utilizado, e agrupados de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura, conforme apresentado na tabela 05.

Tabela 05 - Coeficientes culturais obtidos segundo a medida da ETM pelos lisímetros de lençol freático constante (LFC) e de drenagem (DRE) e 3 estimativas de ETo (Thornthwaite, tanque classe A e Penman), para 4 estádios de desenvolvimento da cultura.

ESTÁDIO		0-30 d.a.e * DESENV.VEGET.	30 a 51 FLORESC.	51 a 78 FRUTIF.	78 a 86 MATUR.
E T M * L F C	Kc1 Thornth.	0,96	1,01	1,07	0,46
	Kc2 TCA	0,68	0,81	0,80	0,45
	Kc3 Penman	1,10	0,99	1,05	0,54
	m é d i a	0,91	0,93	0,97	0,48
E T M * D R E	Kc4 Thornth.	1,18	1,16	1,38	0,51
	Kc5 TCA	0,86	0,98	1,09	0,50
	Kc6 Penman	1,02	1,13	1,36	0,60
	m é d i a	1,02	1,09	1,27	0,53
Kc MEDIO		0,96	1,01	1,12	0,51
Minchio/Volpe		0,79	1,52	1,30	0,80
F A O		0,70 a 0,80	1,05 a 1,20	0,65 a 0,75	0,25 a 0,30

d.a.e * - dias após a emergência da cultura.

Pelos resultados observa-se que os coeficientes culturais obtidos pelas diferentes formas, apresentam comportamento semelhante, aumentando conforme o estágio de desenvolvimento da planta, até atingir o valor máximo na frutificação, para depois diminuir no estágio de maturação. Esta tendência se observa nos resultados obtidos por Volpe (1986) em Jaboticabal para a cultura da ervilha variedades Kriter e Caprice, cujos valores são muito próximos aos coeficientes Kc4 e Kc6 encontrados no quadro 04 para lisímetro de drenagem com ETo determinada pelos métodos de Thornthwaite e Penman.

Minchio e Volpe (1987) trabalhando com a mesma variedade em Jaboticabal, encontraram valores de coeficiente cultural diferentes, com valor máximo de $Kc = 1,52$ no estágio de florescimento contra um $Kc5 = 0,98$, utilizando o mesmo método para estimativa de ETo e valores mais altos também na frutificação e maturação, ficando abaixo somente no estágio de desenvolvimento vegetativo. Os autores usaram uma densidade populacional de 100 plantas por metro quadrado contra 40 plantas por metro quadrado utilizada neste trabalho, o que contribui decisivamente para uma elevação do coeficiente de cultura, conforme comprovou Mello(1992).

Os coeficientes sugeridos pela FAO também apresentaram valores diferentes e menores que os obtidos neste trabalho, com valor máximo no estágio de florescimento, conforme pode ser visto no quadro 04. Esta tendência de obtenção de coeficientes mais elevados em trabalhos desenvolvidos no Brasil, foi verificada nos trabalhos realizados em Jaboticabal utilizando lisímetros de

drenagem, pelos autores acima citados, que comentam ainda que os valores da FAO não são adequados às condições brasileiras por serem provenientes de médias para várias cultivares em diferentes regiões. Considerando que os valores nominais da ETM obtidos neste trabalho, foram diferentes conforme o tipo de lisímetro utilizado, gerando também coeficientes culturais diferentes, a escolha de um K_c mais preciso passa pela necessidade de investigar, comparando com um terceiro método, qual seria a ETM mais representativa da cultura dentre os valores encontrados.

5 - CONCLUSÕES

Nas condições em que foi realizado o experimento e com os resultados obtidos, pode-se tirar as seguintes conclusões:

1 - As discrepâncias entre as medidas pelos dois tipos de lisímetro podem ter sido decorrentes do fato de que a água repostada automaticamente no de lençol freático constante não representou a evapotranspiração máxima que ocorreu, enquanto que no de drenagem, pode ter ocorrido retenção de água nas camadas mais profundas do solo, contribuindo para superestimativas da evapotranspiração. Essas hipóteses tem de ser confirmadas.

2 - Os valores de evapotranspiração de referência obtidos foram diferentes segundo o método de estimativa utilizado, sendo o do tanque classe A o que apresentou valores mais elevados em todo o período; as diferenças foram atenuadas nos períodos de menor demanda climática da atmosfera.

3 - Os coeficientes culturais obtidos na média foram maiores que aqueles propostos pela FAO, atingindo valores máximos

no estágio de frutificação , com exceção dos Kc determinados com a ETM medida no lisímetro de lençol freático constante e ETo estimada pelo método do tanque classe A. Os coeficientes só poderão ser validados na prática para a cultura da ervilha, quando a estimativa de ETo, a densidade de plantas e as condições climáticas da região forem as mesmas das utilizadas no experimento.

5 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. Lysimeters. Rome, 1982, 68p.

(FAO - Irrigation and drainage paper, 39)

ASSIS, F.N. O uso do evapotranspirômetro no estudo de algumas relações entre evapotranspiração medida e estimada.

Piracicaba, 1978. 69p (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)

BARBIERI, V. Medidas e estimativas de consumo hídrico em cana-de-açúcar. Piracicaba, 1981. 82p. (Mestrado -

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)

BERLATO, M.A. & MOLION, L.C.B. Evaporação e evapotranspiração.

Porto Alegre, IPAGRO, 1981. 95p (Ipagro - boletim técnico nº 07)

CAMARGO, A.P. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. Campinas 1962. 21:163-213 (Bragantia - IAC)

CAMARGO, A.P. de; PINTO, H. S.; BRUNINI, O.; PEDRO JUNIOR, M. J.; ORTOLANI, A. A.; ALFONSI, R. R. Clima do Estado de São Paulo. In: São Paulo, Secretaria da Agricultura. Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo. São Paulo, 1974. v.1, cap.2, p.51-87.

DENMEAD, O. T. & SHAW, R. H. Availability of soilwater to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. Agron. Journal, 1962. 54: 385-90.

DOORENBOS, J. & PRUITT, W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome, FAO, 1977. 179p. (FAO - Irrigation and drainage paper, 24)

DOORENBOS, J. & KASSAM, A. H. Yield response to water. Rome 1979, 193p. (FAO - Irrigation and drainage paper, 33)

DOURADO NETO, D. Variabilidade espacial das alturas de chuva de irrigação e de potencial da solução do solo Piracicaba, 1989, 180p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP)

ENCARNAÇÃO, C. R. F. da. Estudo da demanda de água do feijoeiro (P. vulgaris L.) var. Goiano precoce. Piracicaba, 1980. 62p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ USP)

JENSEN, M. E. Water consuption by agricultural plants. in: Koslowski, T. T., ed. Water deficits and plant growth. 2ª ed. New York, Academic Press, 1969. v. 2 cap. 1, pg. 1 - 22.

LEMON, M. R. The potentialities for decreasing soil moisture evaporation loss. Soil Science society of American Procedings, 1956, 20(1): 120 - 125.

MELLO, A. C. A. de. Efeito do dossel vegetativo na estimativa do consumo de água e coeficiente de cultura de ervilha. Piracicaba, 1992, 71p (Mestrado Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)

MINCHIO, C. A. & VOLPE, C. A. Evapotranspiração máxima e coeficientes de cultura da ervilha (Pisum sativum L.) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5., Belem, 1987, Anais, p 132 - 42.

MOURA, M. V. T. de. Determinação do consumo de água na cultura da cenoura através dos métodos lisimétrico e balanço hídrico sob condições de campo. Piracicaba, 1992 (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

ORTOLANNI, A. A.; CAMARGO, A. P. de; VILLA NOVA, N. A. Correlação entre evapotranspiração potencial calculada segundo os métodos de Penman e de Thornthwaite e de dados de evapotranspirômetros na região de Ribeirão Preto. Braganthia, Campinas, 1966, 25: LXV-III.

PENMAN, H. L. Evaporation: An introduction survey.

Netherlnd. Journal of agricultural science,

Cambridge, 4: 9-29, 1956.

REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. Piracicaba

1990, 188p, Editora Manole.

TORNHITHWAITE, C. W. An approach toward a rational classi-

fication of climate. Geographical review, New York,

38: 55-94, 1948

VAN BAVEL, C. H. M. Lysimeters measurements of evapo-

transpiration rates in the easterns United States.

In: Soil Science Society of America Proceedings.

Madison, 1961, 23(2) 138-141.

VIEIRA, A. R. R. Influência da deficiência hídrica no solo

nos parâmetros vegetativos e produtivos da beringela

(*Solanum melongena* L.). Piracicaba, 1994. 134p (Douto-

rado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

- USP).

VILLA NOVA, N. A. A estimativa da evaporação potencial no Estado de São Paulo. Piracicaba, 1967. 66p (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ USP).

VOLPE, C. A. Coeficientes de cultura da ervilha (Pisum sativum L.). Ciência Agronômica, Jaboticabal, 1986, 1 (1): 09.

WUTKE, E. B.; AMBROSANO, E. J.; BULISANI, E. A.; CASTRO, J. L.; GALLO, P. B.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; SORDI, G. de; BORTOLETTO, N. Espaçamento e população de plantas para a cultura da ervilha de grãos em diferentes regiões paulistas. In: REUNIAO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 43 Rio de Janeiro, 1991. Resumos, Ciência e Cultura. Suplemento. Rio de Janeiro, 43 (7):22, 1991.

APÉNDICE

Tabela 06 - DADOS DO POSTO METEOROLÓGICO DA ESALQ - ANO 1992.

DIA	MÊS	RADIAÇÃO GLOBAL cal/cm ² ·d	INSOLAÇÃO h/d	PRECIPIT. mm/alt	U.R. %	VENTO MEDIO km/h	TEMP. MEDIA °c	EVAPO RAÇÃO mm
10	ago	290	3,8	000	70	5,0	20,10	3,04
11	ago	308	4,1	000	58	8,8	19,20	4,34
12	ago	293	7,6	000	73	7,6	19,95	3,48
13	ago	300	5,8	000	75	9,3	16,80	3,48
14	ago	420	10,2	000	69	8,0	17,00	4,12
15	ago	410	9,7	000	68	10,1	16,50	4,68
16	ago	395	9,3	000	72	6,4	16,50	4,44
17	ago	362	8,2	0,30	61	8,5	20,00	4,53
18	ago	210	1,7	0,30	77	6,8	20,40	2,45
19	ago	252	5,0	000	78	8,8	21,40	4,01
20	ago	350	7,8	000	76	10,4	20,00	5,11
21	ago	183	2,0	3,20	88	6,8	19,30	1,32
22	ago	144	1,2	2,80	95	7,3	19,25	0,70
23	ago	240	4,3	2,80	86	12,0	21,30	3,70
24	ago	453	10,3	000	61	7,2	18,30	5,40
25	ago	449	10,1	000	63	8,3	16,50	5,62
26	ago	416	10,1	000	66	5,5	15,85	2,95
27	ago	404	8,3	000	71	5,8	18,25	4,11
28	ago	387	9,2	000	66	9,4	20,80	6,06
29	ago	420	9,6	000	74	6,8	19,70	4,60
30	ago	389	9,4	000	68	7,2	21,20	4,72
31	ago	138	1,2	1,70	86	6,3	21,20	1,64
01	set	161	0,3	1,20	94	6,9	19,85	1,50
02	set	51	0,0	1,00	98	3,2	17,80	0,08
03	set	224	2,6	000	82	7,0	19,90	2,56
04	set	260	3,0	2,50	82	7,0	21,30	2,94
05	set	104	0,0	1,60	95	5,9	17,60	1,04
06	set	84	0,0	2,20	96	12,3	16,70	0,16
07	set	332	2,4	000	79	16,1	17,40	4,56
08	set	444	9,8	000	67	14,3	18,00	5,80
09	set	491	9,0	000	65	19,0	18,70	7,22
10	set	482	9,4	000	63	14,2	19,75	6,77
11	set	72	0,0	4,80	87	8,6	16,05	0,14
12	set	56	0,0	5,20	99	7,1	15,10	0,08
13	set	423	8,4	000	75	7,3	21,40	4,76
14	set	189	0,9	15,30	79	5,8	19,55	1,55
15	set	47	0,0	25,60	97	6,2	16,95	----
16	set	189	1,5	000	87	4,0	19,90	2,26
17	set	324	4,2	9,60	87	8,2	20,45	4,20
18	set	269	2,9	000	86	9,6	21,05	3,36
19	set	366	5,0	000	79	7,6	21,10	5,04
20	set	446	9,5	000	77	8,7	20,55	5,62

21	set	473	10,3	000	69	10,7	22,00	6,02
22	set	459	9,5	000	65	8,2	22,85	6,23
23	set	471	9,1	000	61	6,6	23,35	5,91
24	set	330	5,5	3,50	69	13,4	24,10	6,94
25	set	87	0,6	14,80	95	8,5	22,60	1,88
26	set	216	0,5	000	82	16,2	18,15	3,78
27	set	104	0,1	0,2	92	5,9	17,30	0,52
28	set	399	5,9	000	79	9,5	18,70	4,78
29	set	519	9,6	000	71	8,8	19,15	5,97
30	set	414	7,9	000	73	7,7	19,70	4,49
01	out	383	5,0	8,10	74	8,9	22,55	4,28
02	out	236	1,5	45,40	92	7,9	20,95	5,61
03	out	353	4,8	000	82	8,2	21,60	4,17
04	out	474	9,3	000	69	15,4	21,10	7,66
05	out	351	5,5	000	75	4,3	20,80	3,45
06	out	414	8,6	0,70	69	10,3	22,65	6,42
07	out	180	0,1	5,40	86	13,6	19,85	3,35
08	out	113	0,2	12,30	93	11,5	17,55	1,76
09	out	324	5,0	000	78	16,3	18,90	4,86
10	out	540	10,7	000	73	8,8	20,10	6,22
11	out	431	7,4	5,30	76	8,8	20,90	5,74
12	out	201	1,5	21,40	93	6,5	21,25	5,64
13	out	356	5,8	000	77	8,6	23,10	5,40
14	out	462	9,6	000	71	6,9	22,80	4,32
15	out	410	8,3	000	72	10,0	23,90	5,47
16	out	348	5,4	9,30	79	11,4	24,75	4,96
17	out	269	2,1	000	83	6,9	22,00	3,12
18	out	326	2,9	000	82	8,7	23,15	4,30
19	out	374	8,7	000	76	9,0	24,15	5,55
20	out	498	9,1	000	68	9,2	23,85	6,71
21	out	362	5,1	000	76	14,3	22,55	6,62
22	out	594	11,3	000	69	9,4	20,25	6,92
23	out	567	11,1	000	72	8,5	19,70	6,20
24	out	519	10,4	000	67	7,1	23,40	6,84
25	out	476	9,5	000	66	8,2	23,20	6,67
26	out	435	8,2	4,90	71	8,8	24,50	6,04
27	out	321	6,6	43,20	87	10,1	25,15	----
28	out	345	5,7	70,30	87	12,2	24,75	----
29	out	326	4,6	15,80	85	10,8	23,80	3,83
30	out	278	2,5	000	84	9,1	22,55	3,95
31	out	407	7,6	000	80	12,8	22,45	6,23
01	nov	401	6,0	000	84	6,6	23,10	3,92
02	nov	465	8,0	000	79	6,4	24,80	6,19
03	nov	474	9,6	000	80	10,5	25,60	----