EFEITO DO DOSSEL VEGETATIVO NA ESTIMATIVA DO
CONSUMO DE ÁGUA E COEFICIENTE DE CULTURA DA
ERVILHA (Pisum sativum L.)

ANA CLÁUDIA ARAÚJO DE MELLO

Orientador: Dr. FLÁVIO BUSSMEYER ARRUDA

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
concentração: Irrigação e Drenagem.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Junho - 1992

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

M527e Mello, Ana Cláudia Araújo de
Efeito do dossel vegetativo na estimativa do
consumo de água e coeficiente de cultura da ervilha. Piracicaba, 1992.
75p.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia

1. Ervilha - Água - Consumo 2. Ervilha - Coeficiente de cultura 3. Ervilha - Irrigação I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Piracicaba

CDD 635.656

EFEITO DO DOSSEL VEGETATIVO NA ESTIMATIVA DO
CONSUMO DE ÁGUA E COEFICIENTE DE CULTURA DA
ERVILHA (Pisum sativum L.)

ANA CLÁUDIA ARAÚJO DE MELLO

Aprovada em: 07.08.92

Comissão julgadora:

Dr. Flávio Bussmeyer Arruda.....IAC

Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel.....ESALQ/USP

Dr. Orivaldo Brunini.....IAC

Dr. FLÁVIO BUSSMEYER ARRUDA
Orientador

Ao meu esposo Francisco

e nosso filho Mateus

e a meus pais

Albanita e Rodrigo

dedico este trabalho.

A G R A D E C I M E N T O S

Ao meu esposo Francisco e nosso filho Mateus, que através do amor, amizade, apoio e compreensão, tornaram possível a realização deste trabalho;

Ao pesquisador Dr. Flávio Bussmeyer Arruda, pela orientação, amizade e valioso incentivo durante todas as fases deste trabalho;

Ao CNPq e a FAPESP por terem tornado viável nosso trabalho através da concessão de recursos;

Ao Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem da ESALQ/USP, pela possibilidade em realizar o curso;

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem da ESALQ/USP, pelos conhecimentos adquiridos;

Ao professor da ESALQ/USP Dr. Tarlei Arriel Botrel, pelo apoio e sugestões;

Ao pesquisador do IAC Mamor Fujiwara, pelo apoio e cooperação durante os trabalhos de campo;

Ao Instituto Agronômico do Estado de São Paulo (IAC), pelas facilidades e oportunidades concedidas;

Aos colegas pesquisadores e funcionários da Seção de Irrigação e Drenagem do Instituto Agronômico (IAC), pelo ótimo convívio, apoio, sugestões e auxílio durante todas as fases deste trabalho;

À Seção de Leguminosas do Instituto Agronômico, em especial aos pesquisadores Elaine Bahia Wutke e Edmilson J. Ambrosano pelo apoio e concessão de material na execução deste trabalho;

À Seção de Climatologia Agrícola do Instituto Agronômico, pela concessão de dados meteorológicos;

Ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal da Paraíba (UFPb), pelo incentivo e cooperação no início do curso;

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, pela convivência agradável;

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ, em especial a Gilmar, José e Hélio, pela cooperação nos trabalhos de campo e laboratório, ao longo do curso;

À professora Albanita Guerra Araújo pela correção de vernáculo;

À bibliotecária Kátia Maria Andrade Ferraz, pela correção das referências bibliográficas;

À família Matos Pires, em especial a Regina Célia, pelas sugestões, amizade, estímulo e cooperação ao longo de todos os anos de convívio;

À todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para o sucesso deste trabalho, porém aqui não foram citados, o meu sincero agradecimento.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xii
RESUMO	xiv
SUMMARY	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1. Local	17
3.2. Clima	17
3.3. Solo	18
3.3.1. Textura e densidade	18
3.3.2. Curva de retenção de água	19

	Página
3.3.3. Condutividade hidráulica	21
3.4. Cultura	22
3.5. Delineamento experimental	22
3.6. Instalação e condução do experimento	22
3.7. Balanço hídrico	23
3.7.1. Variação no armazenamento de água no solo	25
3.7.2. Precipitação pluvial e irrigação ...	26
3.7.3. Drenagem profunda	26
3.7.4. Evapotranspiração real (ET _r)	27
3.8. Evapotranspiração de referência (ET _o)	28
3.8.1. Método do Tanque Classe A (ET _{oA}) ...	28
3.8.2. Método de Penman modificado (ET _{oPn} [*])	28
3.9. Coeficiente de cultura	30
3.10. Cobertura vegetal	30
3.11. índice de área foliar	31
3.12. Altura de plantas	32
3.13. Fitomassa e produção final	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1. Desempenho da cultura	33
4.1.1. Fitomassa	34
4.1.2. Altura de plantas	36
4.1.3. índice de área foliar	38

	Página
4.1.4. Cobertura vegetal	40
4.1.5. Produção final	42
4.2. Balanço hídrico	44
4.3. Coeficiente de cultura	48
4.3.1. Relação entre o coeficiente de cul- tura basal, a porcentagem de cober- tura vegetal e o índice de área fo- liar	52
5. CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
APÊNDICE	72

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1 Resultados da análise física do latossolo roxo, série taquaral, Campinas, SP.	19
2 Parâmetros da curva de retenção de água no solo, para seis profundidades do latossolo roxo, série taquaral, segundo o modelo de Van Genuchten (1980).	20
3 Equações de regressão linear para os tratamentos de diferentes densidades populacionais da cultura da ervilha, para o ano de 1991, Campinas, SP.	36
4 Produção final de grãos (kg/ha) para a cultura da ervilha, nos diferentes tratamentos, para o ano de 1991, Campinas, SP.	43
5 Componentes da produção para a cultura da ervilha, nos diferentes tratamentos, para o ano de 1991, Campinas, SP.	43

Tabela

Página

6	Componentes do balanço hídrico de campo - precipitação, irrigação, variação do armazenamento de água no solo (ΔA), drenagem profunda e evapotranspiração real (ETr) na cultura da ervilha, para o tratamento de densidade de semeadura de 146 plantas/m ² , Campinas, SP.	45
7	Componentes do balanço hídrico de campo - precipitação, irrigação, variação do armazenamento de água no solo (ΔA), drenagem profunda e evapotranspiração real (ETr) na cultura da ervilha, para o tratamento de densidade de semeadura de 50 plantas/m ² , Campinas, SP.	45
8	Componentes do balanço hídrico de campo - precipitação, irrigação, variação do armazenamento de água no solo (ΔA), drenagem profunda e evapotranspiração real (ETr) na cultura da ervilha, para o tratamento de densidade de semeadura de 36 plantas/m ² , Campinas, SP.	46

Tabela	Página
9 Coeficientes de cultura basal (Kcb) para três diferentes densidades populacionais da ervilha, calculados pelo método de Penman modificado (Pn*) e tanque Classe A (C.A.), em cinco diferentes períodos do inverno de 1991, Campinas, SP.	52

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Acúmulo da matéria seca (g/m^2) ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura da ervilha, para as diferentes populações, no ano de 1991, Campinas, SP.	34
2 Altura de plantas (cm) ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura da ervilha, para as diferentes populações, no ano de 1991, Campinas, SP.	37
3 índice de área foliar (IAF) ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura da ervilha, para as diferentes populações, no ano de 1991, Campinas, SP.	39
4 Cobertura vegetal (%) ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura da ervilha, para as diferentes populações, no ano de 1991, Campinas, SP.	41

Figura	Página
<p>Coeficiente de cultura basal, calculado pelo método de Penman modificado $kcb(Pn^*)$, desde o início do florescimento até o final do ciclo da cultura da ervilha, para as diferentes populações, no ano de 1991, Campinas, SP.</p>	49
<p>6 Coeficiente de cultura basal, calculado pelo método de Penman modificado $kcb(Pn^*)$ (Fig.5) em função da cobertura vegetal (Fig.4), para o intervalo de 30 a 49 dias após a emergência, no ano de 1991, Campinas, SP.</p>	54
<p>7 Coeficiente de cultura basal, calculado pelo método de Penman modificado $kcb(Pn^*)$ (Fig.5) para as diferentes densidades populacionais da cultura da ervilha, em função do índice de área foliar (Fig.3), para o intervalo de 30 a 49 dias após a emergência, no ano de 1991, Campinas, SP.</p>	57

EFEITO DO DOSSEL VEGETATIVO NA ESTIMATIVA
DO CONSUMO DE ÁGUA E COEFICIENTE DE CULTURA DA
ERVILHA (*Pisum sativum* L.)

Autora: ANA CLÁUDIA ARAÚJO DE MELLO

Orientador: Dr. FLÁVIO BUSSMEYER ARRUDA

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo investigar o coeficiente de cultura basal (k_{cb}) (BURMAN et alii, 1980; WRIGHT, 1982) da ervilha (*Pisum sativum* L.) cv Majestic, em relação ao desenvolvimento do dossel vegetativo da cultura, medido através do índice de área foliar (IAF) e porcentagem de cobertura vegetal (%CVeg.).

Um ensaio de campo com quatro populações (36, 50, 81 e 146 plantas/m²) foi conduzido no Centro Experimental de Campinas - Instituto Agronômico do Estado de São Paulo (IAC), durante o inverno de 1991, em área de superfície plana de latossolo roxo, série taquaral. Inicialmente, determinaram-se os parâmetros físico - hídricos do solo, e ao longo do ciclo da cultura, foram medidos os seguintes parâmetros: cobertura vegetal, índice de área fo-

liar, altura de plantas, fitomassa e produção final nos tratamentos de diferentes densidades populacionais. O consumo de água foi determinado para os tratamentos de densidades populacionais de 36, 50 e 146 plantas/m². As irrigações foram realizadas quando a tensão de água no solo atingia 60kPa, a 15cm de profundidade, baseado no tratamento de maior densidade populacional, 146 plantas/m².

A evapotranspiração real (ET_r) da cultura foi determinada pela técnica do balanço hídrico de campo, para períodos entre duas irrigações. A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada pelos métodos do tanque Classe A e Penman modificado, com vistas à obtenção do coeficiente de cultura basal.

Os resultados mostraram que houve acentuado efeito positivo da densidade populacional sobre a produtividade da ervilha cv Majestic; porém, também aumentou a ocorrência de acamamento.

O consumo de água pela cultura, assim como os valores do k_{cb}, variaram com o desenvolvimento da cultura, de acordo com as diferenças de densidades populacionais, e com o método de cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o).

Os valores médios do coeficiente de cultura (k_c), propostos pela FAO (DOORENBOS & PRUITT, 1977), são superiores aos valores de k_{cb} determinados neste estudo,

sobretudo, para o período do início do florescimento até o final da formação da produção.

O coeficiente de cultura basal mostrou-se correlacionado ao índice de área foliar ($r = 0,78$) e à porcentagem de cobertura vegetal ($r = 0,85$). A obtenção de resultados mais consistentes com a cobertura vegetal permitiram o estabelecimento da seguinte relação:

$$kcb = 0,36 + 0,012 (\%CVeg.) - 0,000063 (\%CVeg.)^2$$

Esta equação possibilita a estimativa de kcb pela avaliação do dossel vegetativo da cultura diretamente do campo.

Os resultados obtidos no presente trabalho e a sua concordância com a literatura internacional demonstram a necessidade de mais investigações neste assunto, para a sua generalização em aplicações de campo.

EFFECT OF CANOPY DEVELOPMENT ON WATER CONSUMPTION AND
CROP COEFFICIENT OF PEA (*Pisum sativum* L.)

Auhtor: ANA CLÁUDIA ARAÚJO DE MELLO

Adviser: Dr. FLÁVIO BUSSMEYER ARRUDA

SUMMARY

This work investigates basal crop coefficient, k_{cb} (JENSEN, 1976; WRIGHT, 1982), of irrigated pea (*Pisum sativum* L.) cv. Majestic to canopy development measured as leaf area index (LAI) and percentage ground cover (%GC).

A field experiment was carried out with four population densities (36, 50, 81 and 146 plants per m^2) during the winter of 1991, on a flat, well drained dusky latosol, at the Experimental Center of Campinas, Instituto Agronômico, State of São Paulo. Irrigation was applied whenever soil water tension achieved 60 kPa, at 15cm, based on higher population treatment of 146 plants per m^2 .

Real evapotranspiration (ET_r) was determined between irrigations by field water balance technique. Reference evapotranspiration (ET_o) was estimated by modified

Penman equation and Class A pan evaporation.

Crop production increased with population density close to a linear relation. However, population density also increased lodging.

Water consumption, as well as k_{cb} , were close related to crop development and population densities. Basal crop coefficient was also affected by the methodology used for ETo calculation.

The k_c values indicated by FAO (DOORENBOS & PRUITT, 1977) for pea are higher than those found in this research, specially from flower iniciation till the end of reproductive phase.

Basal crop coefficient was correlated to LAI ($r=0.78$) and to %GC ($r=0.85$). The more consistent results with ground cover, produced the following relation:

$$k_{cb} = 0.36 + 0.012(\%GC) - 0.000063(\%GC)^2$$

That equation allows k_{cb} estimation from canopy evaluation directly from the field.

The present results, and its agreement with the international literature, indicates a necessity of more research on this subject, for general field application.

1. INTRODUÇÃO

O alto custo da irrigação exige que a aplicação d'água seja feita com eficiência. Desta forma, os custos serão reduzidos e não haverá prejuízo da produção por excessos ou falta de água.

O planejamento correto dos equipamentos e o adequado manejo da água na agricultura passam por um razoável conhecimento das demandas consuntivas das lavouras cultivadas em diferentes situações de solo e clima. A obtenção dessas informações deve ser feita com base em experimentação regional, e pelo equacionamento de um modelo que considere os principais atributos ligados ao uso da água na produção vegetal.

A forma mais usual de se estimar o consumo de água das culturas é a partir do consumo potencial de água calculado por fórmulas agrometeorológicas ou a partir de medições feitas em tanques de evaporação instalados em áreas com gramado. A partir destes dados, é feita uma correção para o estágio da cultura, utilizando-se um coeficiente de cultura (k_c), obtendo-se a evapotranspiração máxima da cultura (ET_m).

Nos últimos anos, um grande número de determinações de k_c e evapotranspirações medidas ou calculadas de muitas formas têm sido realizadas em alguns locais para as principais culturas. Os resultados, apesar de sua importância, têm extensão discutível quanto às aplicações em situações de campo.

O k_c tem sido relacionado à idade da planta em termos de dias após o plantio (DOORENBOS & PRUITT, 1977; DOORENBOS & KASSAN 1979). Uma situação de cultivo pela combinação da fertilidade do solo, clima, doenças e demanda evaporativa, nunca se repete, especialmente, quando são comparados diferentes anos, locais e regiões. Dentro de uma mesma região, é normal se observarem lavouras de uma mesma cultura e mesma idade cronológica, porém com grau diferenciado entre crescimento e, certamente, diferentes valores de k_c e ET_m .

Portanto, diante do exposto, há necessidade de se investigarem, com maior detalhe, os parâmetros utilizados para estimativa de consumo de água das culturas. O coeficiente de cultura (k_c) deve ser apresentado de acordo com a nova denominação introduzida por WRIGHT (1982) e BURMAN et alii (1980), possibilitando a separação em componentes e a sua interação com o manejo da irrigação e o efeito do déficit de água. O coeficiente de cultura também deve ser apresentado em termos relativos de planta,

levando-se em consideração o porte e o desenvolvimento da cultura, ao invés de sua idade cronológica.

Com base no exposto, realizou-se o presente estudo com a ervilha, cultivar Majestic (XPC-88), em condições de campo, com o objetivo de: (a) relacionar o coeficiente de cultura basal (k_{cb}) a elementos mensuráveis de planta, tais como índice de área foliar (IAF) e porcentagem de cobertura vegetal (%CVeg.), para sua possível modelagem; (b) estudar o efeito de diferentes densidades populacionais no consumo de água e produção final de grãos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Dos fatores que afetam a produção, a água é um dos itens que limita a produtividade das culturas com maior frequência. Por isto, há importância de se determinar o momento exato de executar a irrigação, bem como a quantidade de água que deve ser reposta ao solo.

WIT (1958) e ARKLEY (1963) citados por ARRUDA (1987), afirmaram que para obter máximas produções de biomassa e, possivelmente, grãos, a transpiração da cultura também deve ser maximizada. Não devem ocorrer déficits hídricos que venham impor restrições à taxa de transpiração da cultura, pois se este ocorrer, especialmente no período crítico das culturas, poderá resultar em decréscimo de produção. Diante de tal constatação, fica claro que para fins de irrigação, o manejo ideal de água é aquele que se aproxima da situação em que não ocorrem restrições hídricas para a transpiração das plantas (ARRUDA, 1987).

-
- WIT, C.T. de Transpiration and crop yields. Verslag. van Landbouwk. Onderzoek, nº 646. 88p. 1958.
ARKLEY, R.J. Relationships between plant growth and transpiration. Hilgardia, 34: 559-84. 1963.

A dificuldade de se separar a transpiração da planta da evaporação do solo, levou a utilização dos dois termos conjugados - Evapotranspiração (ET). THORNTHWAITE (1948) introduziu o termo evapotranspiração potencial como sendo a água evapotranspirada de uma superfície natural coberta por uma vegetação baixa em fase de desenvolvimento ativo e sem restrição hídrica, sendo função somente das condições climáticas prevaescentes.

DOORENBOS & PRUITT (1977) e DOORENBOS & KASSAN (1979) reviram os conceitos e terminologia de consumo de água, e redefiniram a evapotranspiração potencial de THORNTHWAITE (1948), como sendo a evapotranspiração que ocorre em uma superfície totalmente vegetada com grama, com 8 a 15 cm de altura, em fase de desenvolvimento ativo, estando o solo com teor de umidade próximo ao da capacidade de campo; a ela denominaram evapotranspiração de referência (ET_o). A superfície vegetada por uma cultura saudável qualquer, em condições de nenhuma restrição de água em qualquer estágio de desenvolvimento, a perda d'água que ocorre é dita evapotranspiração máxima (ET_m). Para os mesmos autores, a evapotranspiração real (ET_r) refere-se à perda d'água que ocorre em uma cultura qualquer, com ou sem restrição de água, em qualquer estágio de desenvolvimento

JENSEN (1969) sugeriu a adoção da alfafa com 30 a 50 cm de altura, como cultura de referência para a

determinação da evapotranspiração de referência, por apresentar características aerodinâmicas e anatômicas semelhantes às principais culturas. Porém, o uso dessa cultura como referência fica limitada a sua região ecológica de cultivo. PIRES et alii (1988) sugerem a possibilidade do uso do rami como cultura de referência nas regiões tropicais. Certamente, a medição da evapotranspiração ocorrida em gramado tem uma amplitude maior de utilização do que outras culturas.

TANNER (1967) e DOORENBOS & PRUITT (1977), relatam vários métodos para determinação ou estimativa da evapotranspiração. BURMAN et alii (1980) classificam-nos em dois grandes grupos: 1) métodos em que a evapotranspiração pode ser determinada através de medidas diretas; ou seja, métodos do balanço d'água no solo, que incluem os lisímetros pesáveis e os não pesáveis, método do inflow-outflow (entrada-saída) e do controle de umidade no solo; e 2) os métodos indiretos ou de estimativas, que determinam a evapotranspiração através de fórmulas empíricas que requerem medições meteorológicas, dentre estes, cita-se: método de Penman, Penman modificado pela FAO, Jensen - Haise, Blaney - Criddle, tanque Classe A.

SEDIYAMA (1987) relata a existência de vários métodos de estimativa de evapotranspiração, desde modelos muito simples até os baseados em modelos físicos e fisiológicos. A escolha do método deve ser baseada, prin-

principalmente, no tipo de dado climatológico disponível e na precisão requerida na determinação das necessidades hídricas dos cultivos. No entanto, BURMAN et alii (1980) consideram que as equações para estimativa de evapotranspiração que apresentam melhor performance são aquelas que requerem dados diários de radiação, temperatura, pressão de vapor e vento. Existe um consenso em nosso meio de que a equação de Penman é a que melhor se adapta para estimativa da evapotranspiração de referência.

A quantidade de água evapotranspirada depende, principalmente, de fatores da planta, do solo e do clima, sendo este último fator predominante sobre os demais quando não há limitação de água no solo. A demanda consuntiva de uma cultura pode ser definida como a soma da água evapotranspirada, mais a parte retida pelo tecido vegetal durante o seu crescimento. Como a segunda parte é muito pequena em relação à primeira, pode-se considerar a demanda consuntiva igual à evapotranspiração (BERNARDO, 1982). Segundo JENSEN (1969), este total de água retido pelos tecidos das plantas, em geral, equivale a menos de 1% do total evapotranspirado durante o seu ciclo de crescimento.

JENSEN (1969) E PRUITT et alii (1972) constataram que para uma mesma cultura, podem-se esperar diferenças no consumo de água quando cultivada em diferentes regiões, condições climáticas e épocas de plantio, fato

este atribuído aos parâmetros meteorológicos controladores da evapotranspiração (radiação solar, vento, umidade relativa e temperatura).

As plantas, desde a semeadura até a colheita, passam por diferentes estágios, em que as necessidades hídricas também são distintas. O aumento do uso das irrigações, assim como o alto custo envolvido em tal prática, tem aumentado a procura por informações a respeito dos requerimentos de água em todos os estágios de desenvolvimento das culturas. Uma maneira de se quantificar essas necessidades é a determinação da evapotranspiração de referência (ET_0), que por intermédio de um coeficiente apropriado para os vários estágios de desenvolvimento, denominado coeficiente de cultura (k_c), pode-se estimar a evapotranspiração máxima da cultura (ET_m), pela seguinte relação (DOORENBOS & PRUITT, 1977):

$$ET_m = k_c \cdot ET_0$$

O coeficiente de cultura (k_c) tem sido objeto de intensa pesquisa na determinação do consumo de água das plantas, por estágio de desenvolvimento.

Utilizando-se de um lisímetro de nível constante, CURY (1985) determinou os coeficientes de cultura para o repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata* L) em relação à evapotranspiração de referência (ET_0) estimada pelos métodos de Penman, Penman modificado, Tanque Classe A, Radiação Solar, Thornthwaite, Thornthwaite modificado, Li-

nacre. Essa autora comparou os valores de k_c com os propostos pela FAO (DOOREENBOS & KASSAN, 1979). Concluiu haver uma grande variabilidade entre os mesmos, e que os valores do período do inverno foram sempre maiores que os de verão, sugerindo, pois, não se utilizar um coeficiente único anual

ASSIS (1978) correlacionou os valores de medida de evapotranspiração de referência através de lisímetros de nível constante com os valores estimados através o Tanque Classe A e Penman. Concluiu que, para a região de Piracicaba, a relação entre os valores medidos pelo lisímetro (M) e os estimados (E) pela equação de Penman, é da forma: $ET_{oE} = 0,81ET_{oM}$; diferença esta atribuída à advecção local não computada por aquela equação. Observou ainda, haver uma correlação altamente significativa entre os valores de evapotranspiração medidos na grama e estimados pelo Tanque Classe A.

Com o intuito de avaliar a evapotranspiração máxima dos vários estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar no ciclo da 1ª soca, em Piracicaba, PERES (1988), utilizando-se de um equipamento semelhante aos utilizados por ASSIS (1978) e CURY (1985), concluiu não haver diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade entre os coeficientes de cultura determinados pelos métodos de Penman e Tanque Classe A; porém ambos diferiram estatisti-

camente do coeficiente de cultura determinado pelo método de Thornthwaite.

PAVANI (1985) desenvolveu um experimento cujo objetivo foi avaliar a produtividade do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*, L.), sob três níveis de evapotranspiração. De acordo com os resultados obtidos, as principais conclusões foram:

- o maior consumo d'água da cultura se verificou no período de floração e enchimento dos grãos, em que os valores decendiais do coeficiente de cultura (k_c) foram os mais elevados e dependentes da variação do índice de área foliar (IAF) da cultura;

- Os valores decendiais de k_c estimados foram sempre superiores aos do k_c propostos pela FAO (1979), no período entre o 3º e o 9º decêndio da cultura.

Utilizando-se de uma bateria de três lisímetros de nível freático constante, COSTA (1989) determinou os valores de coeficiente de cultura (k_c) por fase de desenvolvimento vegetativo da cultura do trigo (*Triticum aestivum*, L), pelos métodos de Penman, Penman modificado, Tanque Classe A, Radiação Solar e Thornthwaite. Esse autor concluiu que os valores de k_c determinados pelos métodos de Penman e Penman modificado foram os que apresentaram maior concordância com os valores recomendados pela FAO (DOORENBOS & KASSAN, 1979).

VOLPE (1986) e MINCHIO & VOLPE (1987) determinaram os consumos de água e os coeficientes de cultura para diferentes cultivares de ervilha (*Pisum sativum* L.), através de lisímetros de drenagem profunda, e estimando a evapotranspiração de referência através do método do tanque Classe A. Observaram que os valores de k_c obtidos para os diferentes períodos de crescimento dos cultivares, desde a semeadura até a colheita de grãos secos, foram mais elevados que aqueles sugeridos pela FAO (DOORENBOS & KASSAN, 1979).

Esta grande variabilidade entre os valores obtidos de k_c , mostram, dentre outros fatores, a grande discrepância existente entre as várias fórmulas para estimativa da ETo .

HANKS & ASHCROFT (1980) teceram comentários a respeito dos valores de k_c e enfatizaram a variação deste coeficiente em função da latitude. Esse fato, a rigor, inviabiliza a utilização de valores de k_c universais, como por exemplo os da FAO (DOORENBOS & PRUITT, 1977; DOORENBOS & KASSAN, 1979).

Segundo HILLEL (1990), k_c é maior em clima quente, com vento seco, do que em clima ameno, calmo e úmido. k_c varia largamente entre as culturas, devido às diferenças em altura das plantas, "rugosidade" da superfície evaporante, reflectividade, grau de cobertura e resistência do dossel vegetativo à transpiração.

SAMIS et alii (1985) para as condições do Novo México (EUA) relacionaram o coeficiente de cultura (k_c) da alfafa (ET_{medido}/ET_{Penman}) com graus-dias de crescimento (G), acumulados pela soma da temperatura média diária menos a temperatura basal da cultura ($5^{\circ}C$). Eles obtiveram a seguinte relação, estatisticamente significativa:

$$k_c = 0,405 + 1,11 \cdot 10^{-3}G - 4,25 \cdot 10^{-7}G^2 + 3,56 \cdot 10^{-10}G^3$$

Vários pesquisadores (WRIGHT, 1982; BURMAN et alii, 1980) têm apresentado um novo conceito de k_c , que incorpora o ajuste devido ao molhamento da superfície do solo na época de irrigação ou chuva e o efeito do déficit hídrico. Sua representação é a seguinte:

$$k_c = k_{cb} + k_{cs} + k_s$$

em que k_{cb} é o valor basal do coeficiente de cultura quando o suprimento d'água é adequado, mas a superfície do solo é seca; k_{cs} é o fator cultura-solo e expressa o efeito da disponibilidade de água; e k_s é o fator que considera a evaporação d'água da superfície do solo.

JENSEN et alii (1971) propuseram a seguinte relação para o valor de k_{cs} (cultura-solo):

$$k_{cs} = \frac{\ln(AD_i + 1)}{\ln 101}$$

em que AD_i é a água disponível existente no solo (%), sendo 100% para a C.C. e 0% quando no PMP. Esta função indica pequena redução na transpiração até que a água disponível esteja abaixo de 75% e também não há grande redução até

que pelo menos 50% da AD seja consumida. O k_c representa o efeito direto do stress hídrico, principalmente na abertura dos estômatos.

O fator de evaporação do solo (k_s) pode ser estimado por:

$$k_s = (1 - k_{cb})N^{-t}$$

em que t é o número de dias desde a irrigação ou chuva, N é um fator que relaciona a textura do solo; sendo 1,0 para argila; 1,5 para franco-argiloso; 2,0 a 2,5 para franco (barro) e 3,0 a 3,5 para areia. Logo após a irrigação ($t = 0$), k_s é complementar a k_{cb} , e o $k_c = 1.0$. Com o passar do tempo k_s , torna-se desprezível.

Utilizando-se deste novo conceito para determinação do coeficiente de cultura, WRIGHT (1982) determinou-os por estágio de desenvolvimento para as culturas irrigadas de alfafa, batata, beterraba, ervilha, milho e cereais de inverno e primavera, para regiões do Nordeste do Pacífico. O referido autor afirma que os novos coeficientes de cultura (k_c) determinados, quando combinados, com estimativas de evapotranspiração de referência diárias, permitem maior exatidão nas estimativas de evapotranspiração real das culturas (E_{Tr}), assim como no planejamento da irrigação.

As plantas influenciam a evapotranspiração através da área foliar e cobertura vegetal que elas produzem, altura e resistência oferecida ao fluxo d'água através da planta para a atmosfera (BLAD, 1983).

Vários autores, dentre eles PETRASOVIC (1973), WRIGHT (1982) e PAVANI (1985) notaram uma estreita relação entre k_c e a área foliar ao longo do ciclo da cultura. Por exemplo, BRUN et alii (1972) mostraram que a fração do total da evapotranspiração relativa à transpiração esteve estreitamente relacionada ao índice de área foliar (IAF); para um IAF de 2,0, a transpiração (T_p) foi de aproximadamente 50% do total evapotranspirado, enquanto que para um IAF de 5,0, a transpiração (T_p) foi equivalente a 95% do total evapotranspirado. Tendências similares foram encontradas por FERERES & VILLALOBOS (1990) para as culturas de algodão, girassol e milho.

LUEBS et alii (1975) e MOURA (1990) observaram que com adequada disponibilidade de água, respectivamente, para as culturas da cevada (*Hordeum vulgare* L.) e do milho (*Zea mays* L.), a evapotranspiração esteve relacionada à quantidade de cobertura vegetal.

GOLDBERG et alii (1967) mostraram uma boa aproximação dos valores de k_c com a porcentagem de cobertura vegetal (%C.V_{eg}.) para a cultura do amendoim. O valor de k_c variou ao longo do ciclo da cultura da seguinte forma: solo nu até 20% de cobertura V_{eg}etal o k_c manteve-se estável em torno de 0,3, a partir de então, houve um crescimento linear entre k_c e a % C.V_{eg} até que, para 100% de cobertura vegetal o valor de k_c atingiu 1,0.

HEILMAN et alii (1982) realizaram um estudo com a cultura da alfafa (*Medicago sativa* L.) para obtenção do k_c sob quatro níveis de irrigação. Observaram uma estreita relação ($r = 0,815$) entre o k_c e a porcentagem de cobertura vegetal em todos os tratamentos.

TAN & FULTON (1980) realizando estudos para determinação de k_c para as culturas de batata, milho e tomate industrial, também observaram relações de dependência entre o coeficiente de cultura e a porcentagem de cobertura vegetal.

Levando-se em consideração os componentes de k_c , e assumindo uma estreita relação de k_c e k_{cb} com a $\%C.V_{eg}$, ARRUDA (1989) propõe critérios práticos para determinação do coeficiente de cultura no Estado de São Paulo para uso em irrigação sem restrição hídrica. Tais parâmetros são assim recomendados: no dia da irrigação, independente da porcentagem de cobertura vegetal, o valor que o k_c assume é sempre 1,0; após a irrigação, os valores de k_c irão variar de acordo com a porcentagem de cobertura vegetal da seguinte forma: no estágio inicial da cultura, quando o solo encontra-se em grande parte descoberto ($\%C.V_{eg} < 30\%$) o k_c assume um valor 0,3; em seguida, quando o solo encontra-se parcialmente vegetado, ou seja, $30\% < \%C.V_{eg} < 100\%$, o valor do k_c será dado pela relação $k_c = \%C.V_{eg} / 100$. Quando o solo encontra-se totalmente vegetado, ($\%C.V_{eg} = 100\%$) o valor de k_c será 1,0.

ESPINOZA (1979) realizou um estudo em que avaliou o efeito da densidade de plantio (20, 40, 60 e 80 mil plantas por hectare) sobre a evapotranspiração da cultura do milho irrigado. Ele concluiu que a evapotranspiração aumentou com a densidade de plantio. Esse fato foi explicado pela estreita relação ($r = 0,99$) entre a evapotranspiração (ET) e o índice de área foliar (IAF), determinados na fase de florescimento da cultura em todos os tratamentos.

ASSIS et alii (1991) mediram a evapotranspiração máxima (ET_m) do sorgo (*Sorghum bicolor*) através de um evapotranspirômetro de nível de água constante. Observaram que a taxa de variação da ET_m durante o ciclo da cultura, seguiu o mesmo padrão do índice de área foliar (IAF), com uma equação de regressão da seguinte forma: $ET_m = 3,0 + 0,22IAF$ ($r = 0,996$). Segundo os autores, este fato, se confirmado, representaria uma grande vantagem na avaliação da ET_m de culturas. No entanto, ao se fazer uma análise da equação de regressão proposta por estes autores, percebe-se que ao relacionar a ET_m apenas ao IAF os autores estão ocultando o efeito da demanda atmosférica expresso através da ET_o, o que trará como consequências erros de estimativas da ET_m para diferentes anos, principalmente em regiões que apresentem oscilações climáticas. Em face do exposto, parece ser mais conveniente relacionar o IAF ao coeficiente de cultura (kc), visto que ambos são função principalmente da planta.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Local

O presente estudo foi realizado no Centro Experimental de Campinas do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo (IAC), cujas coordenadas geográficas são 22°53'S de latitude, 47°04'W de longitude, e altitude de 706 metros.

3.2. Clima

O clima regional é do tipo "CWA", conforme classificação de Koppen, definido como inverno seco, temperatura do mês mais quente superior a 22°C e do mês mais frio inferior a 18°C. Os valores normais de precipitação anual são de 1365mm, evapotranspiração potencial anual de 955mm, com excedente hídrico de 433mm, e deficiência hídrica de 23mm, obtidos pelo balanço hídrico de THORNTHWAITTE & MATTER (1955), considerando-se um armazenamento de 125mm de água no solo, conforme dados fornecidos pela Seção de Climatologia Agrícola do IAC.

Os dados meteorológicos usados neste trabalho, relativos ao ciclo da cultura, estão apresentados nas Tabelas 1 a 3 do Apêndice. Eles foram obtidos no Posto Meteorológico instalado no CEC, sob condições padronizadas e fornecidos pela Seção de Climatologia Agrícola do IAC.

3.3. Solo

O solo local foi classificado como latossolo roxo, série taquaral, de acordo com a Seção de Pedologia do IAC.

3.3.1. Textura e Densidade

A textura do solo foi determinada através da análise granulométrica, pelo método da pipeta na quantificação do teor de argila; tamisamento para a separação da fração areia e, por diferença, o teor de silte, após dispersão da terra fina seca ao ar (TFSA) com hidróxido de sódio e agitação mecânica (CAMARGO et alii, 1986).

A densidade global do solo, a cada 20 cm até a profundidade de 100 cm, foi determinada utilizando-se amostras indeformadas coletadas em anéis volumétricos de 100cm³. Para as mesmas profundidades, através do método do picnômetro, foi estabelecida a densidade de partículas (CAMARGO et alii, 1986). Os resultados da análise granulométrica

étrica, densidade global e de partículas, encontram-se na Tabela 1 e foram determinados pela Seção de Pedologia do IAC.

Tabela 1 - Resultados da análise física, do latossolo roxo, série taquaral, Campinas, SP.

Prof.	Areia		Silte	Argila	Densidade	
	Grossa	Fina			Global	Partícula
	%				g.cm ⁻³	
0-20	16,7	17,1	5,0	61,2	1,22	2,73
20-40	13,2	14,3	5,0	67,5	1,13	2,76

3.3.2. Curva de retenção da água

A curva característica de água do solo foi determinada mediante extratores de placas porosas (RICHARDS, 1956). Para tal, foram coletadas amostras indeformadas de solo através de anéis volumétricos de 100 cm³ para profundidades de 25, 35, 45, 55 e 65 cm; as amostras para a camada superficial de 0-20 cm foram preparadas em laboratório, passando-as em peneiras de malha de 2 mm.

As amostras foram submetidas a pressões que variaram de 0,1 a 15,0 atm, na panela e na câmara de Richards, com cinco repetições para cada profundidade; determinando-se por desorção a relação entre umidade do solo e o potencial matricial para cada profundidade de 0-70 cm. Aos resultados obtidos, por camada de solo, foram ajusta-

das curvas do tipo propostas por VAN GENUTCHEN (1980), de acordo com programa computacional específico desenvolvido por DOURADO NETO et alii (1990), cuja equação ajustada é a seguinte:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_o + \theta_r}{[1 + (\alpha \cdot h)^n]} \quad (1)$$

sendo θ a umidade volumétrica do solo num instante qualquer ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$) correspondente ao módulo do potencial h (cm de água); θ_o e θ_r , são respectivamente, as umidades volumétricas do solo na saturação, e a residual correspondente ao potencial de 15000 cm de água, ambas em $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$, e α, m, n são parâmetros do solo.

Os parâmetros α, m, n, θ_o e θ_r da equação (1), para as diferentes profundidades do solo, encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros da curva de retenção de água solo, para seis profundidades do latossolo roxo, série taquaral, segundo o modelo de Van Genuchten (1980).

Profundidade	Parâmetros				
	α	m	n	θ_o	θ_r
cm	cm. água			--- $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ---	
0-20	0,011493	0,404447	1,679112	0,553	0,223
20-30	0,095555	0,285200	1,398992	0,520	0,297
30-40	0,124962	0,299056	1,426647	0,561	0,265
40-50	0,116450	0,300133	1,428843	0,565	0,257
50-60	0,086720	0,307745	1,444555	0,556	0,259
60-70	0,084016	0,342480	1,520865	0,579	0,258

3.3.3. Condutividade hidráulica

O valor da condutividade hidráulica do solo ($K\theta$), em função da sua umidade (θ) foi determinada através da equação desenvolvida por VAN GENUCHTEN (1980). Este autor relaciona a condutividade hidráulica relativa, K_r , à curva característica de água no solo, baseado em um modelo desenvolvido por MUALEN (1976). Para camadas individuais de solo, a condutividade hidráulica relativa, K_r , em função do seu conteúdo de água, é estimada por:

$$K_r = W^{1/2} \cdot [1 - (1 - W^{1/n})^m]^2 \quad (2)$$

sendo W uma unidade adimensional, dada pela equação:

$$W = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_o - \theta_r} \quad (3)$$

em que os parâmetros m , n , θ , θ_r e θ_o são os mesmos já definidos na equação 1 da curva característica (Tabela 2).

Para o cálculo da condutividade hidráulica relativa do solo em função de sua umidade, K_r , basta obter o valor de W correspondente ao de θ desejado pela eq.(3) e aplicar na eq.(2). A condutividade hidráulica do solo em função de θ , $K(\theta)$, é finalmente obtida, multiplicando-se os valores da eq.(2), condutividade hidráulica relativa, K_r , pela condutividade hidráulica saturada do solo, K_o .

O valor da condutividade hidráulica saturada do solo, K_o , determinada através do teste de infiltração de água no solo no local do experimento, é de $3,60 \text{ cm.h}^{-1}$.

3.4. Cultura

O cultivar de ervilha (*Pisum sativum* L.) selecionado para o presente estudo foi o Majestic (XPC-88), de ciclo curto, por tratar-se de uma cultura de inverno bastante resistente às baixas temperaturas (INSTITUTO AGRONÔMICO, 1987).

3.5. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos referiam-se a diferentes espaçamentos entre linhas de plantio (15, 30, 45 e 60 cm), o que correspondiam, respectivamente, às populações de 146; 81; 50 e 36 plantas por metro quadrado, para induzir diferenças em área foliar e cobertura vegetal entre as parcelas.

As parcelas, em número de 20, tinham as dimensões de 8 por 5 metros, e eram circundadas por uma área tampão vegetada com ervilha, perfazendo um total de 1 ha.

3.6. Instalação e condução do experimento

Foram realizadas duas gradagens e uma aração no solo e logo após, foi passado um sulcador com hastes distanciadas de 60 cm.

A semeadura foi realizada manualmente em 10 de julho de 1991, em sulcos feitos com enxada na direção N-S, com aproximadamente 5 cm de profundidade. Foram semeadas 30 sementes por metro linear o que corresponde, em média, a 20 plantas viáveis por metro, em todos os tratamentos. A emergência ocorreu uma semana após o plantio.

Foi realizada uma adubação à lanco nos sulcos, na semeadura, com 1000 kg/ha da fórmula 4-14-8. Trinta dias após a germinação realizou-se uma adubação de cobertura na área com nitrocálcio na dosagem de 600 kg/ha.

Foram feitas duas capinas manuais, aos 15 e aos 33 dias após a semeadura, para controle das ervas daninhas. Durante o experimento, foram necessárias duas aplicações de inseticidas, sendo que a primeira delas foi realizada para combate do tripses com uso do Folidol, e a segunda para combate do pulgão com uso de Phosdrim. Estas aplicações foram feitas aos 23 e 50 dias após o plantio.

3.7. Balanço Hídrico

O consumo de água da cultura foi avaliado através do balanço de massas em um volume de controle do solo equivalente aos primeiros 40 cm de profundidade.

A equação do balanço hídrico de uma camada de solo de profundidade z num intervalo de tempo $t_2 - t_1$, é descrita da seguinte forma (REICHARDT, 1985):

$$\int_{t_1}^{t_2} (p + i + d_s - q_e + q_z) \cdot dt = \int_0^2 \int_{t_1}^{t_2} \left(-\frac{\partial \theta}{\partial t} \right) dt \cdot dz \quad (4)$$

em que p , i , d_s , q_e e q_z representam, respectivamente, os fluxos de precipitação, irrigação, escoamento superficial, evapotranspiração e drenagem profunda ou ascensão capilar ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$); e θ representa a unidade volumétrica do solo ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$). A primeira parte da equação representa os fluxos de entrada e saída. O segundo membro da equação corresponde à variação no armazenamento da água dentro do volume de controle, num dado período de tempo.

A equação 4 pode ser escrita de maneira mais simplificada, integrando-a com relação ao tempo e à profundidade:

$$P + I + R + DS - ETr = \Delta A \quad (5)$$

em que ΔA representa a variação (em mm) nos conteúdos de água no solo, no volume de controle no período considerado.

O deflúvio superficial não foi considerado na análise dos componentes do balanço hídrico, devido à pouca declividade do terreno (menos de 2%), alta velocidade de infiltração do solo ($K_0 = 36 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$), associados às baixas precipitações ocorridas e alto controle das irrigações durante o ensaio. Assim, a expressão utilizada para a determinação da evapotranspiração, foi:

$$ETr = P + I + DS + \Delta A \quad (6)$$

Na avaliação dos componentes do balanço hídrico, a profundidade de 40cm considerada para o volume de controle esteve correlacionada com a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, que no caso da ervilha, segundo PIRES & WUTKE¹, limita-se aos primeiros 30cm.

3.7.1. Variação no armazenamento de água no solo

A variação no armazenamento de água no solo foi estimada a partir de perfis consecutivos de umidade do solo, obtidos entre duas irrigações.

Para determinação de θ , foi empregado o método gravimétrico, através de amostras coletadas com trado nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40cm, com 5 repetições por tratamento. Após a coleta, as amostras eram acondicionadas em latas de alumínio e secas em estufas à 105°C por 48 horas. Para a estimativa do armazenamento de água no solo (A), foi empregada a fórmula:

$$A = \bar{\theta} \cdot Z \quad (7)$$

em que $\bar{\theta}$ é a umidade média do perfil do solo ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$) até a profundidade Z igual a 40cm.

A variação nesse armazenamento (ΔA) num período $t_2 - t_1$ foi determinada por:

$$\Delta A = A_2 - A_1 \quad (8)$$

1. Pires, R.C.M. & WUTKE, E.B. (IAC, Instituto Agronômico de Campinas) Comunicação pessoal, 1991.

em que A_1 e A_2 são os armazenamentos de água no solo (mm) nos tempos considerados.

3.7.2. Precipitação pluvial e irrigação

A precipitação pluvial foi obtida com dados diários observados em um pluviômetro situado próximo à área cultivada.

As irrigações foram realizadas por meio de aspersores instalados na área, no espaçamento de 12 por 18m, cujas vazões eram medidas através de um hidrômetro instalado na linha mestra de adução. O controle das irrigações foi feito por meio de tensiômetros e amostragens gravimétricas do solo, e iniciadas quando a tensão de água no solo na zona das raízes (15cm) atingia 0,06 MPa.

As lâminas aplicadas foram suficientes para elevar a umidade do solo à capacidade de campo. Nas parcelas específicas para o balanço hídrico, as lâminas de irrigação foram medidas através de pluviômetros instalados nas mesmas.

3.7.3. Drenagem profunda

Os fluxos verticais de água no solo na profundidade limite (Z) do volume de controle, foram estimados, diariamente, a partir da equação de Darcy:

$$q_z = -K(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial z} \quad (9)$$

em que q_z é o fluxo vertical, ascendente ou descendente, em $\text{cm}^3.\text{cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$; $K(\theta)$ é a condutividade hidráulica em função da umidade do solo, em $\text{mm}.\text{dia}^{-1}$; $-\frac{\partial \psi}{\partial z}$ é o gradiente de potencial hidráulico em $\text{cm}.\text{cm}^{-1}$.

O potencial matricial e a condutividade hidráulica de cada camada de solo foram calculados a partir da medição da umidade do solo, da curva característica e da relação $K(\theta)$.

Diariamente, determinou-se um valor médio da condutividade hidráulica, da seguinte forma:

$$K(\theta) = \frac{K(\theta_1) + K(\theta_2)}{2} \quad (10)$$

A drenagem total em determinado período foi calculada por:

$$DS = q_z \cdot \Delta t \quad (11)$$

em que DS é a drenagem total no período (mm); q_z , o fluxo de água na profundidade $Z = 40\text{cm}$; e Δt , o intervalo em dias entre duas amostragens.

3.7.4. Evapotranspiração real (ETr)

A evapotranspiração real da cultura (ETr) dos tratamentos submetidos ao balanço hídrico de campo, foi calculada a partir da resolução de cada um dos elementos da eq.(6); sendo que ETr foi a incógnita em determinação.

3.8. Evapotranspiração de referência (ET_o)

Para determinação da evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹) foram utilizados dados meteorológicos relacionados aos seguintes métodos:

3.8.1. Método do Tanque Classe A (ET_{oA})

A evapotranspiração de referência medida através do tanque Classe A (ET_{oA}), em mm.dia⁻¹, foi estimada pelos resultados da evaporação do Tanque Classe A (E_{tanque}), pela relação (DOORENBOS & KASSAN, 1979):

$$ET_{oA} = E_{tanque} \cdot k_p \quad (12)$$

em que E_{tanque} é a evaporação do Tanque Classe A (mm.dia⁻¹) representada pelo valor médio diário do período considerado, k_p é o coeficiente do tanque que foi determinado a partir do valor da velocidade média do vento, da umidade relativa do ar, e das condições de exposição do tanque. O valor do k_p foi calculado diariamente durante todo o ciclo da cultura, segundo DOORENBOS & PRUITT (1977).

3.8.2. Método de Penman Modificado (ET_{oPn*}) (VILLANOVA & OMETTO, 1981)

Este método é uma versão do método de Penman (1948), modificado e adaptado para o Estado de São Paulo

por VILLA NOVA & OMETTO (1981). Esta versão é indicada para áreas em que se dispõe de dados de temperatura média diária (T) em °C, duração média real de insolação (n) em h.dia⁻¹ e evaporação diária medida em evaporímetro de Piché (Pi).

A evapotranspiração de referência medida através deste método (EToPn*), representa o valor médio em mm/dia do período considerado, e é obtida através da seguinte relação:

$$EToPn^* = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} H + 0,28 Pi \quad (13)$$

Os coeficientes de ajuste para o termo energético ($\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$), são valores expressos em função da temperatura em graus centígrados; são apresentados em forma de tabelas em OMETTO (1981).

O termo H significa a energia líquida disponível sobre superfícies vegetadas. Nesta simplificação do método de Penman (1948), os pesquisadores indicam duas equações para estimativa do balanço de energia, sendo uma para o período primavera - verão e outra para o outono/inverno. Para o presente estudo, conduzido no período de Julho a Setembro, adotou-se a equação utilizada para determinação do termo energético, correspondente ao período outono - inverno.

$$Hoi = Qo[0.17 + 0,11 \frac{n}{N}] \quad (14)$$

Sendo Q_0 a radiação solar global no topo da atmosfera em mm/dia, N o número máximo de horas de brilho solar e n o número de horas de sol ocorrido naquele dia.

3.9. Coeficiente de cultura

O coeficiente de cultura k_c é obtido pela relação:

$$k_c = \frac{ET_r}{ET_o} \quad (15)$$

em que ET_r é a evapotranspiração real medida no tratamento de irrigação e ET_o a evapotranspiração de referência, que depende exclusivamente das condições climáticas.

Vários métodos podem ser adotados na sua determinação, dependendo da forma de obtenção da ET_o . No presente estudo, eles foram estimados, indiretamente, pela evaporação do tanque Classe A e método de Penman Modificado, e diretamente, através do balanço de água no solo (ET_r).

3.10. Cobertura vegetal

A cobertura vegetal foi determinada utilizando-se o método da corda descrito por SLONEKER & MOLDE-
NHAUER (1983). Para tanto, utilizou-se uma corda com 100 pontos assinalados a cada 10cm ao longo do seu comprimento, a qual era estendida no topo das folhagens formando

um ângulo de 45° em relação às linhas de plantio; o número de pontos cuja projeção horizontal coincidia com as áreas vegetadas, representava, diretamente, o valor da porcentagem de cobertura vegetal. Essas medições foram realizadas em períodos que variaram de 5 a 22 dias, com duas medições por parcela; o que resultava em 10 repetições por tratamento.

3.11. índice de área foliar

O índice de área foliar (IAF) refere-se à área da superfície da folha ocupada por unidade de área da superfície do solo. As coletas das plantas para a determinação do IAF foram realizadas em intervalos de quinze dias, durante o ciclo da cultura. Para medição da área foliar da cultura, foi utilizado um perfurador de folhas, com o qual foram tomadas amostras (discos de tecido foliar) postas à secagem em estufa de ventilação forçada, a uma temperatura de 70° C, até que atingissem peso constante. O IAF foi determinado, relacionando-se o peso da matéria seca da área conhecida dos discos de tecido foliar com o peso da matéria seca restante, de acordo com recomendações de BLACKMAN & WILSON (1951).

3.12 Altura de plantas

As alturas das plantas foram medidas ao longo do ciclo da cultura, tomando-se a distância entre o topo das folhagens e a superfície do solo.

3.13. Fitomassa e produção final

Em todos os tratamentos foram feitas as avaliações de acúmulo de matéria seca da cultura. As amostragens de plantas para análise de fitomassa foram realizadas durante o ciclo da cultura, amostrando-se a parte aérea de 1,0 m de linha de plantio por parcela. O material colhido era pesado depois de seco à 60°C por 2 a 3 dias.

A medição final da produção foi feita em uma área de 12,0 m² por parcela. Foram retiradas amostras de plantas para determinação do número de plantas por área e peso de 1000 sementes (EVANS, 1972).

Também foi determinado o índice de colheita (IC), que é a relação entre a produção final de grãos e a matéria seca total, para todos os tratamentos.

A colheita em todas as parcelas foi realizada aos 62 dias após a emergência.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Desempenho da cultura

4.1.1 Fitomassa

Na Figura 1, encontram-se os resultados da evolução de matéria seca na parte aérea para os quatro tratamentos de populações da ervilha irrigada. Os resultados se mostram variáveis em todos os tratamentos, apesar do tamanho da amostra coletada (5 metros de linhas de plantas por tratamento).

A acumulação da matéria seca aumentou sempre durante todo o ciclo, em função dos níveis populacionais; os maiores valores ocorreram com os de altas densidades. Porém, as diferenças observadas em cada data não seguem as mesmas proporções em relação às densidades populacionais.

No final do ciclo, não houve uma tendência de estabilização na acumulação da matéria seca em nenhum dos tratamentos. Esse fato é mais evidenciado nos tratamentos de maiores níveis populacionais. O padrão de acumulação verificado, possivelmente, seja resultado da grande

Figura 1. Acúmulo de matéria seca (g/m^2) ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura da ervilha, para as diferentes populações, no ano de 1991, Campinas, SP.

precocidade da cultura (69 dias), exacerbado pelo plantio tardio e pelo período quente e seco ocorrido no final do ciclo.

A precocidade no ciclo da cultura foi maior nos dois tratamentos de maior densidade populacional, tendo a sua colheita sido realizada com 4 dias de antecedência.

Por fim, foram obtidas, através da análise de regressão linear, as equações que descrevem o acúmulo de matéria seca da ervilha ao longo do tempo, para as diferentes densidades populacionais (Tabela 3). O modelo linear foi selecionado em virtude de os resultados não demonstrarem o típico formato sigmóide da curva de crescimento.

Os coeficientes de correlação obtidos para cada equação mostram que houve correlação altamente positiva para todos os tratamentos. Desta forma, as equações obtidas poderão ser utilizadas para as estimativas do acúmulo de matéria seca, quando forem considerados períodos e condições experimentais similares às do presente estudo. As taxas médias de acúmulo de matéria seca ou taxa de crescimento da cultura, foram de 4,66; 6,0; 8,6 e 9,88 $\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, respectivamente para as densidades populacionais de 36, 50, 81 e 146 plantas/ m^2 , mostrando o forte efeito dos tratamentos.

Tabela 3 - Equações de regressão linear para os tratamentos de diferentes densidades populacionais da cultura da ervilha, para o ano de 1991 em Campinas, SP. M é a matéria seca total (g/m^2) e t é o número de dias após a emergência (DAE).

Tratamento pl/m^2	Equação regressão linear	Coef. Correlação
146	$M = 9,88 t - 126.3$	0,9812
81	$M = 8,60 t - 127.5$	0,9717
50	$M = 6,00 t - 97.8$	0,9895
36	$M = 4,66 t - 76.3$	0,9897

4.1.2. Altura de plantas

Houve evolução normal da altura de plantas durante todo o ciclo para todos os tratamentos, conforme pode ser visto pela Figura 2. Com exceção do tratamento de alta densidade populacional (146 plantas/ m^2), não foram acentuadas as diferenças de altura de plantas, desde o início até o final do ciclo, entre os outros tratamentos.

Os valores máximos atingidos de altura de plantas para todos os tratamentos ocorreram no início da formação da produção, aos 40 dias após emergência, atingindo resultados que variaram de 25 a 30 cm, entre tratamentos.

No final do ciclo, houve uma queda acentuada da altura de plantas, em todos os tratamentos, resultado do acamamento das plantas que se iniciou no final do estágio de formação da produção, quando as vagens atingiram pesos maiores.

Figura 2. Altura de plantas (cm), ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura da ervilha, para as diferentes populações, no ano de 1991, Campinas, SP.

4.1.3. índice de área foliar (IAF)

A variação do IAF ao longo do ciclo de desenvolvimento da ervilha é mostrada na Figura 3.

A evolução do IAF acompanhou, durante todo o ciclo, a diferença dos níveis populacionais entre tratamentos. Apesar desta proporcionalidade, os valores máximos atingidos entre os tratamentos não foram diretamente proporcionais, sendo de 1,6; 2,3; 4,3 e 5,5 respectivamente, para as densidades populacionais de 36, 50, 81 e 146 plantas/m².

Os valores máximos de IAF, em todos os tratamentos, foram alcançados no início do estágio de formação da produção.

Constatou-se que, apesar de o IAF ter atingido um valor acima de 5 para o tratamento de maior densidade populacional, a cobertura vegetal não se encontrava completa.

O IAF presente nas plantas mostrou uma redução no terço final do ciclo atingindo valores médios para as densidade populacionais de 146, 81, 50 e 36 plantas/m², respectivamente de 3,0; 2,5; 1,4 e 1,2.

Figura 3. índice de área foliar ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura da ervilha, para as diferentes populações, no ano de 1991, Campinas, SP.

4.1.4. Cobertura vegetal

A evolução da cobertura vegetal ocorrida nos tratamentos de diferentes níveis populacionais é mostrada na Figura 4. As diferenças populacionais, entre os tratamentos, induziram diferenças de cobertura vegetal ao longo de todo o ciclo da cultura. Apesar da alta densidade populacional imposta pelos tratamentos, nenhum deles atingiu a cobertura vegetal completa.

Para os dois tratamentos de maiores densidades populacionais, esperava-se que, durante boa parte do ciclo, fossem alcançados índices de cobertura vegetal completa. Os maiores valores atingidos em todos os tratamentos ocorreram entre a fase final do florescimento e início da formação da produção, valores estes de 92, 82, 56 e 48%, respectivamente, para os tratamentos de densidades populacionais de 146, 81, 50 e 36 plantas/m².

No final do ciclo, houve um decréscimo da cobertura vegetal em todos os tratamentos, porém nos dois tratamentos de maiores índices populacionais este decréscimo foi bem mais acentuado que nos outros. Este fato pode ser justificado por diversos fatores, dentre eles, o menor tamanho das folhas, a senescência precoce e possivelmente por um stress hídrico imposto tanto pelo manejo, quanto pela demanda atmosférica maior deste período final (Tabelas 1, 2 e 3 em APÊNDICE).

Figura 4. Cobertura Vegetal (%) ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura da ervilha, para as diferentes populações, no ano de 1991, Campinas, SP.

4.1.5. Produção final

Na Tabela 4, encontram-se os resultados de produção final de grãos obtidos com os tratamentos de diferentes níveis populacionais. A produção variou de 2557 kg/ha para o tratamento de maior densidade populacional, até 1258kg/ha para o de menor. Segundo o INSTITUTO AGRÔNOMICO (1987), a produtividade normal esperada, dependendo de um bom manejo da cultura e das condições climáticas favoráveis, varia de 1500 a 3000 kg/ha. WUTKE et alii (1990 e 1991) desenvolveram estudos com diferentes cultivares de ervilha, sob irrigação, para as condições do Estado de São Paulo. As produtividades máximas alcançadas pelo cultivar Majestic, variaram de 1673 a 1860 Kg/ha. Portanto, a produtividade do presente estudo pode ser considerada bastante satisfatória para condições irrigadas.

A baixa precipitação ocorrida no ano de 1991 não teria permitido uma produção econômica da cultura sem o auxílio das irrigações.

O aumento na produtividade de grãos por tratamento em relação à menor densidade populacional (36 plantas/m²) foi respectivamente de 103, 41 e 17 % para as densidades de 146, 81 e 50 plantas/m².

Os resultados do efeito isolado da densidade populacional sobre alguns componentes da produção encontram-se na Tabela 5.

Tabela 4 - Produção final de grãos (kg/ha) para a cultura da ervilha, nos diferentes tratamentos, para o ano de 1991, Campinas, SP.

Tratamento pl/m ²	Repetições					Produção média
	I	II	III	IV	V	
	-----kg/ha-----					
146	2532	3069	2993	2319	1867	2556 a
81	2512	1597	1340	1430	1996	1775 b
50	1847	1056	1577	1549	1312	1468 bc
36	2089	972	1135	1151	943	1258 c

Obs: índices literais idênticos não diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

Tabela 5 - Componentes da produção para a cultura da ervilha, nos diferentes tratamentos, para o ano de 1991 em Campinas, SP.

Tratamentos	Peso de 1000 grãos	Produção de grãos**	Massa seca índice de total	colheita
pl/m ²	---g---	-----g/planta----		---%--
146	140,38	1,75	3,49	50,00
81	136,32	2,19	5,15	42,50
50	132,78	2,94	5,59	52,60
36	140,10	3,49	6,16	56,70

** grãos com 0% de umidade

Observa-se que, à medida que se aumentou a densidade populacional houve um decréscimo, tanto para a produção de grãos por planta quanto para o acúmulo de massa seca total por planta. Os resultados obtidos indicam que quando se aumenta a densidade populacional, atinge-se um ponto no qual as plantas começam a competir por alguns fatores essenciais de crescimento, tais como nutriente, luz e água, resultando, desta forma, num decréscimo da produção por planta.

Quando se faz uma análise do índice de colheita (IC), observamos a conversão da matéria seca total em produção. Neste estudo, quanto maior foi a densidade de semeadura, menor foi o IC. Portanto, os valores gerais próximos de 50% indicam uma excelente conversão da matéria seca total em produção, quando comparada a outras culturas de grãos. Logo, nas condições deste ensaio, o rendimento por unidade de área aumentou com o aumento da densidade de semeadura, visto que a redução na conversão de massa seca em produção, ou mesmo a menor produção de grãos por planta, foram amplamente compensados pelo aumento no número de plantas dos tratamentos.

Ao se fazer uma análise do peso de 1000 grãos por densidade de semeadura, constatou-se que a variabilidade deste parâmetro ocorrida entre tratamentos, não esteve relacionada à densidade de semeadura, de forma consistente.

4.2. Balanço hídrico

O balanço hídrico de campo foi efetuado para os tratamentos com densidades de plantio de 146, 50 e 36 plantas/m², a intervalos de tempo de acordo com os períodos de irrigação, desde o final do estágio de desenvolvimento vegetativo até o final do ciclo da cultura. Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 6 a 8.

Tabela 6 - Componentes do balanço hídrico de campo - precipitação, irrigação, variação do armazenamento de água no solo (ΔA), drenagem profunda e evapotranspiração real (ETr) na cultura da ervilha, para o tratamento de densidade de semeadura de 146 plantas/m², Campinas, SP.

Período	Precipitação	Irrigação	ΔA	Dren.Prof.	ETr
--dias--	-----mm-----				
01-05/8	0,0	28,0	12,25	0,16	15,59
07-13/8	3,2	28,0	8,89	0,09	22,25
15-19/8	0,0	28,0	9,67	-0,04	18,37
21-26/8	0,0	30,0	2,62	0,50	26,88
28/8-2/9	0,0	30,0	0,32	-0,07	29,75
04-09/9	0,0	20,0	-6,04	-0,16	25,81
11-16/9	0,0	20,0	-0,08	-0,27	20,35

Tabela 7 - Componentes do balanço hídrico de campo - precipitação, irrigação, variação do armazenamento de água no solo (ΔA), drenagem profunda e evapotranspiração real (ETr) na cultura da ervilha, para o tratamento de densidade de semeadura de 50 plantas/m², Campinas, SP.

Período	Precipitação	Irrigação	ΔA	Dren.Prof.	ETr
--dias--	-----mm-----				
01-05/8	0,0	28,0	14,84	0,56	12,60
07-13/8	3,2	28,0	4,96	0,04	26,20
15-19/8	0,0	28,0	10,48	0,17	17,35
21-26/8	0,0	30,0	6,43	0,39	23,18
28/8-2/9	0,0	30,0	1,48	0,48	28,04
04-09/9	0,0	20,0	-1,16	0,01	21,15
11-16/9	0,0	20,0	2,66	0,05	17,29

Tabela 8 - Componentes do balanço hídrico de campo - precipitação, irrigação, variação do armazenamento de água no solo (ΔA), drenagem profunda e evapotranspiração real (ETr) na cultura da ervilha, para o tratamento de densidade de semeadura de 36 plantas/m², Campinas, SP.

Período	Precipitação	Irrigação	ΔA	Dren.Prof.	ETr
--dias--	-----mm-----				
01-05/8	0,0	28,0	14,20	0,33	12,67
07-13/8	3,2	28,0	5,69	0,49	25,02
15-19/8	0,0	28,0	11,49	1,11	15,40
21-26/8	0,0	30,0	8,89	0,29	20,82
28/8-2/9	0,0	30,0	2,70	1,63	25,67
04-09/9	0,0	20,0	-2,22	0,43	21,79
11-16/9	0,0	20,0	2,66	1,31	16,03

A contribuição de água no ensaio, deu-se basicamente pela irrigação, visto que, durante todo o período do ensaio, foram registrados apenas 3,2 mm de precipitação (Tabelas 1, 2 e 3 em APÊNDICE). A componente irrigação (I) pode ser considerada como a responsável pelos menores erros ocorridos para os intervalos do balanço, pois durante todo o ensaio, foram feitas aplicações moderadas d'água permitindo, assim, uma redução nas perdas d'água por drenagem profunda.

A variação do armazenamento (ΔA) foi estimada a partir de perfis consecutivos de umidade em volume entre 2 irrigações, por meio de amostragens de solo (item 3.7.1). Analisando-se as variações de armazenamento entre os tratamentos, percebe-se ter sido esta componente do balanço hídrico, a que mais afetou os resultados do consumo de água. Certamente, este fato é devido à variação do ar-

mazenamento de água no solo estar diretamente ligada ao teor de umidade e tensão de água no solo .

As perdas de água por drenagem profunda, nos intervalos analisados, foram muito pequenas, e reduziram-se à medida que se aumentou a densidade populacional. Este fato pode ser explicado pelo alto controle das irrigações e a não interferência das chuvas durante todo o ensaio.

Os dados de evapotranspiração real (ETr) acumulada, desde o início do florescimento até o final do ciclo para os tratamentos da ervilha, variaram de 121,2 a 99,7 mm, mostrando que houve efeito entre as densidades de semeadura. Estes dados em termos de valores médios diários, foram de 3,6; 3,8 e 4,3 mm/dia para as densidades de semeadura de 36, 50 e 146 plantas/m², respectivamente. O aumento da ETr por tratamento em relação ao de menor densidade de semeadura foi de 5,5 e 19,4%, respectivamente, para as densidades populacionais de 50 e 146 pl/m².

O maior valor médio de ETr foi de 4,96 mm/dia para o tratamento de maior densidade de semeadura, no estágio reprodutivo, provavelmente, pelo fato de a cobertura vegetal e IAF terem atingido os seus valores máximos, fatores estes que expõem as plantas a uma maior perda de água para o ambiente, e também, conjuntamente, pelo aumento das taxas de evapotranspiração de referência (ET_o).

No final do ciclo, o aumento da ET_o não correspondeu, em aumento proporcional da ETr, para nenhum dos

tratamentos. Este fato, provavelmente, ocorreu como resultado de um efeito contrário da redução no IAF (Fig. 3), porcentagem de cobertura vegetal (Fig. 4) e pelo início da senescência da cultura. Porém, o tratamento de maior densidade de sementeira apresentou uma taxa de ETr superior à dos demais, possivelmente, pelos superiores índices de cobertura vegetal e IAF alcançados pelo mesmo em tal período.

4.3. Coeficiente de cultura

No presente estudo, os valores do coeficiente de cultura para os tratamentos de diferentes níveis populacionais referem-se ao valor basal (kcb). O coeficiente de cultura foi medido 24 horas após as irrigações, quando o suprimento de água é adequado à planta, porém a superfície do solo é seca (BURMAN et alii, 1980; WRIGHT, 1982).

A diferença nos coeficientes de cultura basal (kcb) entre os tratamentos de densidades de sementeira diferentes, determinados pelo método de Penman modificado, do início do florescimento até a maturação da ervilha, encontram-se na Figura 5.

Observando-se os valores de kcb (Figura 5), nota-se que estes acompanharam as diferenças de nível populacional imposta pelos tratamentos, sendo os valores

Figura 5. Coeficiente de cultura basal, calculado pelo método do Penman modificado $k_{cb}(Pn^*)$ desde o início do florescimento até o final do ciclo da cultura da ervilha, para as diferentes populações, no ano de 1991, Campinas, SP.

maiores relativos às maiores densidades populacionais. Desta forma, os valores estacionais médios de kcb para os diferentes tratamentos, do início do florescimento até a colheita da ervilha, variaram de 0,82; 0,77 e 0,73, respectivamente, para as densidades populacionais de 146, 50 e 36 plantas/m².

Os maiores valores de kcb foram atingidos em todos os tratamentos no período de formação da produção, posteriormente à época em que a área foliar da cultura atingiu o valor máximo. Estes valores variaram de 0,97; 0,92 e 0,84, respectivamente, para as densidades populacionais de 146, 50 e 36 plantas/m².

No terço final do ciclo, houve uma queda acentuada nos valores de kcb para todos os tratamentos e, basicamente, não houve diferença significativa entre os mesmos. Este fato, provavelmente, aconteceu devido à redução na área foliar e cobertura vegetal, além da ocorrência de stress hídrico provocado pelo aumento das resistências internas ao fluxo de água decorrente da senescência precoce, acamamento e também da alta demanda evaporativa causada pelos baixos valores de umidade relativa (Tabelas 1, 2 e 3 em APÊNDICE). Tendências similares às descritas acima, foram observadas por EL NADI (1974) para as culturas de algodão e lab-lab, para as condições do Sudão.

Os valores médios de kc propostos pela FAO (DOORENBOS & KASSAN, 1979) variam durante todo o ciclo

para a cultura da ervilha de 0,8 a 0,95, sendo superiores aos aqui determinados. Estes valores recomendados não levam em conta diferenças culturais, tais como as densidades populacionais da cultura impostas pelo presente estudo, bem como a época do ano de cultivo; além do que os valores de kc propriamente dito, são valores integrados, muito dependentes do manejo de água.

Uma comparação entre os resultados de kcb determinados para os diferentes tratamentos foi feita entre os dois métodos utilizados para a determinação da ETo: método de Penman modificado e do tanque Classe A. A Tabela 9 apresenta essa comparação para 5 diferentes períodos durante o ciclo da cultura da ervilha.

A grande discrepância existente entre os valores de kcb para os mesmos tratamentos e períodos explica-se pela inconsistência existente entre os valores de ETo determinados pelos métodos do tanque Classe A e Penman modificado. Este fato demonstra a inter-relação existente entre o valor do kc e o método de determinação utilizado para a evapotranspiração de referência que lhe deu origem.

Tabela 9 - Coeficientes de cultura basal (kcb) para três diferentes densidades populacionais da ervilha, calculados pelo método de Penman modificado (Pn*) e tanque Classe A (C.A.), em cinco diferentes períodos do inverno de 1991, Campinas, SP.

Períodos	ET _o		146pl/m ²		50pl/m ²		36pl/m ²	
	C.A.	Pn*	C.A.	Pn*	C.A.	Pn*	C.A.	Pn*
--mm/dia--								
15-19/8	3,49	4,68	1,05	0,78	0,99	0,74	0,88	0,66
21-26/8	3,75	4,51	1,19	0,99	1,03	0,86	0,93	0,77
28/8-2/9	3,70	5,10	1,34	0,97	1,26	0,92	1,16	0,84
04-09/9	3,59	5,59	1,20	0,64	0,98	0,63	1,01	0,65
11-16/9	3,59	5,68	0,94	0,60	0,80	0,51	0,74	0,47

4.3.1. Relação entre o coeficiente de cultura basal, a porcentagem de cobertura vegetal e o índice de área foliar.

O valor do coeficiente de cultura basal em função do tempo variou com os tratamentos. Portanto, certamente deve variar com outras práticas culturais que afetem o porte da planta. Melhor seria se kc fosse expresso em termos de algum parâmetro da planta, que expressasse o crescimento do dossel vegetativo e a exposição da superfície evapotranspirante ao ambiente. Para tal, foram selecionados dois parâmetros: porcentagem de cobertura vegetal(%CVeg) e índice de área foliar(IAF).

Para determinação das relações entre os coeficientes de cultura basal (kcb), a porcentagem de cobertura vegetal e o índice de área foliar (IAF) foi selecio-

nado o intervalo de tempo correspondente ao período de crescimento ativo da ervilha, ou seja, de 30 a 49 dias após a emergência. Esta escolha é justificada pelo fato de ocorrer um decréscimo nos valores de kcb no final do ciclo (Figura 5), resultado da elevada demanda hídrica com umidade relativa mínima ao redor de 30% (Tabela 3, Apêndice) e acamamento (Figura 2), que, certamente, promoveram a ocorrência de déficit hídrico, e pela senescência durante estes dias finais com amarelecimento das folhas e redução na área foliar ativa (Figura 3), fatos estes que não expressam o coeficiente de cultura basal. Infelizmente, como a variedade da ervilha estudada apresentou um ciclo bastante curto, o período amostrado com crescimento ativo da cultura foi reduzido. Normalmente, o período ativo é predominante no ciclo da cultura.

A relação entre o coeficiente de cultura basal (kcb) para os tratamentos de diferentes densidades populacionais, em função da cobertura vegetal, é mostrada na Figura 6.

No presente estudo, foi feito um ajuste aos dados da Figura 6, através de programa computacional específico (ZULLO Jr & ARRUDA, 1987), obtendo-se como modelo representativo da relação entre kcb e a porcentagem de cobertura vegetal (%CVeg.), a seguinte equação:

$$kcb = 0,36 + 0,012(\%CVeg.) - 0,000063(\%CVeg.)^2 \quad (16)$$

O coeficiente de correlação de 0,85 confirma

Figura 6. Coeficiente de cultura basal, calculado pelo método de Penman modificado $k_{cb}(Pn^*)$ (Fig.5), em função da cobertura vegetal (Fig.4), para o intervalo de 30 a 49 dias após a emergência, no ano de 1991, Campinas, SP.

a existência de correlação entre as duas variáveis. Também indica a possibilidade de previsão de kcb pela avaliação do dossel da cultura.

Analisando-se ainda a Figura 6, observa-se que até aproximadamente 60% de cobertura vegetal, o valor do kcb variou de forma linear e crescente com a %CVeg, atingindo um valor máximo próximo à 0,9; a partir de então, houve uma tendência de estabilização no valor do kcb em torno de 0,95 a 1,0 até o ponto em que o solo encontrava-se quase totalmente vegetado.

Existe similaridade entre esta relação de kcb e porcentagem de cobertura vegetal aqui determinada, e os critérios práticos para determinação de kc proposto por ARRUDA (1989), apesar de os valores de kcb determinados no presente estudo serem um pouco mais elevados. A metodologia em questão parece ser bastante superior ao simples uso de valores de tabelas como, por exemplo, os da FAO (DOORENBOS & PRUITT, 1977), amplamente adotados.

A existência de estreita relação entre kcb e a porcentagem de cobertura vegetal para a ervilha apresenta concordância com os resultados obtidos por GOLDBERG (1967) e HEILMAN (1982), respectivamente, para as culturas de amendoim e alfafa.

A relação entre o coeficiente de cultura basal (kcb) para os tratamentos de diferentes densidades po-

pulacionais, em função do índice de área foliar é mostrada na figura 7.

Os resultados observados com o IAF são mais variáveis do que os obtidos com a porcentagem de cobertura vegetal. Possivelmente, isto ocorreu pelo fato da porcentagem de cobertura vegetal melhor representar os aspectos físicos do dossel em relação a sua exposição, principalmente, à radiação solar e ao vento, no processo de perda d'água pela transpiração.

Analisando-se a Figura 7, constatou-se um ponto que se apresentou inconsistente com relação aos demais. Este ponto refere-se ao valor do kcb obtido no primeiro período de amostragem no tratamento de maior índice populacional. Não há uma explicação plausível para ocorrência de tal discrepância. Este fato aliado à carência de informações na faixa que ele representa (IAF entre 2,5 - 4,5), dificultou o ajuste de uma equação geral para a relação investigada.

Num esforço de se quantificar os dados obtidos, optou-se pela representação parcial dos dados até o IAF igual a 3, visto que, até esse ponto, a relação entre kcb e IAF apresentou um aumento próximo ao linear, e a partir de então, os valores de kcb tenderam a se estabilizar ao redor de 0,95 a 1,0. Para os dados ajustados, foi obtida a seguinte equação de regressão linear:

$$kcb = 0,49 + 0,1836 (IAF) \quad (17)$$

Figura 7. Coeficiente de cultura basal, calculado pelo método de Penman modificado $k_{cb}(Pn^*)$ (Fig.5), em função do índice de área foliar (Fig.3), para o intervalo de 30 a 49 dias após a emergência, no ano de 1991, Campinas, SP.

O coeficiente de correlação de 0,78 mostra a existência de correlação entre as duas variáveis analisadas. Os resultados sugerem um valor inicial de k_{cb} próximo a 0,5, que é superior àquele indicado pela equação (15) com base na porcentagem de cobertura vegetal. Vários autores, dentre eles GOLDBERG (1967), PETRASOVIC (1973), DOORENBOS & PRUITT (1977), TAN & FULTON (1980), HEILMAN (1982), ARRUDA (1989) indicam valores de k_c ou k_{cb} inicial em torno de 0,3. Assim, aceitando-se este valor inicial, ele corrobora para maior consistência na relação entre k_{cb} com a porcentagem de cobertura vegetal do que com o índice de área foliar.

Os resultados obtidos no presente trabalho e a sua concordância com outros da literatura demonstram a necessidade de ampliação nos estudos das determinações do coeficiente de cultura. Para tanto, a metodologia introduzida por BURMAN et alii (1980) e WRIGHT (1982), assim como os elementos mensuráveis de planta, tipo índice de área foliar e porcentagem de cobertura vegetal, devem ser levados em consideração na determinação do coeficiente de cultura, com vistas à obtenção de valores de medição do consumo de água das culturas mais representativos da situação de cultivo.

5. CONCLUSÃO

Para as condições em que foi conduzido este estudo, pode-se concluir que:

Houve acentuado efeito positivo da densidade de semeadura sobre a produtividade da ervilha Majestic, ciclo curto, e que as maiores produções da ervilha precoce estariam limitadas às densidades populacionais que não provocassem acentuado acamamento da cultura.

Houve uma variação no consumo de água da ervilha causado pelas diferenças de densidades de semeadura. As taxas médias diárias de Etr, desde o início do florescimento até o final do ciclo, para as diferentes densidades populacionais foram de 3.6 ; 3.8 e 4.3 mm/dia, respectivamente, para as densidades de semeadura de 36, 50 e 146 pl/m².

Os valores do coeficiente de cultura basal (kcb) variaram com a densidade populacional da cultura e

com o método de cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) que lhe deu origem.

Os valores médios de k_c propostos pela FAO (DOORENBOS & PRUITT, 1977) são muito superiores aos valores de k_{cb} determinados neste estudo, sobretudo para o período do início do florescimento até o final da formação da produção, não atendendo bem às necessidades de manejo.

Existe uma estreita relação entre o coeficiente de cultura basal (k_{cb}) e a porcentagem de cobertura vegetal (%C.Veg.) e, também com o IAF, para a cultura de ervilha. O modelo de equação que melhor representou esta relação no presente estudo é do tipo exponencial quadrático em função da porcentagem de cobertura vegetal, com coeficiente de correlação de 0.85.

Os resultados obtidos encorajam a ampliação dos estudos para outras situações de cultivo e culturas, para melhor orientação do manejo das irrigações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRUDA, F.B. Uso da água na produção agrícola. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, Campinas, 1987. Anais, editado por A. Glauco. Campinas, Fundação Cargil, 1987. p. 177-99.

ARRUDA, F.B. Necessidade da água nas culturas - elemento de projeto. In: CURSO PRÁTICO INTERNACIONAL DE AGROMETEOROLOGIA PARA OTIMIZAÇÃO DA IRRIGAÇÃO, 3., Campinas, 1989. Instituto Agronômico de Campinas, 1989. 30 p.

ASSIS, F.N. de. O uso do evapotranspirômetro no estudo de algumas relações entre evapotranspiração medida e estimada. Piracicaba, 1978. 69p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).

ASSIS, F.N. de & VERONA, L.A.F. Consumo de água e coeficiente de cultura do sorgo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 26(5):665-70, 1991.

BERNARDO, S. Manual de irrigação. Viçosa, Imprensa Universitária UFV, 1982. 463p.

BLACKMAN, G.E. & WILSON, G.L. Physiological and ecological studies in the analysis of plant environment. *Annals of Botany*, London, 15: 63-84, 1951.

BLAD, B.L. Atmospheric demand for water. In: TEARE, I.D. & PEET, M.M., ed. *Crop-water relations*. New York, John Willey & Sons, 1983. cap 1, p. 15-37.

BRUN, L.S.; KANEMASU, E.T. ; POWERS, W.L. Evapotranspiration from Soybean and Sorghum fields. *Agronomy Journal*, Madison, 64(2): 145-8, 1972.

BURMAN, R.D.; NIXON, P.R.; WRIGHT, J.L. ; PRUITT, W.O. Water requirements. In: JENSEN, M.E., ed. *Design and operation of farm irrigation systems*. St Joseph, ASAE, 1980. cap. 6, p. 189-232.

CAMARGO, O. A. de; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. ; VALADARES, J.M.A.S. *Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas*. Campinas, IAC, 1986. 94p. (IAC.Boletim Técnico, 106).

COSTA, M.B. da. Determinação do consumo de água na cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) através do lisímetro. Piracicaba, 1989. 74p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).

CURY, D.M. Demanda de água na cultura de repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.). Piracicaba, 1985. 79p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).

DOORENBOS, J. & KASSAN, A.H. Yield response to water. Rome, FAO, 1979. 193p. (FAO.Irrigation and Drainage Paper,33).

DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome, FAO, 1977. 144p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).

DOURADO NETO, D.; JONG-VAN-LIER, Q. de; BOTREL, T.A. ; LIBARDI, P.L. Curva de retenção de água no solo: algoritmo em QuickBasic para estimativa dos parâmetros empíricos do modelo de GENUCHTEN; manual de instruções ao usuário. Piracicaba, ESALQ, 1990. 33p.

EL NADI, A.H. The significance of leaf area in evapotranspiration. *Annals of Botany*, Oxford, 38(156): 607-11, 1974.

ESPINOZA, W. Efeito da densidade de plantio sobre a evapotranspiração do milho irrigado na época da seca, em cerrado do Distrito Federal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 14(4): 343-50, 1979.

EVANS, G.C. The quantitative analysis of plant growth. Oxford, Blackwell Scientific, 1972. 734p.

FERERES, E. & VILLALOBOS, F.J. The partitioning of evapotranspiration into evaporation and transpiration for the irrigation scheduling of vegetable crops. In: SYMPOSIUM ON SCHEDULING OF IRRIGATION FOR VEGETABLE CROPS UNDER FIELD CONDITION, Maratea, 1989. *Acta Horticulturae*, Wageningen, (278): 113-8, June, 1990.

GOLDBERG, B.; GORNAT, B. ; SADAN, D. Relation between water consumption of peanuts and Class A pan evaporation during the growing season. *Soil Science*, Baltimore, 104(4): 289-96, 1967.

HANKS, R.J. & ASHCROFT, G.L. Soil - plant - atmosphere relations. In: HANKS, R.J. & ASHCROFT, G.L., ed. Applied soil physics ; soil water and temperature applications. Berlin, Springer - Verlag, 1980. v.1 cap.4, 111-3.

HEILMAN, J.L.; HEILMAN, W.E. ; MOORE, D.G. Evaluating the crop coefficient using spectral reflectance. Agronomy Journal, Madison, 74: 967-71, 1982.

HILLEL, D. Role of irrigation in agricultural systems. In: STEWART, B.A. & NIELSEN, D.R., ed. Irrigation of agricultural crops. Madison, American Society of Agronomy, 1990. cap.2, p. 5-30.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. Instruções agrícolas para o Estado de São Paulo. Campinas, 1987. 233p. (IAC.Boletim Técnico, 200).

JENSEN, M.E. Water consumption by agricultural plants. In: KOZŁÓWSKI, T.T., ed. Water deficits and plant growth. 2.ed. New York, Academic Press, 1969. v.2, cap.1, p. 1-22.

JENSEN, M.E.; WRIGTH, J.L. ; PRATT, B.J. Estimating soil moistures depletion from climate, crop and soil data. Transactions of the ASAE , St. Joseph, **14**: 954-9, 1971.

LUEBS, R.E.; LAAG, A.E. ; NASH, P.A. Evapotranspiration of dryland barley with different plant spacing patterns. Agronomy Journal, Madison, **67**(1): 339-43, 1975.

MOURA, M.C.F.L. de Determinação do consumo de água para a cultura do milho (*Zea mays*, L) pelo método lisimétrico. Piracicaba, 1990. 94p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).

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

MUALLEN, Y. A new model for predicting the hidraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resources. Research, Washington, **12**: 513-22, 1976.

OMETTO, J.C. Bioclimatologia vegetal. São Paulo, Agromômica Ceres, 1980. 440p.

PAVANI, L.C. Evapotranspiração e produtividade em feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L. cv Goiano Precoce) sob três níveis de potencial de água do solo. Piracicaba, 1985. 171p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).

PERES, J.G. Determinação dos coeficientes de cultura (K_c) da cana-de-açúcar: ciclo de cana-soca. Piracicaba, 1989. 94p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).

PETRASOVIC, I. Study of water consumption of cotton in the Euphrates Valley. In: FAO/UNDP REGIONAL SEMINAR ON EFFECTIVE USE OF IRRIGATION WATER AT THE FARM LEVEL, Damascus, 1971. Water use seminar Damascus; report. Rome, FAO, 1972. p.111-22. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 13).

PIRES, R.C.M.; ARRUDA, F.B.; BENATTI JR, R.; TOSSELO, R.N. ; MEDINA, J.C. Rami: análise de cinco anos de irrigação e adubação em Campinas. Bragantia, Campinas, 47(2):341-52, 1988.

PRUITT, W.O.; LOURENCE, F.J. ; VON OETTINGEN, S. Water use by crops as affected by climate and plant factors. California Agriculture, Bekerley, 26(1): 10-4, 1972.

REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. 4.ed. Campinas, Fundação Cargill, 1985. 466p.

RICHARDS, L.A.; GARDNER, W.R.; OGATA, G. Physical processes of determining water loss from soil. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 20: 310-4, 1956.

SAMIS, T.W.; MAPEL, C.L.; LUGG, D.G.; LANSFORD, R.R. ; MCGUCKIN, J.T. Evapotranspiration crop coefficients predicted using growing-degree-days. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 28(3): 773-80, 1985.

SEDIYAMA, G.C. Necessidade de água para os cultivos. Brasília, ABEAS, 1987. 143p. (Curso de Engenharia da Irrigação. Módulo 4).

SLONEKER, L.L. & MOLDENHAUER, W.C. Measuring the amounts of crop residue remainig after tillage. Journal of Soil and Water Conservation, Ankeny, 32: 231-6, 1983.

TAN, C.S. & FULTON, J.M. Ratio between evapotranspiration of irrigated crops from floating lysimeters and Class A pan evaporation. *Canadian Journal Plant Science*, Ottawa, 60: 197-201, 1980.

TANNER, C.B. Measurement of evapotranspiration. In: HAGAN, R.M.; HAISE, H.R. ; EDMISTER, T.W., ed. *Irrigation of agricultural lands*. Madison, American Society of Agronomy, 1967. cap. 29, p.534-74. (Agronomy Series, 11)

THORNTON, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, New York, 38:55-94, 1948.

THORNTON, C.W. & MATTER, J.R. *The water balance*. New Jersey, 1955. 104p. (Publication in Climatology, V.3, n-1).

VAN GENUCHTEN, M.Th. A Closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, 44: 892-8, 1980.

VILLA NOVA, N.A. & OMETTO, J.C. Adaptação e simplificação do método de Penman às condições climáticas do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 4., Fortaleza, 1981. Anais. Fortaleza. ABRH, 1981. v.3., p.281-99.

VOLPE, C.A. Coeficientes de cultura (kc) da ervilha (*Pisum sativum* L.). Ciência Agronômica, Jaboticabal, 1(1):9, 1986.

WRIGHT, J.L. New evapotranspiration crop coefficients. Journal of the irrigation and Drainage Division, New York, 108:57-75, 1982.

WUTKE, E.B.; AMBROSANO, E.J.; BULISANI, E.A.; CASTRO, J.L.; GALLO, P.B.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; BORTOLETTO, N.; SORDI, G. de. Competição de cultivares e linhagens de ervilha de grãos em diferentes regiões paulistas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 42., Porto Alegre, 1990. Resumos. Ciência e Cultura. Suplemento, Rio de Janeiro, 42(7): 13-4, 1990.

WUTKE, E.B.; AMBROSANO, E.J.; BULISANI, E.A.; CASTRO, J.L.; GALLO, P.B.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; SORDI, G de e BORTOLETTO, N. Espaçamento e população de plantas para a cultura da ervilha de grãos em diferentes regiões paulistas. In: REUNIÃO 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.

ZULLO JR., L. & ARRUDA, F.B. Programa computacional para ajuste de equações em dados experimentais. Campinas, IAC, 1987. 31p. (IAC.Boletim Técnico, 113).

APÊNDICE

Tabela 1 - Dados Climatológicos do mês de Julho de 1991.
Os termos P, Pi e Etanque representam, respectivamente, a precipitação, a evaporação diária medida em evaporímetro de Piché e a evaporação diária medida em tanque Classe A.

DIA	INSO.	U.R		VENTO	TEMP.		P	Etanque	Pi
		MIN.	MÉD.	MÉDIO	MIN.	MÁX.			
	h/dia	----%----		-m/s-	----°C----		-----mm-----		
1	8.2	60	76	4.0	12.8	20.6	-	5.31	-
2	10.0	55	70	1.0	11.8	25.0	-	5.27	3.5
3	10.1	43	61	1.5	10.8	26.0	-	5.20	3.9
4	9.8	57	73	3.0	10.6	24.2	-	5.14	5.1
5	10.1	52	66	5.0	9.4	21.8	-	5.20	5.2
6	10.1	52	67	3.0	9.4	21.4	-	5.19	5.8
7	10.1	46	61	1.5	9.4	23.4	-	5.27	4.4
8	10.1	46	59	1.5	9.8	25.0	-	5.19	6.1
9	10.0	43	61	1.5	9.4	25.0	-	5.11	6.9
10	10.0	45	58	2.5	10.0	25.6	-	5.10	6.0
11	3.1	78	87	1.6	15.0	27.2	11.8	5.80	8.0
12	4.4	65	74	4.5	13.4	22.0	1.0	5.80	2.2
13	0.5	82	86	2.3	13.8	22.2	1.2	5.17	3.9
14	4.4	68	79	6.0	14.0	18.8	2.2	5.65	2.7
15	3.6	72	80	7.0	14.4	20.0	-	5.16	5.0
16	4.7	74	84	0.5	13.8	21.6	-	5.31	4.5
17	9.4	56	71	1.0	13.8	22.1	-	5.40	2.3
18	10.2	50	65	3.0	14.0	26.0	-	5.21	4.2
19	8.8	48	64	2.5	14.0	26.4	-	5.10	5.8
20	10.2	50	65	2.5	13.2	26.4	-	5.17	5.4
21	9.7	55	66	1.8	13.4	26.4	-	5.23	5.7
22	8.2	54	64	3.0	12.8	26.2	-	5.26	5.5
23	1.5	80	85	3.5	12.0	25.0	-	5.19	6.4
24	10.3	47	62	0.7	8.0	18.6	-	5.43	2.6
25	9.7	47	70	5.0	8.8	20.8	-	5.30	5.4
26	10.2	46	61	3.0	10.2	24.4	-	5.24	4.8
27	10.2	46	59	4.5	13.4	25.8	-	5.13	6.8
28	10.4	50	56	5.0	13.8	26.0	-	5.03	8.2
29	10.3	58	68	3.0	14.2	25.8	-	5.08	8.0
30	9.7	53	66	3.2	14.0	25.6	-	5.09	6.4
31	9.5	50	63	3.2	14.0	27.2	-	5.11	7.7

Tabela 2 - Dados Climatológicos do mês de Agosto de 1991.
Os termos P, Pi e Etanque representam, respectivamente, a precipitação, a evaporação diária medida em evaporímetro de Piché e a evaporação diária medida em tanque Classe A.

DIA	INSO.	U.R.		VENTO	TEMP.		P	Etanque	Pi
		MIN.	MÉD.	MÉDIO	MIN.	MÁX.			
	h/dia	----%		-m/s-	---°C---		-----mm-----		
1	7.2	50	61	2.5	14.2	27.0	-	5.08	8.4
2	3.5	80	86	11.0	16.0	28.8	-	5.04	9.6
3	6.3	74	82	11.0	8.4	16.6	-	5.00	5.8
4	7.5	63	74	5.5	9.4	17.0	-	5.13	5.9
5	8.9	54	68	2.3	11.6	24.4	-	5.30	4.7
6	8.3	50	62	2.7	13.4	26.6	-	5.20	5.7
7	6.3	52	25	2.6	14.4	27.6	-	5.21	7.3
8	0.4	83	87	4.0	16.4	28.6	3.2	5.68	6.4
9	7.2	47	65	2.6	15.6	21.0	-	5.40	2.4
10	9.1	52	65	1.0	16.4	30.4	-	5.18	6.2
11	8.8	66	79	7.0	17.8	30.4	-	4.92	6.4
12	9.4	65	77	5.0	14.8	25.2	-	4.85	5.4
13	9.2	54	68	4.9	15.2	24.2	-	5.17	5.7
14	8.8	53	69	6.0	16.8	28.0	-	5.08	5.8
15	10.2	50	61	8.0	15.2	26.8	-	4.90	9.5
16	10.6	53	62	5.0	10.6	29.4	-	4.81	11.3
17	10.6	47	60	3.0	10.2	22.6	-	5.06	8.0
18	10.9	43	55	3.3	9.8	23.8	-	5.00	8.5
19	10.6	45	60	3.0	10.4	24.6	-	5.17	9.5
20	8.0	55	63	3.5	12.0	27.6	-	4.95	7.8
21	10.3	46	61	3.0	14.2	26.6	-	5.02	7.6
22	10.8	46	60	5.0	13.4	27.6	-	5.09	8.4
23	8.8	46	58	2.5	13.6	26.8	-	5.16	8.2
24	7.6	45	54	1.7	15.2	28.0	-	5.11	8.1
25	5.3	48	56	3.0	17.0	29.0	-	5.13	10.7
26	6.6	44	57	1.0	17.6	27.8	-	5.12	11.0
27	8.7	45	56	2.0	16.0	28.8	-	4.98	9.8
28	8.6	45	58	2.0	17.0	30.0	-	5.01	13.0
29	9.5	49	59	1.0	16.8	31.2	-	5.11	6.6
30	9.2	48	59	2.3	17.2	30.2	-	5.16	10.6
31	9.1	49	62	2.0	16.4	30.4	-	5.00	11.7

Tabela 3 - Dados Climatológicos do mês de Setembro de 1991. Os termos P, Pi e E_{tanque} representam, respectivamente, a precipitação, a evaporação diária medida em evaporímetro de Piché e a evaporação diária medida em tanque Classe A.

DIA	INSO.	U.R.		VENTO	TEMP.		P	E _{tanque}	Pi
		MIN.	MÉD.	MÉDIO	MIN.	MÁX.			
	h/dia	----%----		-m/s-	---°C----		-----mm-----		
1	6.4	72	80	4.0	16.4	30.6	-	5.0	14.2
2	0.6	70	76	12.0	14.8	25.4	-	5.0	9.1
3	7.9	60	72	7.0	13.6	20.6	-	-	8.9
4	10.4	44	59	2.5	11.8	24.6	-	5.0	7.5
5	10.4	40	53	5.5	12.2	26.0	-	4.88	9.4
6	10.7	34	50	4.0	11.6	27.2	-	4.98	15.4
7	10.6	37	52	2.3	12.0	28.4	-	4.97	12.5
8	5.3	37	52	3.3	13.2	29.0	-	5.01	12.5
9	8.3	52	66	7.0	14.0	28.8	-	5.22	12.1
10	7.5	51	68	5.0	13.8	26.0	-	4.97	11.1
11	10.3	31	50	3.0	14.4	27.6	-	5.07	7.8
12	10.2	45	56	4.0	13.6	30.0	-	4.80	10.1
13	10.8	30	47	4.0	12.0	28.8	-	4.86	14.6
14	9.5	31	45	0.8	13.0	30.2	-	5.01	10.7
15	9.6	40	49	1.6	14.0	32.0	-	5.11	12.9
16	2.8	49	62	1.6	16.8	30.8	-	4.85	14.1
17	9.3	52	64	5.0	16.6	30.6	-	5.23	10.1
18	6.8	46	57	4.0	17.2	31.8	-	5.01	9.8
19	0.0	90	92	1.0	17.4	33.2	9.8	5.80	9.7
20	9.9	60	69	5.0	15.0	18.6	13.0	5.80	2.0
21	10.3	47	57	2.0	13.8	23.6	-	5.01	5.6
22	9.0	45	57	2.0	15.0	27.6	-	5.03	5.5
23	9.1	47	65	4.0	16.4	28.6	-	4.93	7.4
24	7.2	70	74	9.0	17.0	29.6	-	4.80	8.1
25	2.9	90	85	7.5	15.4	28.0	-	4.93	7.6
26	10.0	60	70	7.0	14.4	22.2	7.0	5.80	3.9
27	10.6	43	55	3.5	13.8	23.8	-	4.83	7.9
28	3.7	47	71	2.5	15.2	29.6	-	4.92	7.8
29	0.8	91	88	1.0	17.4	32.0	1.8	5.31	5.8
30	0.2	92	93	1.0	18.8		15.8	5.80	1.0