SIMULAÇÃO DA IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR DE CULTURAS EM RIBEIRÃO PRETO, SÃO PAULO

REGINA CÉLIA DE MATOS PIRES

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

Fevereiro - 1992

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

Pires, Regina Célia de Matos

P667s Simulação da irrigação suplementar de culturas em Ribeirão Preto, São Paulo. Piracicaba, 1992.
115p. ilus.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Balanço hídrico - Estação ~~Experimental de~~ Ribeirão Preto 2. Irrigação - ~~Uso~~ - Simulação 3. ~~Irrigação - Água - Estimativa~~ I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 631.7

SIMULAÇÃO DA IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR DE CULTURAS EM RIBEIRÃO PRETO, SÃO PAULO

REGINA CÉLIA DE MATOS PIRES

Aprovada em: 06.03.92

Comissão julgadora:

Dr. Flávio Bussmeyer Arruda.....IAC

Prof. Dr. José Antônio Frizzone.....ESALQ/USP

Prof. Dr. Nilson Augusto Villa Nova.....ESALQ/USP

Dr. FLÁVIO BUSSMEYER ARRUDA

Orientador

À minha filha Marília,

e a meus pais

Maria do Anjos e Armando

DEDICO este trabalho.

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

Ao Dr. Flávio Bussmeyer Arruda, pelo valioso incentivo, apoio, amizade e orientação em todas as fases deste trabalho;

Aos Drs. José Antônio Frizzone e Nilson Augusto Villa Nova pela amizade, apoio e sugestões;

Ao Instituto Agronômico do Estado de São Paulo (IAC), pela oportunidade concedida;

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 pelos ensinamentos;

À CAPES, pela concessão de bolsa de estudos;

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

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, pelo convívio agradavel;

Aos colegas Mamor Fujiwara e Emílio Sakai, pesquisadores científicos da Seção de Irrigação e Drenagem, pela amizade estimulo e colaboração;

Aos colegas Rogério Remo Alfonsi e Mário José Pedro Junior, pesquisadores científicos da Seção de Climatologia Agrícola do Instituto Agronômico, pelo apoio e sugestões ao trabalho;

À Maria de Fátima e Wilson pelo apoio;

À Ana Cláudia Araújo de Mello pela amizade, apoio e sugestões;

Aos meus irmãos e primos pelo apoio e incentivo durante o curso;

Ao Anicésio, meu companheiro de todas as horas.

SUMARIO

Página

RESUMO..... vii

SUMMARY..... ix

1. INTRODUÇÃO..... 1

2. REVISÃO DE LITERATURA..... 4

2.1. Generalidades..... 4

2.2. Necessidade de água para irrigação..... 7

2.2.1. Estimativa da evapotranspiração..... 7

2.2.2. Estimativa da evapotranspiração para projetos e manejo das irrigações..... 11

2.2.3. Estudos de precipitação e períodos secos..... 15

2.3. Balanço hídrico..... 21

2.4. Intervalos entre irrigações..... 33

3. MATERIAL E MÉTODOS..... 42

3.1. Características do local e dados meteorológicos..... 42

3.2. Evapotranspiração..... 45

3.3. Simulação de irrigações..... 47

3.4. Lâmina de irrigação necessária..... 50

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES..... 51

4.1. Resultados gerais..... 51

4.2. Número de irrigações..... 53

4.3. Intervalos entre irrigações..... 60

4.4. Lâmina de irrigação..... 76

4.4.1. Lâmina projetada e lâmina aplicada.... 76

4.4.2. Lâmina adicional à projetada..... 78

5. CONCLUSÕES..... 89

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 92

SIMULAÇÃO DA IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR DE CULTURAS EM RIBEIRÃO PRETO, SÃO PAULO

AUTOR: REGINA CÉLIA DE MATOS PIRES

ORIENTADOR: Dr. FLÁVIO BUSSMEYER ARRUDA

RESUMO

O presente trabalho desenvolve uma metodologia de estudo das necessidades de irrigação das culturas, através da simulação do uso de irrigação por meio de balanço hídrico diário. Os dados foram coletados no Posto Meteorológico da Estação Experimental de Ribeirão Preto, Instituto Agronômico de Campinas, em fevereiro e julho, no período de 1969 a 1990.

Para atendimento a várias culturas, em diferentes fases de crescimento e tipos de solo, foram escolhidas lâminas de consumo admissível de água do solo (CAAS) de 5 a 50 mm e os valores coeficientes de cultura (kc) de 0,5 e 1,0.

Na realização do balanço hídrico admitiu-se que no início do mês e após cada irrigação simulada o ar-

mazenamento de água no perfil era completo (capacidade de campo). O número, o intervalo e a lâmina de irrigação em cada mês, foram anotados e calculadas suas freqüências de ocorrência. Essas informações formaram a base para a metodologia desenvolvida.

Conforme os critérios adotados, as irrigações só se realizariam quando fosse consumida a lâmina admissível de água do solo (CAAS). Tal critério levou a necessidade de aplicação de uma lâmina adicional ao valor de CAAS. Ocorrendo casos significativos dessa lâmina adicional, deve ser considerada no projeto.

Com relação ao número de irrigações, observou-se a importância de se procurar aumentar o valor de CAAS quando este era pequeno. Pois, pode resultar em razoável redução no número de regas por ano. Para os maiores valores de lâminas de CAAS adotados essa variação não trouxe resultados expressivos.

A introdução da precipitação, a simulação do balanço hídrico, e o uso de valores probabilísticos no cálculo da lâmina e do intervalo entre irrigações fornecem mais subsídios para o planejamento e manejo de sistemas de irrigação, do que o simples uso da evapotranspiração média mensal. Os resultados positivos obtidos através das simulações, sugerem a adoção dessa metodologia para os demais meses em Ribeirão Preto, assim como para outros locais.

SIMULATION OF SUPPLEMENTARY IRRIGATION OF CROPS IN RIBEIRÃO PRETO, SÃO PAULO

AUTHOR: REGINA CÉLIA DE MATOS PIRES

ADVISER: Dr. FLÁVIO BUSSMEYER ARRUDA

SUMMARY

This work develops a methodology for estimating supplementary irrigation requirement in tropical and subtropical regions. Irrigations were simulated for February and July through simple water balance technique, based on 21 years of meteorological data of Ribeirão Preto, State of São Paulo, Brazil.

In order to attempt different situations of crops and soils, it was chosen eight levels of allowable soil water depletion (ASWD) and two crop coefficients (kc).

For the water balance it was assumed that soil water profile was at field capacity at the beginning of each month and after each simulated irrigation. For each month, irrigation intervals, number and depth of

irrigation were annotated and its empirical probability calculated. These information are the basis of the proposed methodology.

The adopted criteria, that each simulated irrigation was done only when the allowed soil water depletion (ASWD) was exausted, demanded an addition depth of irrigation over ASWD. This additional water might reach significant values and need to be predicted in the irrigation system design.

The inclusion of natural rainfall and the use of probabilistic values, as proposed, for calculating interval and depth of irrigation turned out to be advantageous and more economic than using average monthly evapotranspiration, as commonly done.

In relation to average number of irrigation per month it was obseved, for small values of ASWD, that reasonable reduction could be attempted if ASWD was extended. For large values of ASWD, little reduction in irrigation number per year was obtained by varying ASWD.

The significant information obtained in this work recomend the use of the proposed methodology in irrigation design and management. The positive results also encourage to complete the simulation throughout the year in Ribeirão Preto, as well as other locations in the State of São Paulo.

1. INTRODUÇÃO

A quantidade de água necessária para irrigação depende do clima, solo, cultura e manejo das irrigações. A adequada estimativa da necessidade de água é fundamental para a elaboração e sucesso de projetos de irrigação (DOORENBOS & PRUITT, 1984).

Na estimativa da necessidade de água para irrigação, dois problemas são de relevante importância. O primeiro é que a falta de dados mais elaborados de evapotranspiração, leva os projetistas e interessados, a utilizarem valores médios mensais para fins de projetos de irrigação (JENSEN, 1983). Entretanto, o uso de valores médios mensais de evapotranspiração, possivelmente tem valor reduzido para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação em condições de clima subtropical, pois, inclui em seu cálculo as baixas evaporações ocorridas nos dias chuvosos e nublados. No entanto, a irrigação se faz mais necessária justamente em uma sequência de dias de elevada demanda evaporimétrica (ARRUDA & BARROSO, 1984).

O segundo problema é que a maior parte dos projetos no Brasil são desenvolvidos visando cobrir todas as necessidades hídricas das culturas, não levando em conta as precipitações. Tal procedimento é adequado às regiões áridas, porém, deve superestimar as demandas para irrigação em regiões tropicais ou subtropicais onde ocorrem significativas precipitações (SCHRODER, 1956). Nessas regiões, mesmo nos períodos chuvosos, é possível a ocorrência de veranicos. Tais períodos, se coincidirem com uma fase crítica do desenvolvimento da cultura, podem causar queda acentuada de produtividade (ARRUDA, 1987).

Além do suprimento hídrico para planta, um dos fatores críticos para o sucesso agronômico de projetos de irrigação, e que requer cuidadosa determinação, é o intervalo entre irrigações. Os equipamentos e sistemas de irrigação são dimensionados a partir da lâmina e turno de rega. Consequentemente, afetam diretamente a capacidade de aplicação de água do sistema.

Outro aspecto a ser considerado é que os aumentos dos custos da irrigação pode reduzir o retorno econômico com a produção das culturas. Portanto, existe a necessidade cada vez maior de se investigar o planejamento e o manejo economicamente adequado das irrigações (HOWELL et alii, 1987 e BRAUNWORTH & MACK, 1987).

Segundo JENSEN (1983), DOORENBOS & PRUITT (1984) e ARRUDA & BARROSO (1984), a utilização de métodos

estatísticos representa uma melhoria considerável para recomendações em dimensionamento de sistemas de irrigação.

O presente trabalho consiste na simulação da realização de irrigações, em épocas distintas, por meio de balanço hídrico. Fundamenta-se na hipótese de que, simulando irrigações, em situações controladas e considerando-se as precipitações ocorridas, pode-se ter situações próximas da realidade. Com base nessas simulações pode-se realizar estatísticas sobre as irrigações e introduzir elementos probabilísticos no cálculo das lâminas e intervalos entre irrigações.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Generalidades

A água é fator limitante na produção agrícola. A estimativa de sua disponibilidade está associada às necessidades hídricas das culturas, e, é fator básico num processo de decisão que envolve a escolha de culturas e áreas a explorar. A boa estimativa fornece também, subsídios valiosos para projetos e manejo das áreas irrigadas.

Atualmente, existe a necessidade cada vez maior de se investigar o uso eficiente da água e energia para fins de irrigação. Por exemplo, SOOPRAMANIEN et alii (1990) relatam a situação da Ilha de Mauritius quanto a escassês do recurso hídrico e a consequente necessidade de estudos visando o uso eficiente da água para irrigação, e a diminuição de desperdícios, uma vez que a irrigação por

sulcos é um dos métodos mais utilizados no local. Esses autores sugerem que pesquisas futuras devem fortalecer o desenvolvimento da irrigação estudando também, aspectos econômicos.

A necessidade de água para fins de irrigação depende do clima, solo, planta, das características do projeto, do equipamento de irrigação e fatores de manejo de água (DOORENBOS & PRUITT, 1984).

Vários pesquisadores reconhecem a existência de períodos críticos durante o ciclo de desenvolvimento das plantas, nos quais o défice hídrico acarreta diminuição na produtividade (SALTER & GOODE,1967; DOORENBOS & PRUITT, 1984; e ARRUDA, 1987).

Com o objetivo de fornecer subsídios ao manejo racional da irrigação, muita pesquisa tem sido desenvolvida para o conhecimento do período crítico e do efeito do défice hídrico nas culturas. Em São Paulo, SCALOPPI (1976) estudou o efeito do défice hídrico na cultura da batata. Já para o feijoeiro RAGGI et alii (1977) estudaram em estufa e MAGALHÃES & MILLAR (1978) e PAVANI (1985) em condições de campo. Com o objetivo de conhecer o

período crítico, OLIVEIRA et alii (1982) realizaram experimentação a nível de campo com a cultura da mandioca. ESPINOZA (1982a) e (1982b) conduziu estudos objetivando estudar o comportamento de vários cultivares de soja e milho respectivamente, quanto a evapotranspiração e capacidade de extração de água submetidos a períodos de défice hídrico.

STOCKLE & JAMES (1989), preocupados com os problemas relativos aos custos dos sistemas de irrigação, e com o dimensionamento inadequado de sistemas de irrigação, analisaram estratégias de défice de irrigação para o milho, usando simulação do crescimento da cultura. Os resultados do trabalho indicaram que para pequenos défices o benefício líquido foi maior que para a situação sem défice hídrico. Por outro lado, défices prolongados nunca foram vantajosos dentre as situações analisadas.

A resposta das plantas ao défice hídrico é importante para o desenvolvimento de estratégias de irrigação.Esse conhecimento aplicado em projetos ou no manejo racional da irrigação, pode evitar um baixo desempenho das culturas sob irrigação. Revisões ou estudos mais específicos nesse sentido, são apresentados, por exemplo em SALTER & GOODE (1967) e KOZLOWSKI (1981).

2.2. Necessidade de água para irrigação

2.2.1. Estimativa da evapotranspiração

A evapotranspiração (ET) pode ser medida ou estimada através de lisímetros, evaporímetros ou fórmulas baseadas em dados climáticos (JENSEN, 1973; JENSEN, 1983; e DOORENBOS & PRUITT, 1984).

A seleção do método para estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) depende do clima local e dos dados disponíveis. Existem equações simples como por exemplo a de Blaney-Criddle, e equações mais complexas, exigindo maior número de variáveis, como Penman-Monteith. Para períodos mais longos, anuais, mensais, por exemplo, talvez não exista necessidade de utilização de métodos complexos para estimativa. Já, para períodos curtos as fórmulas mais simples resultam em dados imprecisos (JENSEN, 1973).

A demanda hídrica das culturas para fins de irrigação é calculada em função do coeficiente de cultura (kc), e da evapotranspiração de referência (ETo).

O uso da evaporação de uma superfície livre de água como critério para determinação do consumo de água pelas culturas, também, tem sido amplamente aplicado em projetos de irrigação ou recomendação de manejo de água.

Vários estudos comparativos da estimativa de ETo, incluindo o tanque classe A, foram conduzidos no Brasil e no exterior.

No Estado de São Paulo, um trabalho pioneiro de comparação entre os principais métodos de estimativa de evapotranspiração foi realizado por CAMARGO (1961). A evapotranspiração potencial foi determinada por baterias de evapotranspirômetros. Esses valores foram comparados aos estimados pelas equações de Thornthwaite, Penman, Blaney-Criddle e por uma modificada desta última para adaptação às condições locais. Esses valores determinados e estimados foram analisados em períodos mensais durante 4 anos e para 3 locais no Estado de São Paulo. Nesse estudo a melhor correlação com os dados dos evapotranspirômetros foi obtida pela estimativa através de Thornthwaite. Infelizmente, não foram incluidos os dados de tanque classe A nessa comparação.

SEDIYAMA (1972) em Viçosa, Minas Gerais, para comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração, usou os métodos de Penman, Thornthwaite, Blaney-Criddle, Hamon, Papadakis, evaporímetro de Piche e tanque classe A. Como referência, mediu o consumo hídrico em evapotranspirômetros gramados. Os valores medidos e estimados foram confrontados para períodos mensais, estacionais e anuais, durante 2 anos. As melhores estimativas foram as obtidas pela fórmula de Penman e tanque classe A.

Em experimentação a campo com o objetivo de determinar a evapotranspiração da cultura da batata a diferentes regimes de umidade do solo, SCALOPPI (1972) correlacionou os valores medidos às estimativas com os dados de radiação solar, evaporação de tanque classe A e aqueles obtidos empregando-se as fórmulas de Penman, Thornthwaite e Blaney-Criddle. O maior coeficiente de correlação entre valores medidos e estimados foi obtido pela fórmula de Penman, seguida dos métodos da radiação solar e tanque classe A.

Segundo JAMES et alii (1983) a estimativa da evapotranspiração através do tanque classe A foi a mais precisa dentre 17 outras técnicas de estimativa, quando comparadas ao consumo de água da cultura de referência (alfafa) em Washington, determinado através de medições da água no solo.

SOLAIMAN & SALIH (1987), selecionaram 23 métodos na literatura para estimar a evapotranspiração em condições extremamente áridas na Arabia Saldita. De acordo com os resultados, o tanque classe A foi selecionado entre os seis melhores métodos de estimativa (segundo colocado).

Segundo VILLELA & MATTOS (1975) o tanque classe A é o evaporímetro mais usado na rede de estações meteorológicas do Brasil, portanto qualquer parametrização estudada, poderá ser utilizada para várias regiões.

O tanque classe A vem se mostrando um instrumento adequado ao manejo das irrigações para diversas situações de solo, clima e cultura, como apresentado a seguir.

FRITSCHEN & SHAW (1961) recomendam o uso do tanque classe A para estimativa da lâmina de água para irrigação.

FUCHS & STANHILL (1963) encontraram relações lineares entre a evapotranspiração do algodoeiro e a evaporação do tanque classe A, numa grande variação de fatores climáticos, solos, irrigação e plantas.

DOSS et alii (1964) obtiveram elevada correlação entre a evapotranspiração de espécies forrageiras submetidas a vários níveis de umidade e a evaporação do tanque classe A.

TOVEY et alii (1969) concluíram que os dados de evaporação do tanque classe A forneceram estimativas adequadas da evapotranspiração de uma gramínea cobrindo totalmente a superfície do solo em base semanal (menor período estudado), mensal e estacional.

No Brasil vários autores utilizaram satisfatoriamente o tanque classe A para estimativa da necessidade de água para irrigação. KLAR et alii (1975) para a cebola; SILVA et alii (s.d.) para a bananeira; LEME et alii (1982) e RUFINO (1982) na cana-de-açucar e ESPINOZA (1979) para o milho irrigado.

Já, para as condições da Austrália, CRIPPS et alii (1982) realizaram experimento de manejo de irrigação na cultura do repolho. Devido ao bom desempenho do tanque classe A, recomendam o uso deste como um guia simples para manejo das irrigações em vegetais folhosas em solos arenosos.

VILLA NOVA & OMETTO (1975) descrevem instruções para utilização do tanque classe A em estimativas da evapotranspiração de referência e freqüência de irrigação.

Esses estudos dirigidos à determinação do consumo de água das culturas através da evaporação de superfície livre de água, citados anteriormente, comprovam a validade do uso do tanque classe A em planejamento e manejo das irrigações. Porém, os resultados são válidos apenas para a cultura e condições em que os ensaios se realizaram. Portanto, existe a necessidade de estudos para diferentes regiões de interesse, para fins de irrigação.

2.2.2. Estimativa da evapotranspiração para projetos e manejo das irrigações

Atualmente existe a consciência de vários pesquisadores da necessidade e importância da obtenção de dados de clima representativos para o manejo das irriga-

ções (WRIGHT & JENSEN, 1978; JENSEN, 1983; DOORENBOS & PRUITT, 1984; HEERMANN, 1988, entre outros).

WRIGHT (1988) relata que o uso de valores diários de consumo de água pelas plantas é um avanço para o desenvolvimento de técnicas mais modernas de planejamento de irrigação.

Normalmente, quando uma série de dados de evapotranspiração é compilada, é apresentada na forma de evapotranspiração média mensal, como encontrado em CAMARGO (1961, 1966 e 1978); VILLA NOVA (1967); SETZER (1966), PESSOA (1985); ou, mais recentemente em períodos decendiais (CARAMORI & ARITA, 1988).

JENSEN (1983), cita que a evapotranspiração média mensal não deve ser utilizada para substituir a evapotranspiração do período de pico de consumo de água.

DOORENBOS & PRUITT (1984) relatam que é prática comum a utilização de dados médios mensais de clima para a estimativa da evapotranspiração das culturas. Porém, valores mensais de evapotranspiração podem variar de um ano para o outro na ordem de 50% ou mais. Comparando-se a variação dos valores de evapotranspiração estudados em base diária, decendial e mensal, observa-se o quanto é incerta a utilização de dados climáticos mensais para uso como valor de evapotranspiração das culturas. Portanto, recomendam uma cuidadosa seleção na forma de estimativa dos valores de evapotranspiração das culturas para uso

em projetos e planejamento de irrigação, de forma que, quando longos períodos de registros climáticos forem disponíveis, pode-se proceder a uma análise de freqüência desses valores, principalmente para os períodos de pico. Recomendam também que o valor da evapotranspiração das culturas para projetos podem ser baseados a um nível de 75 a 80% de probabilidade. Esses autores ainda sugerem que, quando não houver disponibilidade de dados diários que permitam a aplicação da distribuição de freqüência, os valores da evapotranspiração média mensal podem ser corrigidos, para diferentes tipos de clima através de monograma.

PRUITT et alii (1972); NIXON et alii (1972) e WRIGHT & JENSEN (1972) realizaram estudos que levam em consideração valores probabilísticos da evapotranspiração. Esses estudos foram realizados com o propósito de atender as necessidades dos engenheiros no dimensionamento de sistemas de irrigação. Porém estes trabalhos foram desenvolvidos em regiões temperadas ou semi-áridas, principalmente em épocas de ausência de precipitação.

ARRUDA & BARROSO (1984) procederam a determinações probabilísticas da evapotranspiração para Ribeirão Preto, e os resultados mostram que os valores médios mensais da evapotranspiração podem subestimar em até 35% a necessidade de água pelas culturas quando comparados a determinações probabilísticas ao nível de 75% de probabili-

dade. Desta forma, um equipamento dimensionado pela evapotranspiração média mensal não será capaz de irrigar em tempo hábil a totalidade da área a que foi inicialmente proposta, incorrendo em perda de produtividade da lavoura (ARRUDA, 1987).

Com o objetivo de fornecer subsídios ao dimensionamento de sistemas de irrigação, SAAD & SCALOPPI (1988) aplicaram análise de freqüência de distribuição aos valores de evapotranspiração de referência (ETo). Esses valores foram estimados pelo método de Penman - Monteith, para os meses de março e setembro, no período de 1978 a 1987, para Piracicaba, SP. Os resultados foram apresentados para vários períodos (entre 1 a 30 dias) e percentuais de probabilidade entre 2 e 98%.

A crítica principal aos estudos probabilísticos de evapotranspiração (PRUITT et alii, 1972; NIXON et alii, 1972; WRIGHT & JENSEN, 1972; ARRUDA & BARROSO, 1984; e SAAD & SCALOPPI, 1988), é que para o uso em projetos não há sugestão de se descontar a influência da precipitação esperada (ou dependente) nos valores da demanda hídrica em projetos.

2.2.3. Estudos de precipitação e períodos secos

No Brasil são conhecidas as investigações com dados de precipitação ou de ocorrência de seca com vistas à agricultura. A estimativa de períodos de dias secos durante a estação de crescimento das culturas é uma determinação útil para a agricultura em geral, assim como para projetos e planejamento de sistemas de irrigação suplementar.

SCHRODER (1956) estudou a distribuição local e sazonal das chuvas no Estado de São Paulo. Através da análise de séries pluviométricas de longa duração, nota-se que neste Estado há ocorrência de chuvas em todos os meses do ano. Portanto, existe a necessidade de se levar em consideração a precipitação no cálculo de intervalo entre irrigações, para as condições do Estado de São Paulo.

Análises de distribuição de chuvas tem sido apresentadas, em base probabilística, visando identificar áreas e épocas de plantio com maiores chances de sucesso para a agricultura de sequeiro, bem como identificar a conveniência do uso da irrigação suplementar.

ARAÚJO (1930), utilizou-se de 15 anos de dados climáticos para o Rio Grande do Sul, enumerando e tabulando os dias consecutivos sem chuva.

MORETTI FILHO (1965) caracterizou a seca agronômica na zona canavieira do Estado de São Paulo, visando fornecer dados básicos para projetos de irrigação. A seca agronômica foi definida em termos de dias secos para 3 valores de armazenamento de água no solo na zona das raízes; 15, 25 e 50 mm. Os dias secos foram analisados em períodos mensais e anuais. Os resultados evidenciaram a ocorrência de longos períodos secos durante o inverno e início da primavera. Os dados revelam também que a ocorrência de seca depende marcadamente do armazenamento de água disponível no solo, na zona efetiva de exploração das raízes.

MENEZES et alii (1973), realizaram estudo na região da Baixada Fluminense para o conhecimento das épocas de estiagens com vista a agricultura em geral e em particular aos estudos das épocas de plantio das culturas econômicas locais. Para tanto, tabularam as seqüências de dias consecutivos sem chuva num período de 30 anos, com os registros pluviométricos diários. As probabilidades de ocorrência de estiagens foram calculadas através do modelo da cadeia de Markov de primeira ordem.

HARGREAVES (1974) fez uma comparação da probabilidade estatística de ocorrência da precipitação e da necessidade de umidade do solo para produção das culturas. Embora os elementos climáticos sejam analisados em períodos mensais, os resultados fornecem algumas informa-

ções a respeito da necessidade de irrigação em diferentes locais do Nordeste do Brasil e para todos os meses do ano. Nos resultados são apresentados a precipitação média, a precipitação dependente (ao nível de 75% de probabilidade), a evapotranspiração, o défice de evapotranspiração e o índice de disponibilidade de umidade.

O trabalho de WOLF (1977) para Brasília, descreve a probabilidade de ocorrência de veranicos de variadas durações e determina também a distribuição temporal dos dias secos, o que indica quando os veranicos tem maior probabilidade de ocorrer. Foram utilizados 42 anos de dados de precipitação pluvial diária. Porém, as análises foram feitas apenas para o período chuvoso, de novembro a março, contemplando 5 meses do ano.

Para a região de Pelotas, FONSECA & ALBUQUERQUE (1978) estimaram parâmetros da distribuição gama de probabilidades, para totais de precipitação de uma, duas e três semanas. Através dessas determinações é possível estimar a probabilidade de ocorrência de determinado total de precipitação, assim como o total de precipitação correspondente a um nível estipulado de probabilidade, para os períodos estudados.

FRIZZONE (1979) salienta que o suprimento de água para as culturas não deve ser planejado baseado no valor da precipitação média. Uma vez que o uso desse valor resulta em superdimensionamento do sistema de irrigação

para a maioria dos anos. Pois, o valor médio das precipitações, em geral, ocorre com menos de 50% de probabilidade. Visando fornecer subsídios ao planejamento de sistemas de irrigação suplementar, foi apresentado um estudo de 5 modelos probabilísticos baseados em dados de precipitações diárias de 30 anos de Viçosa, Minas Gerais, para períodos de 5, 10 e 15 dias, mensal, trimestral, semestral e anual. A variabilidade dos períodos estudados possibilita o uso dos resultados para descontar a precipitação na demanda hídrica do local.

Visando fornecer informações para a agricultura em geral, CASTRO NETO et alii (1980) determinaram para cada mês, as probabilidades de ocorrência de períodos secos, para Lavras, a partir de valores diários de precipitação de uma série de 29 anos de registros. Para cada mês foi determinado o número de ocorrência de períodos secos com duração variando de 1 a 31 dias.

Com o objetivo de gerar valores representativos de chuva e incrementar seu uso em projetos conservacionistas, DENARDIN et alii (1980) estudaram as características fundamentais da chuva (intensidade, duração e tempo de retorno) de 14 localidades do Rio Grande do Sul, as quais foram relacionadas através de ajuste de equações matemáticas. Posteriormente o trabalho foi extendido para todo o país.

Para Lavras, Minas Gerais, CASTRO NETO & SILVEIRA (1981 e 1983) calcularam a precipitação provável para períodos mensais e de dez dias respectivamente, em 13 níveis de probabilidade, baseando-se na função de distribuição gama para vários anos de dados. Os autores concluem que é viável a utilização de irrigação suplementar na região, contando com a precipitação provável, e consequentemente diminuindo os custos dos sistemas de irrigação.

Com a finalidade de auxiliar a programação de sistemas de irrigação suplementar para o Iraque, ALDABAGH et alii (1982), testaram várias distribuições e transformações no número de dias secos nos meses chuvosos. Tal procedimento é sugerido para estimar o período de retorno para os meses de seca total.

Estimativas de probabilidades mensais de chuva e disponibilidade de água para as culturas para Boa Vista, Roraima, foram apresentadas por MEDINA & LEITE (1984). Através desse estudo os autores verificaram que existem apenas 4 meses (maio, junho, julho e agosto) nos quais a quantidade de chuva esperada ao nível de 75% de probabilidade ultrapassa 120 mm, e 2 meses (abril e setembro) com mais de 50 mm. Tal fato resultou em que o período viável para se manter culturas anuais pode se estender durante 6 meses, com abril e setembro servindo como início e fim do ciclo, respectivamente.

FRIZZONE et alii (1985a) realizaram trabalho com o intuito de fornecer valores de precipitação significativos para uso em agricultura irrigada. As precipitações prováveis foram calculadas em 13 níveis de probabilidade para períodos de 15 e 30 dias, usando o modelo de distribuição gama incompleta em 30 anos de dados diários de precipitação, para a região de Pereira Barreto, São Paulo.

HELWEG & SHARMA (1985) recomendam o uso de probabilidade no dimensionamento de recursos hídricos para regiões com alta incerteza de chuvas.

Uma análise de 81 séries temporais de registros diários de chuva de 12 anos da Bacia do Alto Paraguai, Mato Grosso do Sul (Pantanal) foi apresentada por GARCIA & CASTRO (1986). Foram formados conglomerados relativamente homogêneos, e para a série mais representativa de cada um deles, foi estimada a probabilidade de ocorrência de chuva nos períodos de 7, 15 e 30 dias.

Em virtude da distribuição anual da precipitação na região de Lavras, onde existe uma estação chuvosa bem definida, PERON & CASTRO NETO (1986) definiram a probabilidade de ocorrência de veranicos com duração variável de dias, e também, o período de retorno para esses veranicos. Desta forma, fornecendo informações a agricultura em geral durante a estação chuvosa.

TOLEDO FILHO (1988) desenvolveu um trabalho estatístico - climatológico, usando a distribuição gama incompleta, que permite obter informações sobre a disponibilidade hídrica para a cultura da cana-de-açucar, em 5 diferentes épocas de plantio, em 3 regiões da zona canavieira alagoana. De acordo com os resultados a época de plantio deve ser em setembro e outubro, pois, desta forma a demanda hídrica na fase crítica de desenvolvimento da cultura, tem maior probabilidade de ser atendida.

Embora todos esses trabalhos anteriormente citados com relação ao estudo de precipitações e períodos secos tragam avanço na informação, esses resultados ainda não estão prontamente aplicáveis aos projetos e planejamento de sistemas de irrigação.

2.3. Balanço hídrico

Existe a consciência por parte de alguns autores, da necessidade do aperfeiçoamento na forma de uso da precipitação e evapotranspiração para a melhoria do dimensionamento de sistemas de irrigação, onde a ocorrência da precipitação seja significativa (BERNARDO & HILL, 1978; DOORENBOS & PRUITT, 1984).

CAMARGO (1978), estudou o balanço hídrico e seus componentes para várias regiões do Estado de São Pau-

lo. Para tanto, utilizou valores mensais de precipitação e evapotranspiração potencial, e considerou o armazenamento de água do solo de 100 mm. A evapotranspiração foi estimada pela equação de Thornthwaite modificada por CAMARGO (1962).

MOTA et alii (1970) realizaram balanço hídrico para 35 locais do Rio Grande do Sul. Esse estudo teve por objetivo fornecer base climatológica para a solução de graves problemas da agricultura no Estado, entre eles as secas de verão e os excessos de água no inverno, primavera e outono. O armazenamento de água no solo foi considerado 100 mm. Foram utilizados mais de 30 anos de observações e a evapotranspiração foi estimada através da equação de Thornthwaite. Os resultados foram apresentados em valores médios para períodos mensais, estacionais e anuais. Tais períodos, são extensos para utilização em projetos e manejo de irrigação nos diferentes métodos de aplicação de água.

Com a finalidade de determinar a necessidade de água para irrigação na Colômbia, HARDEE (1971) estimou a precipitação dependente e a evapotranspiração potencial. A necessidade de irrigação foi calculada pela evapotranspiração potencial menos a precipitação dependente.

Esse estudo destaca a importância da utilização da precipitação como desconto das necessidades de água para a irrigação para locais onde esta é significativa. Entretanto, os resultados foram elaborados apenas para períodos mensais.

Para Pelotas MOTA (1976) realizou balanço meteorológico permitindo o cálculo das deficiências diárias de umidade do solo, acumuladas em períodos semanais, com vários níveis de probabilidade das necessidades de irrigação. Nesse estudo foram utilizados vários valores de armazenamento de água no solo e a evapotranspiração de referência (ETo) foi estimada pelo método de Penman, no período de 1951 a 1974.

Com o objetivo de fornecer informações aos projetos de irrigação suplementar, ou seja, em regiões onde as precipitações sejam significativas, BERNARDO & HILL (1978), desenvolveram um modelo para determinação da quantidade de água que deve ser aplicada em irrigação suplementar para várias combinações das características de solo-planta-atmosfera. O balanço de água calcula a disponibilidade de água no solo no fim de cada dia subtraindo da água disponível do dia anterior a evapotranspiração real, e somando-se a precipitação dependente. Quando a água disponível do solo é igual ou menor ao nível mínimo especificado, o modelo recomenda irrigação e inicia-se um novo balanço de água no solo. Nesse estudo foram utiliza-

dos dados de 12 estações da bacia do São Francisco e 12 valores de disponibilidade total de água no solo. A precipitação diária foi reunida em períodos de 5, 10, 15 e 30 dias. Para cada período o modelo analisou a precipitação dependente em 13 níveis de probabilidade no intervalo entre 5 a 95%, através da função gama incompleta. Esses autores porém não introduziram modificação quanto a estimativa da evapotranspiração potencial, utilizando o valor médio mensal.

Visando obter uma aproximação inicial das necessidades de irrigação e drenagem, BELTRAME et alii (1979) realizaram balanço hídrico seriado para 11 unidades de mapeamento de solo, representativos do Rio Grande do Sul. Avaliaram a probabilidade de ocorrência de défices e excessos hídricos, bem como sua intensidade. Para tanto, utilizaram uma série de 51 anos de dados meteorológicos mensais, a partir dos quais a evapotranspiração potencial (ETP) foi estimada pelo método de Thornthwaite.

SEDIYAMA et alii (1979) desenvolveram um modelo de balanço hídrico no solo para a cultura da soja em clima tropical subúmido, simulando a necessidade de irrigação suplementar para produção de grãos. Para realização do balanço hídrico o valor diário da evapotranspiração real foi estimado através da equação de Hargreaves, e a ocorrência de precipitação para o próximo dia foi calculada pelo modelo de probabilidade da "cadeia de Markov" de

distribuição de chuvas. A esses valores foram relacionados as características das raízes e a disponibilidade de água no solo durante o período de crescimento. A irrigação suplementar é aplicada se a umidade do solo for menor que um valor pré-estabelecido e se não houver previsão de chuva. São apresentados os valores médios da necessidade de irrigação suplementar, usando-se 10 anos de dados climatológicos, divididos em períodos semanais para os três locais. Através dos resultados obtidos ficou clara a necessidade de irrigação suplementar para obtenção de aumento de produtividade para as 3 áreas selecionadas, visto que, ocorrem veranicos durante a época de crescimento. Esses resultados trazem avanço de conhecimento nesta área, porém, aplicáveis somente ao período chuvoso do ano.

BRAGA (1982) estudou a ocorrência da seca agronômica na região de Laguna, litoral sul de Santa Catarina. Esse estudo visou definir melhores épocas de plantio, escolha de cultivares adequados, avaliação de riscos, necessidade de água para irrigação e previsão de colheita. A seca agronômica foi caracterizada pelo critério de "dias secos consecutivos" determinados através de novo modelo de balanço hídrico. Sendo considerado como dia seco, o período de 24 horas, no qual a umidade do solo atinge o limite crítico de disponibilidade de água no solo, abaixo do qual o processo de crescimento, desenvolvimento e produção final da cultura é apreciavelmente diminuida. Para aplicação

do modelo proposto, foram utilizados diferentes valores de armazenamento de água no solo, variando entre 18 a 175 mm. A metodologia desenvolvida, o "Balanço Hídrico Modificado" e a correspondente caracterização da seca agronômica, levam em consideração a umidade do solo e o conceito de água livremente disponível (em função da demanda atmosférica e da espécie vegetal). A partir da contagem dos "dias secos consecutivos", foram obtidas as probabilidades teóricas de ocorrência de um dado número mínimo de dias secos consecutivos em períodos quinzenais, mensais e trimestrais. A evapotranspiração potencial (ETP) foi estimada pela equação de Penman, porém os valores utilizados foram os médios mensais, que podem subestimar as necessidades de água das plantas (JENSEN, 1983; DOORENBOS & PRUITT, 1984 e ARRUDA & BARROSO, 1984). Em estudos de necessidade de água para irrigação, é conveniente também a análise de períodos menores, principalmente quando se trata de caracterização ampla que possibilita a utilização para várias culturas.

SILVA (1982) salienta a importância de estudos levando em consideração a precipitação, onde esta é significativa, visando atender a projetos de irrigação suplementar. Para tanto, estimou a lâmina de irrigação suplementar a ser fornecida para as culturas de arroz, cana-de-açucar, citrus, feijão e milho para 7 locais no Vale do São Francisco. A precipitação provável foi estimada ao nível de 75% de probabilidade através da distribuição gama,

para perídos de 5, 10 e 15 dias. A evapotranspiração potencial foi estimada através da equação de Hargreaves, entretanto, utilizada como valor médio mensal.

ALTHOFF (1983) realizou balanço hídrico seriado para 14 locais do Estado de Santa Catarina. Utilizou 10 anos de dados climáticos, estimou a evapotranspiração potencial (ETP) pela fórmula de Penman e considerou a capacidade de armazenamento de água no solo de 100 mm. Porém, para o cálculo dos défices e excessos hídricos, analisou os dados em períodos mensais.

REDDY (1983) apresenta um método simples de planejamento de irrigação utilizando o modelo ICSWAB (ICRISAT soil water balance). Os principais fatores computados no modelo são a precipitação diária ou lâmina de irrigação e evaporação do tanque classe A. Esse procedimento utiliza o valor de evapotranspiração acumulado como sendo melhor que o critérios de dias fixos ou porcentagens fixas da umidade do solo para métodos de planejamento de irrigação. O autor ainda cita que a adoção de dias fixos pode ser razoavelmente aplicado durante a estação não chuvosa.

Para o Estado do Espírito Santo, CASTRO & SCARDUA (1985) estimaram a necessidade potencial de irrigação para 67 locais do Estado. Esses locais foram agrupados em bacias hidrográficas e a necessidade de irrigação

calculada pela diferença entre a evapotranspiração potencial e a precipitação dependente a vários níveis de probabilidade. Entretanto, os resultados são analisados apenas para períodos mensais e anuais.

MAROUELLI & SEDIYAMA (citados por SEDIYAMA, 1987), com o objetivo de tornar mais econômica a irrigação suplementar, reduziram a demanda de água em projetos de irrigação considerando a precipitação dependente, para Viçosa, Minas Gerais. A precipitação dependente foi estimada pela análise da probabilidade de ocorrência da precipitação na região. Esses autores, porém, não introduziram modificação quanto a evapotranspiração média mensal.

WESSELING & BROEK (1988) descreveram a metodologia para utilização do modelo numérido SWATRE (Soil, Water, Actual Transpiration, Extended) para prever o manejo das irrigações. Esse modelo assumiu a hipótese de que as condições meteorológicas não sofrem alterações durante os próximos 5 dias. Ao final desse período de 5 dias os resultados são ajustados aos dados meteorológicos reais. Os dados utilizados para simular o balanço de água são os de propriedades físicas dos solos, ETo, precipitação, valores semanais de cobertura do solo, profundidade do sistema radicular e nível do lençol de água. Entretanto, uma das causas que levaram a diferenças entre os valores medidos e simulados foi a utilização de valores médios da ETo.

SMAJSTRALA & ZAZUETA (1988) desenvolveram modelo numérico de simulação para estimativa da necessidade de irrigação das culturas, planejamento e uso da água. O modelo de simulação foi baseado no balanço diário de água na zona das raízes das culturas. Os componentes do balanço diário de água do solo incluem o armazenamento de água no solo, onde as entradas são a irrigação e a precipitação, e as perdas a drenagem e a evapotranspiração. As perdas por escoamento superficial foram assumidas negligíveis. A precipitação considerada no balanço é o valor, o qual, pode ser armazenado na zona das raízes, e assumida como disponível para uso das culturas. Já a drenagem, foi definida como o excesso de chuva o qual o perfil do solo não pode armazenar quando a capacidade de campo é ultrapassada. A evapotranspiração diária de cada cultura foi estimada pelo produto da evapotranspiração de referência (calculada pelo método de Penman) pelo coeficiente de cultura (DOORENBOS & KASSAM, 1979). As irrigações foram simuladas quando ocorreu um decréscimo no armazenamento até um nível mínimo previamente estipulado. Para cada irrigação a lâmina líquida requerida foi calculada para que o armazenamento de água do solo atingisse a capacidade de campo. Esse modelo foi desenvolvido para diferentes tipos de solos, sistemas de irrigação e condições climáticas típicas de 9 locais do Estado da Flórida. Excelente ajuste desse modelo foi encontrado com estudos de campo com gramado,

milho e citrus. Porém, os resultados de necessidade de irrigação apresentados foram a média, mediana, desvio padrão, valores máximos e mínimos, proporção de anos que não houve necessidade de irrigação e probabilidades de valores extremos. Entretanto, em planejamento de irrigação, a adoção de valores extremos ou médios nem sempre são consideradas situações mais econômicas ou favoráveis.

Probabilidades de atendimento da demanda hídrica de culturas específicas obtidas pela análise da freqüência de chuvas e sua comparação em base decendial com valores de evapotranspiração máxima, foram obtidas mais recentemente por CAMARGO et alii (1988) para o trigo e ALFONSI et alii (1989b) para soja, milho e arroz de sequeiro.

ALFONSI et alii (1989a), sugerem a utilização de balanço hídrico seriado a nível decendial para o dimensionamento de sistemas de irrigação suplementar em função da cultura e época de plantio.

VILLALOBOS & FERERES (1989) desenvolveram um modelo de simulação para prever o manejo de irrigação em diferentes níveis de probabilidade em áreas com precipitações significativas, e onde os dados climáticos são escassos. O modelo simula a precipitação diária baseada em dados médios mensais. Usa a primeira ordem da cadeia de Markov para descrever a ocorrência da precipitação e a distribuição gamma incompleta para calcular a altura de

precipitação. No balanço de água usa o valor médio de evapotranspiração de referência (ETo), estimando separadamente a transpiração e a evaporação.

Um mapeamento da necessidade de irrigação para a Dinamarca foi realizado por MADSEN & HOLST (1990), utilizando dados de solo e clima. O modelo empírico relacionou a capacidade de retenção de água na zona da raízes para diferentes tipos de solo para grama e cevada. A necessidade de irrigação para cada zona climática é baseada em valores diários de evapotranspiração potencial (ETP) e precipitação. Os valores de precipitação e ETP foram obtidos por dados semanais de 53 estações climáticas (em estações experimentais e fazendas) durante o período de 1956 a 1985. Dessas estações apenas 13 funcionaram durante todo esse período, as demais funcionaram por períodos menores. A ETP foi medida por tanque de evaporação HL 315.

SAMPAIO (1990) realizou para 5 locais do Estado de São Paulo, balanços hídricos com dados decendiais de chuva e evapotranspiração máxima, com o objetivo de calcular os níveis de probabilidade de atendimento natural das necessidades hídricas de pomares cítricos pelas precipitações naturais. O balanço hídrico foi calculado sequencialmente para 30 anos e para vários níveis de disponibilidade hídrica. A ETo foi calculada pelo método de Penman.

Um modelo climatológico para quantificar as regas necessárias para otimizar a umidade do solo, foi proposto por CAMARGO & PEREIRA (1990), e é baseado no balanço hídrico entre a precipitação e a evapotranspiração mensal da cultura. Os autores sugerem valores fixos de turno de rega em função da cultura e tipo de solo.

OLIVEIRA (1990) determinou a evapotranspiração máxima (ETm) e a necessidade de água para irrigação suplementar para as culturas de feijão e trigo, utilizando o método do balanço hídrico climatológico. Essas culturas foram estudadas para seis localidades do Estado do Paraná, e para diferentes épocas de plantio. A evapotranspiração de referência foi calculada utilizando-se o método de Penman modificado multiplicado pelo kc para obtenção da evapotranspiração máxina (ETm) em base diária. As necessidades de água para irrigação foram obtidas pelo balanço hídrico diário, sendo que o total de água a ser aplicado foi calculado considerando a umidade do solo facilmente disponível durante todo o ciclo das culturas. Os resultados foram apresentados para os níveis de 50%, 75% e 90% de probabilidade de ocorrência de ETm e lâmina de irrigação suplementar. Os valores de ETm foram analisados calculando-se a freqüência empírica.

Visando a determinação dos riscos de ocorrência de deficiência hídrica e a eventual necessidade do uso de irrigação suplementar, para diferentes culturas e

regiões do Estado do Paraná, CARAMORI & FARIA (1987) e CARAMORI et alii (1991), realizaram balanço hídrico diário levando em consideração as características de solo e planta, fornecendo elementos importantes na tomada de decisão a nível governamental e na propriedade agrícola.

O balanço hídrico é um estudo importante na estimativa da necessidade de água das plantas. Podendo auxiliar no planejamento de sistemas de irrigação, pois, através deste, ficam caracterizados os períodos e as intensidades dos défices e excessos hídricos no solo, que podem afetar o desenvolvimento das culturas.

2.4. Intervalos entre irrigações

A lâmina de água a aplicar, o número de irrigações e o intervalo entre elas dependem principalmente das condições climáticas locais, das características físico-hídricas dos solos, do sistema de irrigação e da cultura utilizada.

Segundo JENSEN (1983) a aplicação de água no momento adequado pode trazer contribuição adicional na produção das culturas com o reabastecimento de água no solo. Portanto, a freqüência de irrigação deve ser estabele-

cida pelo período de dias em que o solo se encontra dentro do limite de água facilmente disponível ao consumo pelas plantas (ISRAELSEN & HANSEN, 1965).

Turnos de rega ou intervalos entre irrigações podem ser definidos como o tempo decorrido entre aplicações sucessivas de água na mesma posição no campo. Trata-se de um dos elementos mais importantes no manejo e utilizado para o dimensionamento de sistemas de irrigação.

Os aumentos nos custos da irrigação (água, energia e mão-de-obra), tem reduzido o retorno econômico com a produção de lavouras irrigadas. Portanto, o manejo correto e economicamente adequado das irrigações deve ser cada vez mais investigado. Para tanto, vários pesquisadores tem se dedicado ao estudo do intervalo crítico entre irrigações para as principais culturas.

A literatura clássica nacional e internacional, recomenda que o turno de rega seja calculado dividindo-se a lâmina líquida de irrigação (ou água facilmente disponível) pela evapotranspiração diária da cultura (ISRAELSEN & HANSEN, 1965; BARRETO, 1974; WITHERS & VIPOND, 1977; BERNARDO, 1982; BENAMI & OFEN, 1984; DOORENBOS & PRUITT, 1984; VIEIRA, 1986; OLITTA, 1987; DAKER, 1988 e OMETTO, 1988). Porém, a maioria dos autores não deixa bem claro quanto a escolha do valor da evapotranspiração potencial a ser utilizado. BARRETO (1974) e DAKER (1988) recomendam o uso do valor médio mensal. BENAMI & OFEN

(1984) sugerem o uso da evapotranspiração média do período de pico. DOORENBOS & PRUITT (1984) recomendam a utilização de valor probabilístico ao nível de 75 a 80 % de probabilidade de ocorrência para a evapotranspiração das culturas, e a não utilização do valor médio mensal. VIEIRA (1986) também recomenda a adoção de valor de consumo de água um pouco acima da média mensal.

Vários autores tem determinado experimentalmente o turno de rega em culturas. Para o feijoeiro RAGGI et alii (1977), RESENDE et alii (1981) e SILVEIRA et alii (1984); para a macieira GUR et alii (1979); para o trigo FRIZZONE et alii (1985b) e ENGLISH & NAKAMURA (1989); para Lucerne (**Medicago sativa** L.) WHITFIELD et alii (1986) e para a beterraba açucareira HOWELL et alii (1987). Porém na maioria dos casos, a recomendação final tem sido um valor crítico de água disponível ou tensão de água no solo, ou ainda um valor médio do intervalo entre irrigações em dias. Essas informações, apesar de seu grande valor são aplicáveis somente às situações em que foram desenvolvidas, e ainda não são suficientes para se planejar o turno de rega crítico de sistemas de irrigação, para as diferentes situações de campo.

PIRES et alii (1988) analisando um grande número de irrigações ocorridas em 5 anos de experimentação com rami, em Campinas, relacionaram os turnos de rega ocorridos à sua porcentagem de ocorrência (probabilidade empírica) visando atender necessidades de projeto.

Atualmente, estão sendo desenvolvidos estudos mais complexos e modelos para o estudo da freqüência e do intervalo entre irrigações.

Um estudo pioneiro em nosso meio para auxiliar a elaboração de projetos de irrigação foi realizado por MORETTI FILHO (1965). Consistiu na aplicação do método proposto por van BAVEL (1953) para estimativa da seca agronômica em sete locais da zona canavieira do Estado de São Paulo. Foram utilizados os registros de precipitação diária de um período variável de 19 a 71 anos. A evapotranspiração potencial (ETP) diária foi calculada pela equação de Penman. O balanço hídrico diário foi realizado para três valores de armazenamento de água no solo: 15, 25 e 50 mm, e a profundidade do sistema radicular considerada de 50 cm. O balanço hídrico diário de umidade do solo foi realizado para determinação do número de dias secos. A ocorrência de seca agronômica foi descrita em termos de dias secos para os 3 valores de armazenamento de água no solo. Os dias secos assinalados foram classificados e analisados por meio de probabilidade, porém em períodos mensais e anuais. Através dos resultados obtidos ficou

evidente que são esperadas ocorrências de longos períodos secos durante o inverno e início da primavera para as diferentes condições estudadas. Os resultados também revelaram que a ocorrência de seca depende fortemente da quantidade de água disponível no solo, na zona efetiva de exploração das raízes.

Um modelo para definir a freqüência operacional de irrigação para obtenção da máxima produção das culturas é descrito por MILLAR & CHOUDHURY (1980). As informações básicas usadas no modelo são a respeito das respostas da planta às condições de umidade no solo, características de retenção e movimento de água no solo e evapotranspiração. A evapotranspiração foi estimada em função do potencial matricial na zona efetiva das raízes, ou quando esta informação não for disponível a evapotranspiração pode ser obtida através do uso de coeficientes de cultura e dados de evaporação de tanque classe A. Os autores apresentam os resultados da aplicação do modelo nas culturas de tomate e feijão em solo franco arenoso. São discutidos o uso da informação mundial da relação entre rendimento das culturas e potencial matricial de água no solo. Esse modelo é bom para manejo ou pesquisa, porém, de difícil viabilização na prática de planejamento de irrigação.

KHANJAMI & BUSCH (1982) determinaram a distribuição de probabilidade e o período de retorno para va-

lores acumulados da evapotranspiração para as culturas em crescimento e as possíveis freqüências de irrigação para Idaho. A evapotranspiração diária foi calculada através da equação de Jensen-Haise para 26 anos de dados climáticos. Através da utilização da distribuição de probabilidade a evapotranspiração real acumulada foi analisada para períodos de diferentes durações (1 a 30 dias), assim como água facilmente disponível para várias combinações de solo e cultura, e consequentemente todas as possíveis freqüências de irrigação puderam ser determinadas. A metodologia tem a finalidade de obter as freqüências de irrigação mais econômicas usando análise marginal de custo e benefício, para alternativas de sistemas de irrigação aplicando diferentes quantidades de água.

Visando obter informações para projetos e manejo da irrigação suplementar, MAROUELLI et alii (1984), realizaram um estudo para adaptar e comparar alguns modelos de determinação da lâmina e freqüência de irrigação suplementar por meio da análise de precipitação durante um certo período de anos. Para o teste dos modelos o solo foi caracterizado com relação a retenção de água e a profundidade do sistema radicular estipulada em 50 cm. Quando a umidade do solo atingia a 50% de disponibilidade, o modelo calculava a lâmina de irrigação a ser aplicada. Porém, a ETP foi estimada para períodos mensais, e admitiram como sendo igualmente distribuidas durante todo o mês em consi-

deração. Neste estudo os autores concluiram que para a região estudada o modelo que apresentou melhor comportamento para o manejo de irrigação suplementar, foi o baseado nas probabilidades de ocorrência de períodos secos.

Estimativas meteorológicas tradicionais de evapotranspiração, incluem fatores empíricos de cultura os quais são inadequados para o manejo de irrigações com alta freqüência. Para tanto FUCHS et alii (1987) testaram e adaptaram um modelo de transpiração para uso na operacionalização de sistemas de irrigação automatizados. Neste modelo, são inseridas a cada hora a radiação solar global, temperatura do ar, umidade e velocidade do vento, obtidas de estação climática automática. Diariamente, também foram utilizados os valores de peso da planta, índice de área foliar e resistência da folha para difusão do vapor de água. O modelo determina a alteração do uso da água resultante do desenvolvimento do dossel vegetativo durante o período de irrigação. A precisão pode ser aperfeiçoada com a adição de um modelo de evaporação. Da maneira como é utilizado, não permite que ocorra estresse hídrico. O teste do modelo no campo mostrou que a implementação do modelo pode melhorar a eficiência de aplicação de água, principalmente para as condições de irrigações freqüentes.

Um modelo computacional é apresentado por SILVA et alii (1988) para o dimensionamento de sistemas de irrigação. Os autores sugerem para análise da evaporação

dependente a distribuição normal e para a precipitação dependente a distribuição gama de probabilidade. Entretanto, utilizam dados mensais de precipitação e evaporação, valores estes, questionáveis para uso em dimensionamento de sistemas de irrigação.

ZAZUETA et alii (1989) determinaram a distribuição temporal e espacial de intervalos entre irrigações para 9 locais do Estado da Flórida. Para o cálculo do intervalo entre irrigações foram definidos um conjunto de parâmetros de solo e planta arbitrariamente definidos como "normais". A evapotranspiração foi estimada pela equação de Penman utilizando 25 anos de registros climáticos. O intervalo entre irrigações foi determinado pela seguinte equação:

$$I = \frac{D \cdot SWC}{Kc \cdot ETP} \qquad (1)$$

em que:

I : intervalo entre irrigações

D : profundidade do sistema radicular

SWC : capacidade de armazenamento de água no solo

Kc : coeficiente de cultura

ETP : evapotranspiração potencial.

O efeito do clima neste estudo é embutido no cálculo dos intervalos entre irrigações (eq. 1), portanto, os usuários não precisam se preocupar em estudar o clima. Nesse estudo não foi introduzida nenhuma modifica-

ção na escolha de valores de evapotranspiração, sendo utilizados os médios mensais.

SAAD (1990) analisou a distribuição de freqüência de uma longa série diária de evapotranspiração de referência e precipitação pluvial para a região de Piracicaba. A análise dos eventos foi aplicada a períodos de 5, 10, 15 dias e mensal, referentes aos meses de março e setembro. Para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação o autor recomenda subtrair a precipitação da evapotranspiração de referência, ambos ao nível de 75% de probabilidade. A metodologia apresentada é promissora, mas necessita sua verificação prática.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Características do local e dados meteorológicos

O presente estudo foi realizado com dados obtidos no Posto Meteorológico da Estação Experimental de Ribeirão Preto do Instituto Agronômico de Campinas. As coordenadas locais são 22° 11' sul de latitude e 47° 48' oeste de longitude e a 621 m de altitude.

Pela classificação de KOEPPEN, segundo SETZER (1966) o clima da região é do tipo Aw, tropical com inverno seco.

A Figura 1 apresenta os totais médios das precipitações e evapotranspiração de referência do período estudado para Ribeirão Preto.

A primeira época estudada foi o mês de fevereiro. Mês tipicamente chuvoso (Figura 1), porém com ocorrência de veranicos, o que justifica o uso de irrigação suplementar (ALFONSI et alii, 1989a). Para esse mês foram utilizados dados desde 1969 até 1985 e de 1987 a 1990, totalizando 21 anos de simulações.

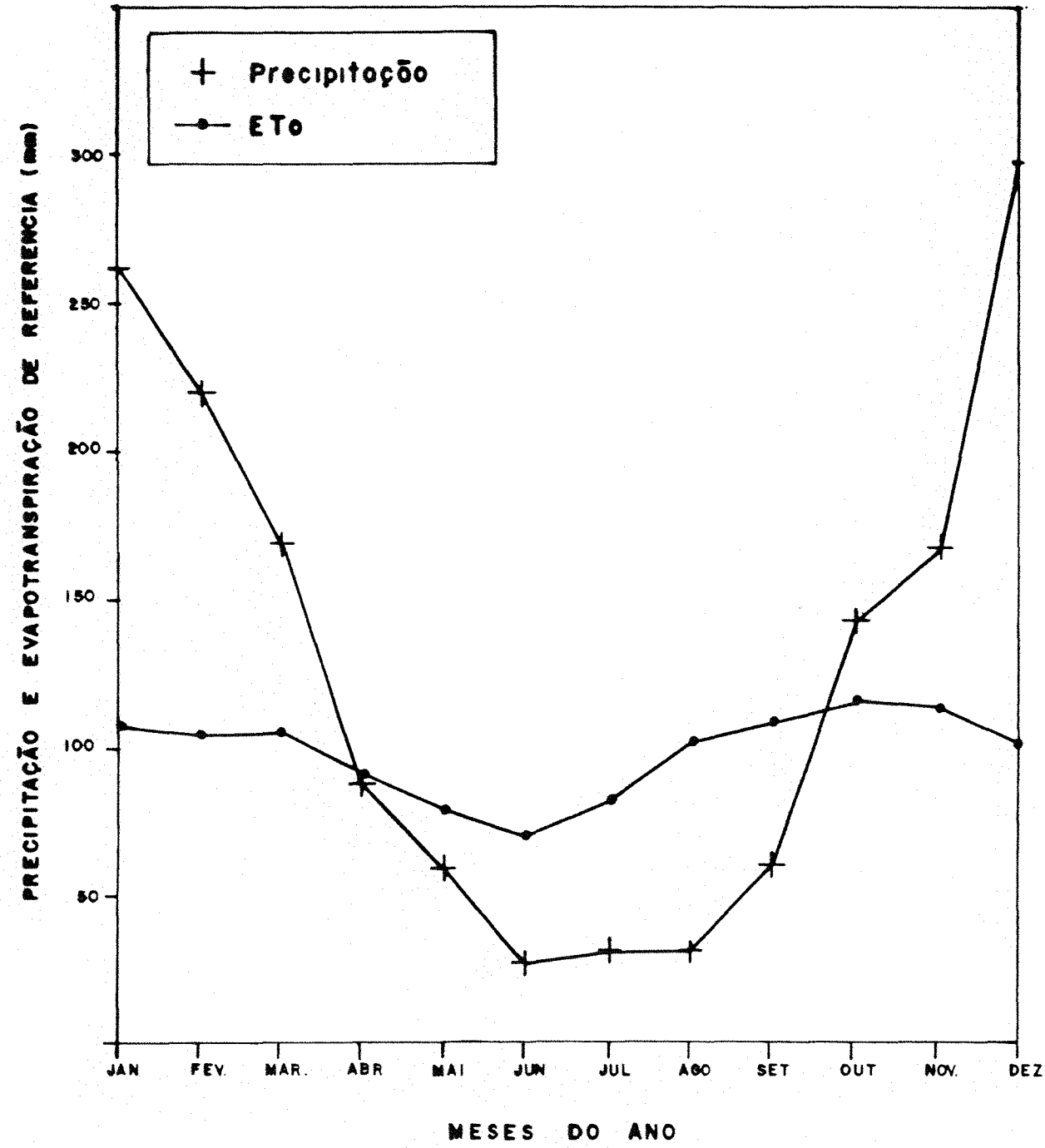

Figura 1 - Valores médios mensais da precipitação pluviométrica (mm), e da evapotranspiração de referência (mm), no período de 1968 a 1990, para a Estação Experimental de Ribeirão Preto, SP. Dados fornecidos pela Seção de Climatologia Agrícola do Instituto Agronômico de Campinas.

A segunda época estudada foi o mês de julho, por se tratar de mês seco (Figura 1), importante para irrigação. É um mês no qual muitas culturas encontram-se em fase de florescimento. Para julho, foram utilizados dados de 1969 a 1980 e 1982 a 1988, e 1990, totalizando um período de 20 anos. A descontinuidade dos anos, é em função da falta dos dados necessários para a simulação das irrigações.

A evapotranspiração de referência foi estimada através da evaporação do tanque classe A e corrigida segundo a metodologia da FAO (DOORENBOS & PRUITT, 1984). O tanque classe A tem formato cilíndrico, com diâmetro de 1,21 m e altura de 0,255 m. Tem como acessórios para as leituras um poço tranquilizador, nivelado por três parafusos calantes e um micrômetro com precisão de medida do nível de água de até 0,02 mm, sendo esse assentado sobre o poço tranquilizador na realização das leituras. O tanque é colocado sobre um estrado de madeira, a 0,15 cm de altura em relação a superfície do solo e protegido por tela. O Posto Meteorológico de Ribeirão Preto é gramado e tem bordadura mínima de 10 m.

As leituras de evaporação e precipitação, foram diárias e sempre no mesmo horário, às 7:00 horas. Já, as leituras de velocidade do vento e umidade relativa foram medidas 3 vezes ao dia, às 7:00, 14:00 e 21:00 horas. Os valores de umidade relativa e velocidade do vento

utilizados correspondem a média aritimética diária das 3 medições.

3.2. Evapotranspiração

A evapotranspiração de referência foi estimada pela seguinte equação:

$$ETo = Kp \cdot E_{tanque} \qquad (2)$$

em que,

ETo: evapotranspiração de referência (mm/dia),

Kp: coeficiente do tanque classe A (adimensional),

E_{tanque}: evaporação medida no tanque classe A (mm/dia).

Entende-se por evapotranspiração de referência, a água perdida diariamente por uma superfície totalmente vegetada com grama, com 8 a 15cm de altura, em fase de desenvolvimento ativo, estando o solo em ótimas condições de suprimento hídrico (DOORENBOS & PRUITT, 1984).

O coeficiente de tanque utilizado é o preconizado por DOORENBOS & PRUITT (1984). Para o cálculo do coeficiente do tanque foram utilizados valores diários de velocidade do vento a 2m de altura e umidade relativa média.

A velocidade do vento foi medida a 10 m de altura. Para tranformar os dados à altura de 2m utilizou-se a seguinte expressão (PASQUILL, 1949):

$$\frac{U_2}{U_{10}} = \left(\frac{z_2}{z_{10}}\right)^{Ko} \qquad (3)$$

em que,

U_2: velocidade do vento a 2 m de altura (m/s),

U_{10}: velocidade do vento a 10 m de altura (m/s),

z_2: altura desejada de medição de velocidade do vento(2m),

z_{10}: altura de medição da velocidade do vento (10m),

Ko: constante igual a 1/7.

A análise dos valores diários de Kp obtidos mostrou uma amplitude de variação da ordem de 0,65 a 0,85 para fevereiro e de 0,60 a 0,85 para julho. Essa amplitude de variação, com rara ocorrência dos valores extremos, associada aos baixos coeficientes de variação de 5,7% e 6,1%, respectivamente para fevereiro e julho, não justificaram a utilização do valor diário. Assim, optou-se por um único valor médio mensal de Kp. O valor médio mensal utilizado para fevereiro foi de 0,82, e equivale, a média dos valores diários obtidas no período de 1969 a 1990, perfazendo um total de 621 dias. Resultados similares foram obtidos para julho. O valor médio do Kp para julho foi de 0,76 , sendo utilizados 682 dias para o cálculo.

Para se evitar possíveis inconsistências e erros de medição, adotou-se alguns critérios para tratamento dos dados. Sempre que o valor de ETo excedeu a 8,5 mm/dia, este foi substituido pela média evaporimétrica mensal. Quando ocorreu transbordamento do tanque foi assumido o valor zero para a evapotranspiração do dia.

3.3. Simulação de irrigações

As simulações das irrigações em cada ano, foram realizadas com base diária dentro de cada um dos meses de fevereiro e julho, no período de 1969 a 1990. Para tanto foi realizado um balanço hídrico seriado (balanço de massas de água no solo), que considera o consumo de água pela cultura, o armazenamento de água no solo e a precipitação (CAMARGO, 1962).

O consumo diário de água do solo foi estimado pela evapotranspiração máxima das culturas, calculada de acordo com DOORENBOS & KASSAM (1979):

$$ETm = kc \cdot ETo \qquad (4)$$

em que,

ETm : evapotranspiração máxima (mm/dia),

kc : coeficiente de cultura,

ETo : evapotranspiração de referência (mm/dia).

A ETm, é a taxa de perda de água por evapotranspiração, necessária ao ótimo desenvolvimento de uma cultura saudável qualquer, sem restrição hídrica e em qualquer estágio de desenvolvimento.

Existem inúmeras combinações entre os parâmetros de solo (retenção e disponibilidade de água) e cultura (tipo, profundidade de raízes, capacidade de extração de água e sensibilidade ao défice hídrico), que interferem no dimensionamento e manejo das irrigações. A combinação adequada de vários valores de armazenamento de água no solo e de kc possibilitam uma grande abrangência de situações e aplicações dos resultados de simulação. Utilizou-se os valores de 0,5 e 1,0 para kc. Para a componente armazenamento de água no solo, sensibilidade ao défice hídrico e tipo de cultura, adotaram-se os seguintes níveis de consumo admissível de água do solo (CAAS): 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 e 50 mm.

A simulação teve início no começo do mês e considera o armazenamento de água no solo completo (capacidade de campo). A partir daí, a precipitação é somada como entrada de água e a evapotranspiração máxima como saída no balanço hídrico. Quando a precipitação somada ao balanço hídrico exceder o valor para reposição de água no solo proposto, considera-se o valor em excesso como perda por drenagem ou percolação profunda, e reinicia-se o balanço hídrico. O modelo proposto assume que não ocorrem

perdas por escoamento superficial, ou alimentação superficial por enxurrada ou subsuperficial de água por ascensão capilar. Procedimento similar de idealização das irrigações foram realizados por BERNARDO & HILL (1978) e SMAJSTRLA & ZAZUETA (1988).

Para cada irrigação simulada foi anotado o intervalo e o valor da lâmina líquida de irrigação realmente necessária para repor a umidade do solo a capacidade de campo.

Os resultados obtidos com a simulação das irrigações para cada mês em separado, para todos os anos em estudo, e para cada valor de lâmina de CAAS e kc, foram agrupados. Em cada situação de lâmina de irrigação e coeficiente de cultura, foi contado cada caso ocorrido de intervalo entre irrigações. Foi contabilizado o número total de irrigações ocorridas, e calculada a freqüência de ocorrência do evento por probabilidade empírica. Finalmente esses valores de freqüência foram acumulados.

Através da análise dos resultados obtidos pelas simulações das irrigações foram determinadas as necessidades ou demanda probabilística de irrigações.

3.4. Lâmina de irrigação necessária

A metodologia de simulação das irrigações adotou como critério para o momento das irrigações, quando a lâmina correspondente ao valor pré-determinado de CAAS fosse totalmente consumida.

No momento da irrigação, em cada caso de simulação, foi calculado e anotado a lâmina de irrigação realmente necessária (h_{ln}) para elevar a umidade do solo à capacidade de campo.

Os valores obtidos de h_{ln} foram subdivididos em classes. Posteriormente, foram agrupados o número de casos ocorridos em cada intervalo de lâmina adicional e determinada a freqüência de ocorrência dos eventos através de probabilidade empírica. A partir desses dados foram calculadas as porcentagens adicionais de irrigação ($\%h_a$) em relação a lâmina inicialmente projetada de CAAS.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Resultados gerais

Os valores mensais de precipitação e evapotranspiração ocorridos na Estação Experimental de Ribeirão Preto em fevereiro e julho, no período de 1969 a 1990, são apresentados na Tabela 1.

Através dos resultados da Tabela 1 pode-se calcular a diferença entre a precipitação (P) e a evapotranspiração de referência (ETo) é negativa em 19 % dos casos em fevereiro, e cerca de 90 % em julho. Os meses selecionados são portanto, representativos de períodos úmido e seco, respectivamente. Porém existe grande incerteza na ocorrência de secas. Mesmo para fevereiro, um mês tipicamente chuvoso, há anos em que a chuva não é suficiente. MOTA et alii (1970) concluiram que a variabilidade da chuva de um ano para o outro determina grandes flutua-

Tabela 1 - Precipitação e evapotranspiração mensal, ocorridas em 22 anos, nos meses de fevereiro e julho, no Posto Meteorológico da Estação Experimental de Ribeirão Preto, Instituto Agronômico.

Ano	Precipitação total mensal (mm)		Evapotranspiração total mensal (mm)		Evapotranspiração media mensal (mm/dia)	
	Fevereiro	Julho	Fevereiro	Julho	Fevereiro	Julho
1969	122,6	9,2	93,5	75,8	3,3	2,4
1970	392,4	20,0	64,1	67,0	2,3	2,2
1971	167,2	35,1	102,0	66,7	3,6	2,2
1972	384,4	126,8	59,5	68,9	2,1	2,2
1973	208,7	15,9	95,4	77,3	3,4	2,5
1974	121,0	0	128,2	94,5	4,6	3,0
1975	190,2	27,2	102,7	93,2	3,7	3,0
1976	314,7	104,1	103,1	75,4	3,6	2,4
1977	91,3	3,2	134,2	99,0	4,8	3,2
1978	133,1	63,7	126,9	73,6	4,5	2,4
1979	227,6	24,9	157,4	74,2	5,6	2,4
1980	356,7	0	87,2	77,4	3,0	2,5
1981	35,9	----	122,5	----	4,4	---
1982	159,4	30,2	96,5	68,3	3,4	2,2
1983	353,4	65,1	83,2	77,0	3,0	2,5
1984	86,8	4,3	137,5	107,7	4,7	3,5
1985	130,7	0,5	126,6	118,4	4,5	3,8
1986	-----	48,7	-----	81,1	---	2,6
1987	369,0	29,8	92,3	94,5	3,3	3,0
1988	287,0	0	86,2	87,4	3,0	2,8
1989	338,0	----	90,4	----	3,2	---
1990	144,4	12,9	112,6	75,1	4,0	2,4
média	219,7	31,1	104,9	82,6	3,7	2,7
s	113,8	35,2	24,6	14,3	0,9	0,5
epm	25,4	8,1	5,5	3,3	0,2	0,1
CV %	51,8	113,2	23,5	17,3	23,5	17,3

ções nos excessos e deficiências de água em uma mesma região. Já FRIZZONE (1979) recomenda que para fins de planejamento a influência da precipitação não deve ser tomada pelo valor médio, pois, para a maioria dos anos, esse valor ocorre com menos de 50% de probabilidade.

Os coeficientes de variação para precipitação em fevereiro e julho foram 51,8% e 113,2% respectivamente (Tabela 1). Para fevereiro o menor valor de precipitação ocorrido foi de 35,9 mm, e o maior de 392,4 mm. Já para julho esses valores variaram de 0 a 126,8 mm. Por outro lado, os coeficientes de variação para os totais mensais de evapotranspiração foram de 23,5% para fevereiro e 17,3% para julho. Sendo que a variação da evapotranspiração média mensal ocorrida em fevereiro situou-se entre 2,1 a 5,6 mm/dia e para julho de 2,2 a 3,8 mm/dia.

Pela análise dos dados e dos coeficientes de variação, preliminarmente pode-se dizer que a precipitação é a componente responsável pelas maiores diferenças entre (P-ETo) e, portanto, no número de irrigações. No entanto, a evapotranspiração é provavelmente a maior responsável pela variação no intervalo entre irrigações.

4.2. Número de irrigações

As simulações de balanço hídrico foram feitas com base na evapotranspiração máxima, precipitação e armazenamento de água no solo, no período de 1969 a 1990, e adotando-se dois coeficientes de cultura e cinco lâminas

de consumo admissível de água do solo (CAAS). O número de irrigações por mês ocorridas para fevereiro e julho são apresentadas nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

De acordo com os resultados das Tabelas 2 e 3, a influência da precipitação no número de irrigações não é bem nítida. A apresentação em ordem decrescente possibilita a avaliação da relação entre a precipitação e o número de irrigações. Assim, nota-se que diminuindo os valores de precipitação, existe a tendência de aumento no número de irrigações por ano. Talvez essa tendência não seja bem nítida por se tratar de análise em período mensal, onde a precipitação considerada não leva em conta a sua distribuição no decorrer do mês. Entretanto, observa-se que para os menores valores de CAAS existe tendência acentuada de um maior número de irrigações para os meses com precipitações mais baixas.

Convém salientar que para algumas situações de CAAS e kc, as irrigações simuladas foram em pequeno número (Tabelas 2 e 3). Para fevereiro, simulando-se as irrigações com as lâminas de 20 e 25 mm e kc = 0,5 , em apenas 4 dos 21 anos analisados, foram necessárias irrigações. Já para a lâmina de 50 mm e kc = 1,0 , em apenas 6

Tabela 2 - Número de irrigações necessárias e totais mensais de precipitação por ano, obtidas através das simulações das irrigações para fevereiro, com diferentes lâminas de consumo admissível de água do solo (CAAS) e coeficiente de cultura (kc), para Ribeirão Preto.

Ano	Precipitação (mm)	Número de irrigações									
		kc = 0,5					kc = 1,0				
		CAAS (mm)					CAAS (mm)				
		5	10	15	20	25	10	20	30	40	50
1970	392,4	2	1	0	0	0	2	1	0	0	0
1972	384,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1987	369,0	1	1	0	0	0	2	1	0	0	0
1980	356,7	2	1	1	0	0	2	1	1	0	0
1983	353,4	3	1	0	0	0	3	1	1	0	0
1989	338,0	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0
1976	314,7	2	1	1	0	0	3	1	1	1	0
1988	287,0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
1979	227,6	5	1	0	0	0	5	1	1	0	0
1973	208,7	2	0	0	0	0	4	2	1	0	0
1975	190,2	5	2	1	0	0	5	2	1	1	0
1971	167,2	4	1	0	0	0	4	1	1	0	0
1982	159,4	5	2	1	1	1	5	2	1	1	1
1990	144,4	6	2	1	0	0	5	2	1	0	0
1978	133,1	6	2	1	1	1	6	2	2	1	1
1985	130,7	4	1	0	0	0	4	2	1	1	0
1969	122,6	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0
1974	121,0	6	3	1	0	0	7	4	2	1	1
1977	91,3	6	3	2	1	1	8	3	2	2	1
1984	86,8	6	2	1	0	0	7	3	2	1	1
1981	35,9	6	4	2	1	1	7	4	3	2	1
1986	-----	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 3 - Número de irrigações necessárias e totais mensais de precipitação por ano, obtidas através das simulações das irrigações para julho, com diferentes lâminas de consumo admissível de água do solo (CAAS) e coeficiente de cultura (kc), para Ribeirão Preto.

Ano	Precipitação (mm)	Número de irrigações									
		kc = 0,5					kc = 1,0				
		CAAS (mm)					CAAS (mm)				
		5	10	15	20	25	10	20	30	40	50
1972	126,8	3	1	1	0	0	4	1	1	0	0
1976	104,1	6	3	2	1	1	6	3	2	1	1
1983	65,1	6	3	2	1	1	6	3	2	2	1
1978	63,7	5	2	2	1	0	5	2	2	1	0
1986	48,7	6	3	2	1	1	6	3	2	1	1
1971	35,1	4	2	1	1	1	5	2	1	1	1
1982	30,2	4	2	1	0	0	5	2	2	1	0
1987	29,8	8	4	2	2	1	7	4	2	2	1
1975	27,2	7	4	2	2	1	7	4	2	2	1
1979	24,9	5	2	1	1	1	5	3	1	1	1
1970	20,0	5	2	1	1	1	5	2	1	1	1
1973	15,9	7	2	1	1	1	6	3	2	1	1
1990	12,9	6	3	2	1	1	6	3	2	1	1
1969	9,2	6	3	2	1	1	6	3	2	1	1
1984	4,3	8	5	3	2	2	8	5	3	2	2
1977	3,2	8	4	3	2	2	8	4	3	2	2
1985	0,5	10	6	3	3	2	10	6	4	3	2
1974	0	9	5	3	2	2	8	5	3	2	2
1980	0	7	4	2	2	1	7	4	2	2	1
1988	0	8	4	3	2	2	8	4	2	2	2
1981	-----	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1989	-----	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

dos 20 anos estudados houveram irrigações. Esse menor número de irrigações em fevereiro, é de se esperar uma vez que esse é um mês tipicamente chuvoso (Figura 1 e Tabela 1).

Julho, o mês mais seco, exigiu aproximadamente o dobro do número de irrigações do que para fevereiro, considerando-se um mesmo valor de CAAS e kc (Tabelas 2 e 3).

De acordo com os resultados apresentados nas Tabelas 2 e 3, é interessante observar que os aumentos proporcionais nos valores de kc e CAAS produzem aproximadamente o mesmo número de irrigações. Esse fato é mais nítido para julho, possivelmente devido ao maior número de casos registrados. Por exemplo, para julho (Tabela 3) em 1976, observou-se que o número de irrigações para kc de 0,5 e CAAS de 5 mm é o mesmo que para kc de 1,0 e CAAS de 10 mm. O mesmo ocorre para kc de 0,5 e CAAS 10, 15, 20 e 25 mm onde o número de irrigações é igual aos obtidos para kc de 1,0 e CAAS de 20, 30, 40 e 50 mm respectivamente.

Rearranjando os resultados das Tabelas 2 e 3, pode-se apresentar o número médio de irrigações por ano em função das lâminas de consumo admissível de água do solo, CAAS (Figura 2).

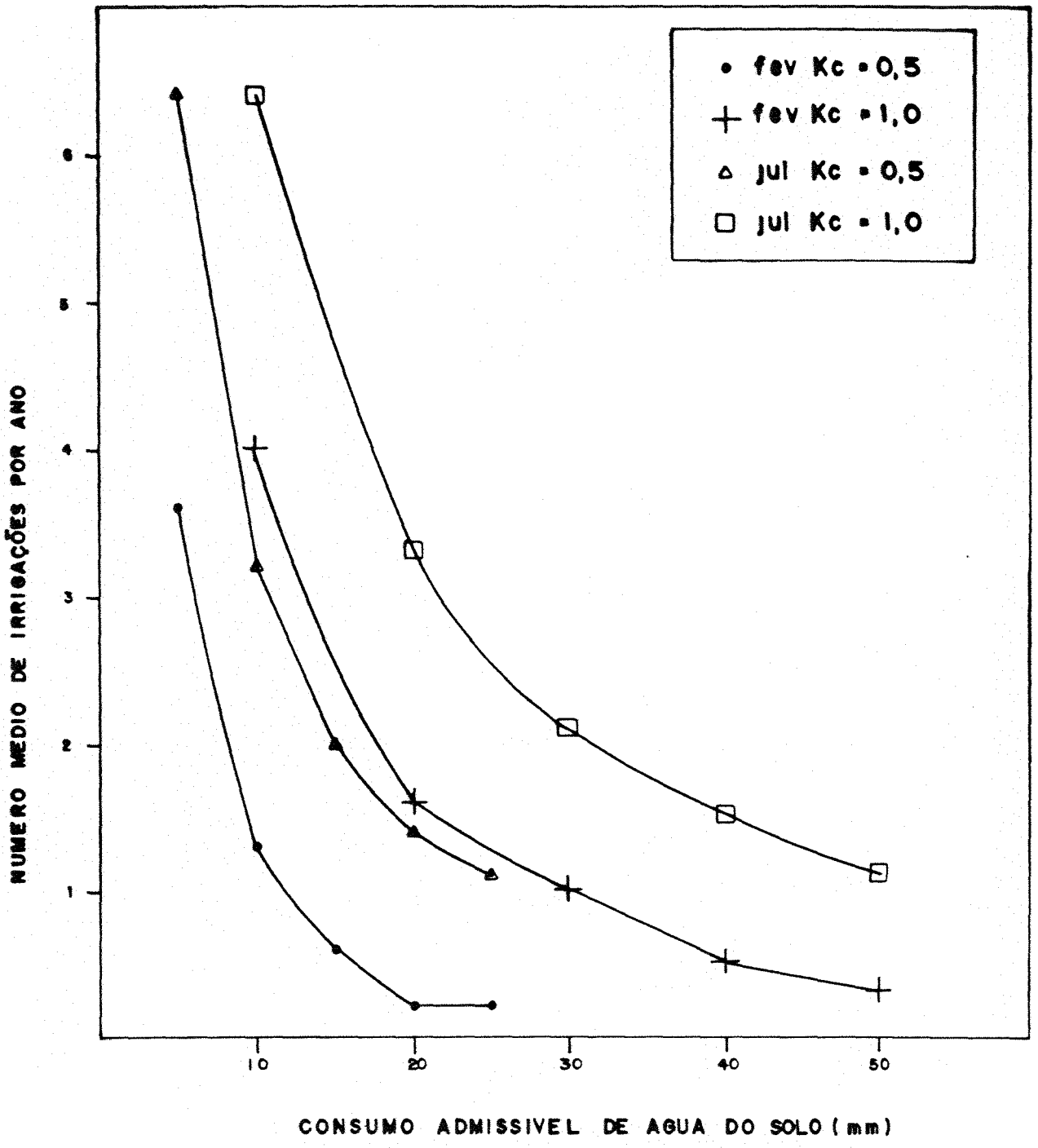

Figura 2 - Número médio de irrigações por ano em função da lâmina de consumo admissível de água do solo e coeficiente de cultura, obtidos através das simulações das irrigações no período de 1969 a 1990, para fevereiro e julho, em Ribeirão Preto, SP.

A relação obtida na Figura 2 mostra que o aumento das lâminas de consumo admissível proporciona uma redução na necessidade anual de irrigação nos meses estudados, porém não de forma diretamente proporcional, e sim curvilínea. Observando-se as declividades ao longo das curvas na Figura 2, verifica-se que para uma mesma variação no eixo dos x ocorre em decréscimo em y, que é muito maior para os valores iniciais de x. Isto quer dizer que, para os menores valores de CAAS adotados, uma pequena variação na lâmina resulta em queda maior no número médio de irrigações por ano, do que para os valores mais elevados de CAAS.

A lâmina de CAAS representa a combinação de diversas situações de solo e cultura, tais como: retenção e disponibilidade de água no solo, profundidade e capacidade de extração de água pelas culturas. O aumento do CAAS é possível de modificação principalmente por práticas de manejo de solo, para uma mesma cultura. Essa análise pode ter aplicação vantajosa principalmente para lâminas pequenas, como mostra a Figura 2.

Exemplificando um caso para fevereiro, com kc=0,5, e uma lâmina de 5mm, o incremento de 2mm em CAAS proporciona uma modificação no número de irrigações anuais de 3,6 para 2,6 no mês de fevereiro. Para julho, kc = 0,5 , e para o mesmo intervalo de variação de

lâmina de irrigação (de 5 a 7mm), o acréscimo na lâmina reduz em 1,3 irrigações por ano. Por outro lado, através da Figura 2, verifica-se que tanto para fevereiro quanto para julho, um incremento nas lâminas de valores altos de CAAS não representa economia significativa no número médio de irrigações por ano.

De acordo com o observado, e as situações estudadas, quando as lâminas de CAAS são pequenas, deve-se fazer uma avaliação nas práticas de manejo de solo e de cultivo, e até a consideração de outras culturas e épocas de cultivo, para possibilitar redução no número médio de irrigações por ano.

4.3. Intervalos entre irrigações

É prática comum em projetos, o calculo do intervalo entre irrigações (I) a partir da relação entre a lâmina líquida (h_l) e a evapotranspiração média mensal. Neste caso, a lâmina líquida considerada equivale à lâmina de CAAS, e a evapotranspiração deve ser a real (ETR), dependente do coeficiente de cultura (kc).

Os intervalos entre irrigações calculados através dos valores mensais de evapotranspiração (kc = 1,0), ETo, para fevereiro e julho, no período de 1969 a 1990, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4- Intervalos entre irrigações calculados para diferentes valores de lâminas de consumo admissível de água do solo (CAAS) e utilizando a evapotranspiração média mensal (kc = 1,0), para fevereiro e julho, no período de 1969 a 1990, em Ribeirão Preto.

Consumo admissível de água do solo (mm)	Intervalos entre irrigações (dias)	
	Fevereiro	Julho
10	2,7	3,7
20	5,4	7,4
30	8,1	11,1
40	10,8	14,8
50	13,5	18,5

Os turnos de rega médios apresentados na Tabela 4, indicam uma relação linear, diretamente proporcional entre h_1 e ETo, devido ao procedimento de cálculo.

Os resultados de intervalos entre irrigações obtidos simulando-se as irrigações para fevereiro e julho com as lâminas de CAAS e os valores de kc previamente estipulados, são apresentados nas Tabelas 5 e 6, respectivamente. Obtiveram-se intervalos variáveis entre irrigações e com diferentes freqüências de ocorrência. Esses dados representam uma realidade mais complexa do que aquela apresentada na Tabela 4.

De acordo com os resultados apresentados nas Tabelas 5 e 6, observa-se que os turnos de rega variaram de 2 a 29 dias, para fevereiro, e de 3 a 31 dias, para julho. Amplitudes essas bem maiores que as observadas nos resultados da Tabela 4, com kc = 1,0 , no mesmo período de cálculo.

Observando-se as Tabelas 5 e 6, nota-se que o mês de fevereiro requer um intervalo entre irrigações menor que para o mês de julho, para as diferentes situações simuladas. Provavelmente isto é devido aos maiores valores de ETo característicos do mês de fevereiro (Tabela 1 e Figura 1), apesar da interferência das chuvas. Por outro lado, o maior número de irrigações encontrados para julho, se deve, às menores taxas de precipitações também características a esse mês (Tabela 1 e Figura 1).

Tabela 5 - Freqüência de ocorrência dos intervalos entre irrigações, em 21 anos de simulações, com dois coeficientes de cultura (kc) e cinco lâminas de consumo admissível de água do solo (CAAS), no mês de fevereiro em Ribeirão Preto.

Intervalo entre irrigações (dias)	Freqüência de ocorrência (%) kc = 0,5					kc = 1,0				
	CAAS (mm)					CAAS (mm)				
	5	10	15	20	25	10	20	30	40	50
2	32,9					28,3				
3	48,7					43,5				
4	11,8	17,9				18,8	15,2			
5	5,3	32,1				5,9	24,2			
6	1,3	21,4	16,7			3,5	30,3	14,3		
7		17,9	41,6				18,2	23,7		
8		7,1	16,7				9,1	9,5	18,2	
9		0	0	25,0			3,0	14,3	18,2	
10		3,6	0	50,0				4,8	18,2	
11			0	25,0	25,0			4,8	0	33,2
12			16,7		50,0			9,5	0	16,7
13			0		25,0			4,8	18,2	0
14			8,3					0	0	0
15								4,8	0	16,7
16								0	0	0
17								9,5	0	0
18									9,1	0
19									0	0
20									0	16.7
21									9,1	0
22									0	0
23									0	0
24									0	0
25									0	0
26									0	0
27									9,1	0
28										0
29										16,7
nº de casos	76	28	12	4	4	85	33	21	11	6

Tabela 6 - Freqüência de ocorrência dos intervalos entre irrigações, em 20 anos de simulações, com dois coeficientes de cultura (kc) e cinco lâminas de consumo admissível de água do solo (CAAS), no mês de julho em Ribeirão Preto.

Intervalo entre irrigações (dias)	Freqüência de ocorrência (%) kc = 0,5					kc = 1,0				
	CAAS (mm)					CAAS (mm)				
	5	10	15	20	25	10	20	30	40	50
3	29,6					28,1				
4	38,3					32,8				
5	24,2	6,2				30,4	6,1			
6	5,5	17,2				4,7	16,7			
7	0,8	26,5				0,8	30,3	2,4		
8	0,8	25,0	5,1			0,8	15,2	4,9		
9	0,8	12,5	10,3			0,8	12,1	4,9		
10		7,8	15,4	7,4		0,8	7,6	22,0	6,9	
11		1,6	25,6	3,7		0,8	4,5	14,7	0	
12		1,6	20,5	7,4	4,6		0	19,6	10,3	4,5
13		1,6	0	18,5	0		1,5	2,4	17,1	0
14			12,8	18,5	0		3,0	12,2	20,6	0
15			0	14,9	4,6		0	0	10,3	9,1
16			0	0	18,1		0	2,4	3,5	18,2
17			0	7,4	18,1		0	2,4	3,5	13,7
18			5,1	7,4	13,6		0	7,3	6,9	9,1
19			0	3,7	9,1		1,5	2,4	0	13,7
20			0	0	4,6		1,5	0	3,5	0
21			2,6	3,7	0			0	0	0
22			0	0	4,6			0	3,5	4,5
23			0	0	0			0	6,9	9,1
24			2,6	0	13,6			0	0	0
25				3,7	0			0	0	0
26				0	0			0	0	9,1
27				0	0			0	0	0
28				3,7	0			0	0	4,5
29					4,6			0	3,5	0
30					0			2,4	0	0
31					4,6				3,5	4,5
nº de casos	128	64	39	27	22	128	66	41	29	22

Conforme identificado por ZAZUETA et alii (1989), fixando-se o consumo admissível de água do solo e o coeficiente de cultura, o intervalo entre irrigações passa a ser apenas função do clima.

As freqüências de ocorrência acumuladas dos intervalos entre irrigações para as várias lâminas de CAAS e coeficiente de cultura para fevereiro e julho são apresentadas nas Figuras 3 a 6.

Os dados apresentados nas Figuras de 3 a 6, tem por base os das Tabelas 5 e 6, porém com os valores de freqüência acumulados. Os valores de freqüência são dados calculados através de probabilidade empírica, sem ajustes. Portanto, há variação nos resultados, chegando a perda de consistência nas lâminas maiores, com poucas observações.

Observando-se as Figuras 3 a 6, verifica-se que as curvas tendem a ser paralelas pelo menos até 50% de freqüência acumulada. Nota-se também que devido ao menor número de irrigações observadas para as maiores lâminas, não houve coerência nos dados não ajustados abaixo do nível de 50% de probabilidade, conforme já comentado.

Avaliando-se os resultados obtidos, acredita-se que para proceder uma análise dos dados com boa qualidade, seriam necessários um número próximo a 20 irrigações simuladas. Consequentemente um maior período de dados

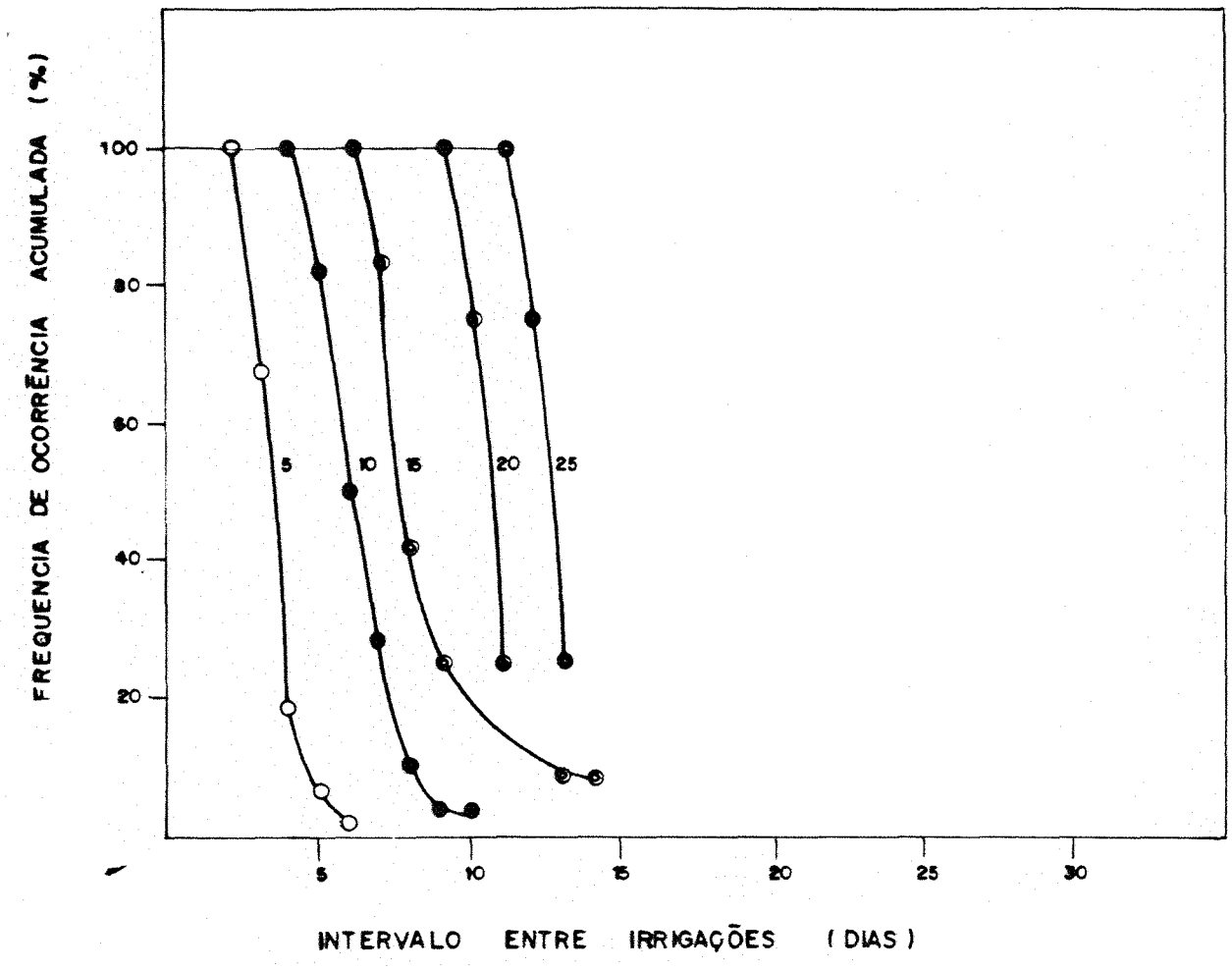

Figura 3 - Freqüência de ocorrência acumulada dos intervalos entre irrigações resultante de 21 anos de simulação de irrigações, para o mês de fevereiro, em Ribeirão Preto, SP. As curvas 5, 10, 15, 20 e 25 representam os valores das lâminas de consumo admissível de água do solo em mm, e coeficiente de cultura igual a 0,5.

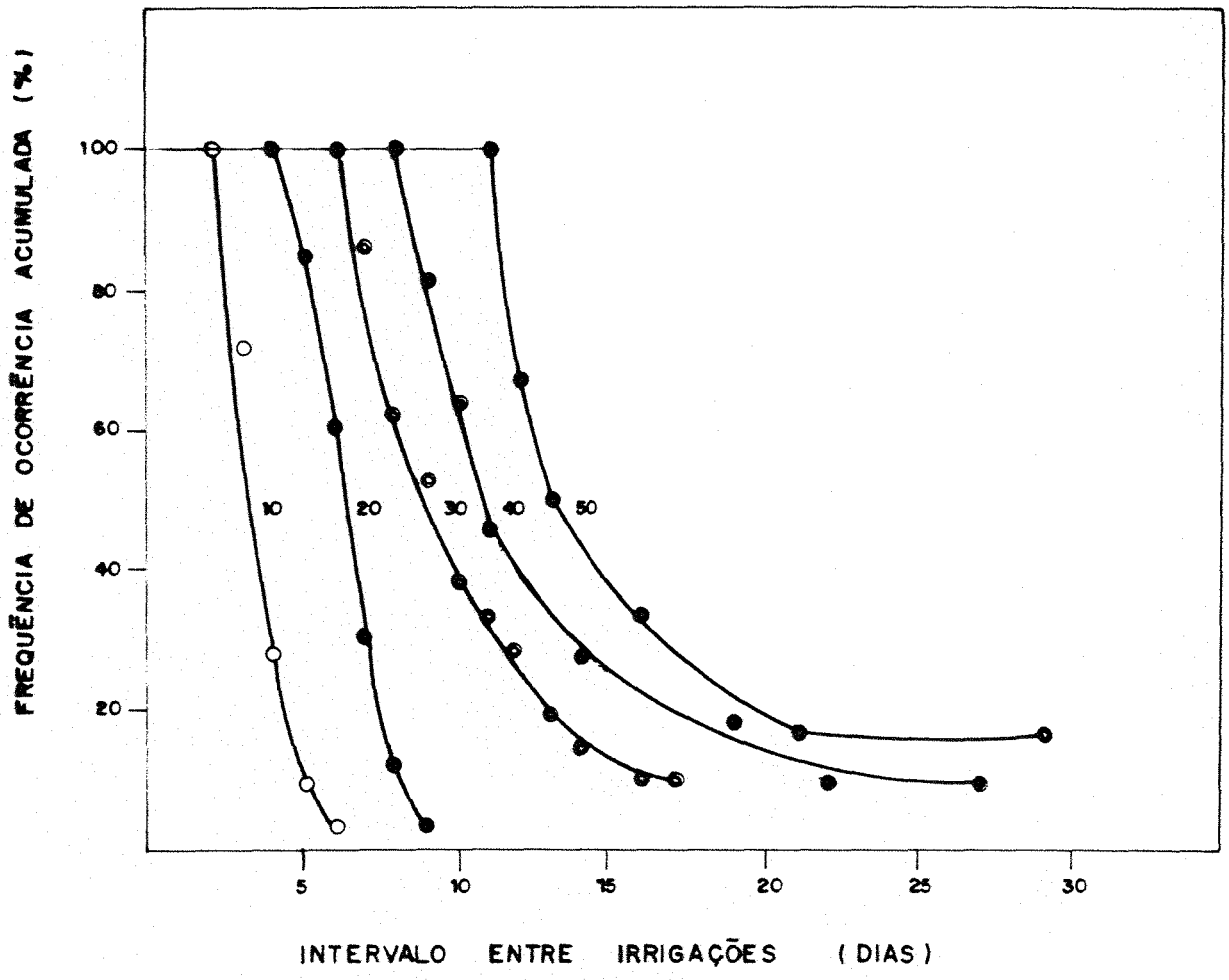

Figura 4 - Frequência de ocorrência acumulada dos intervalos entre irrigações resultante de 21 anos de simulação de irrigações, para o mês de fevereiro, em Ribeirão Preto, SP. As curvas 10, 20, 30, 40 e 50 representam os valores das lâminas de consumo admissível de água no solo em mm, e coeficiente de cultura igual a 1,0.

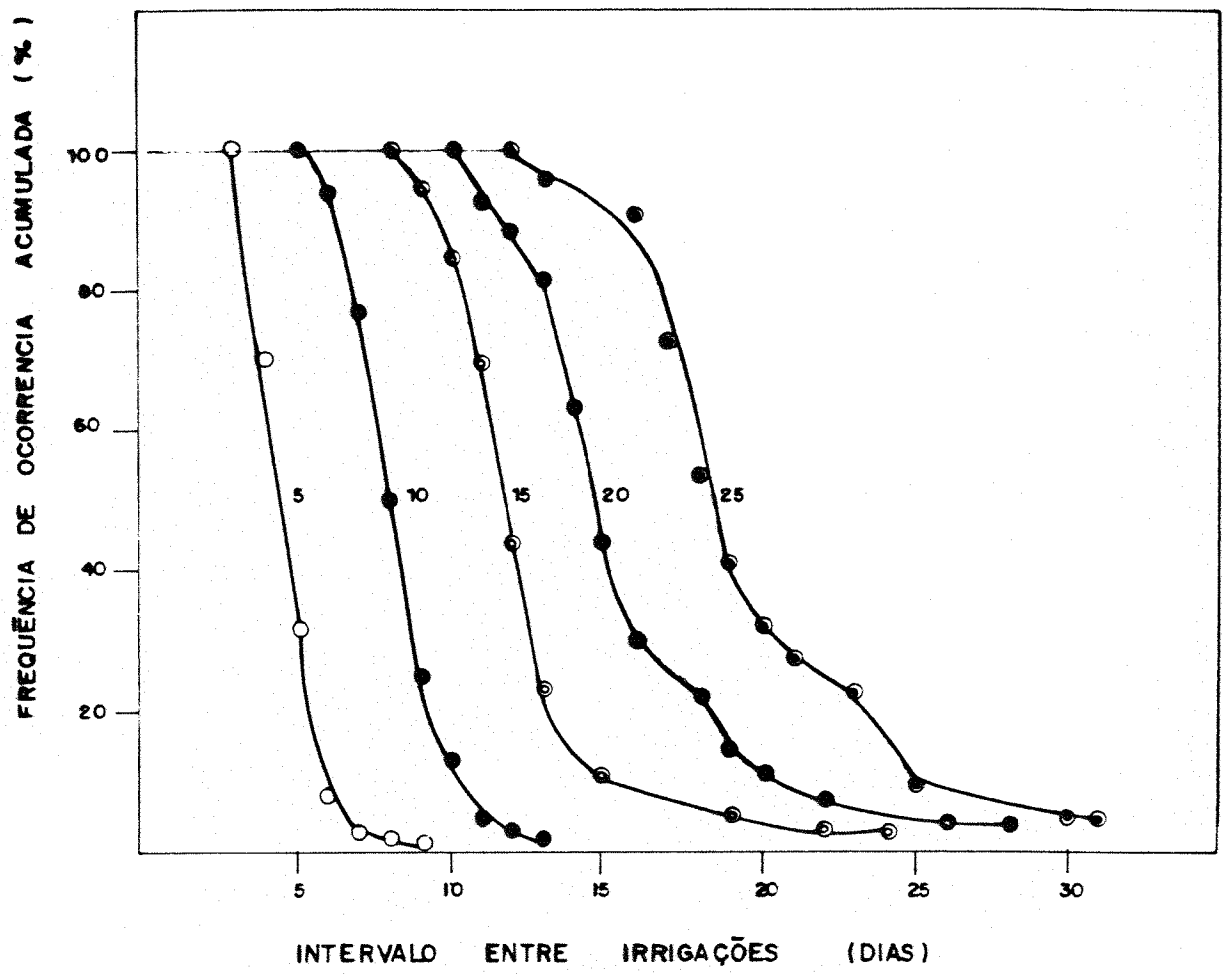

Figura 5-Freqüência de ocorrência acumulada dos intervalos entre irrigações resultante de 20 anos de simulação de irrigações, para o mês de julho, em Ribeirão Preto, SP. As curvas 5, 10, 15, 20 e 25 representam os valores das lâminas de consumo admissível de água do solo em mm, e coeficiente de cultura igual a 0,5.

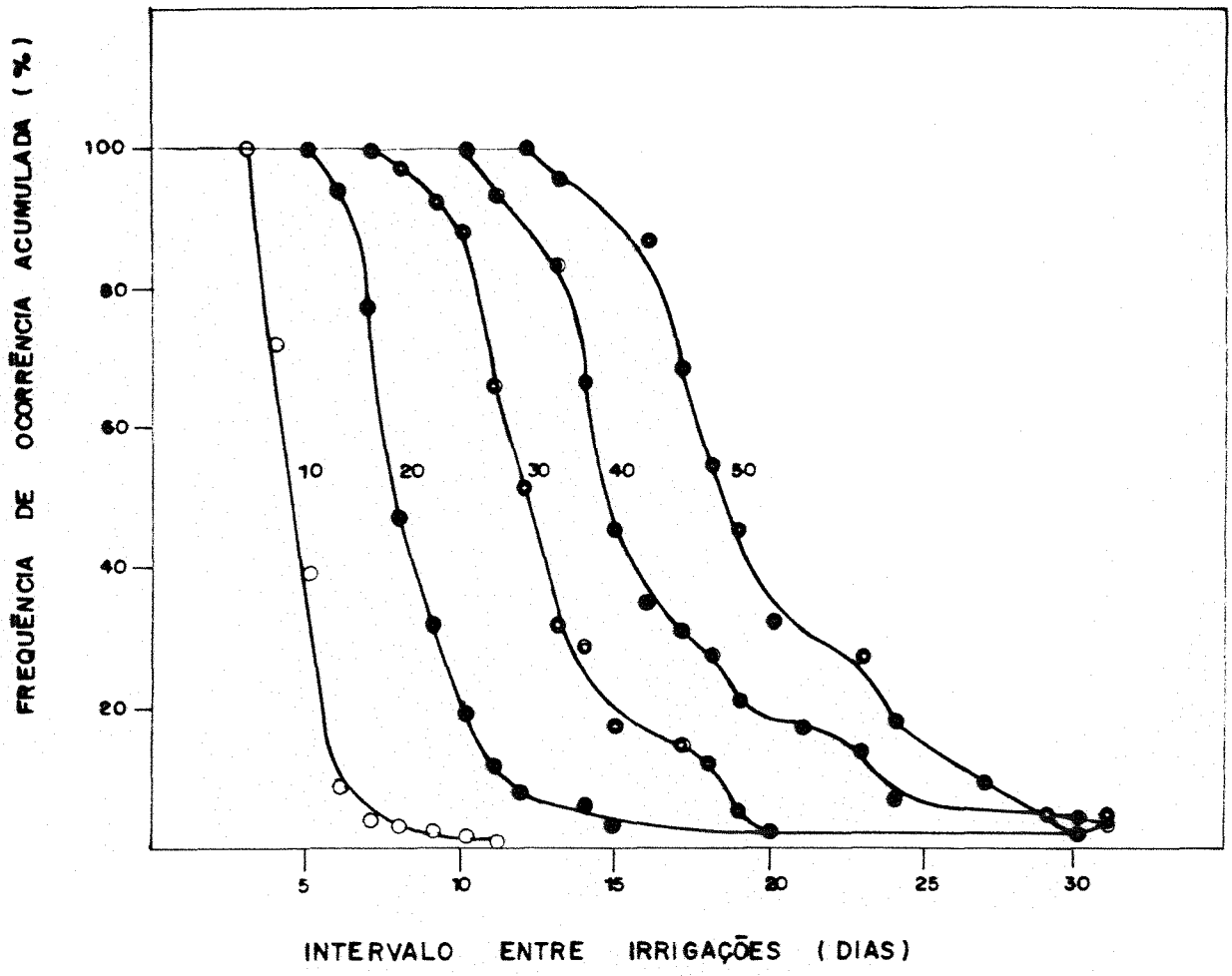

Figura 6 - Freqüência de ocorrência acumulada dos intervalos entre irrigações resultante de 20 anos de simulação de irrigações, para o mês de julho, em Ribeirão Preto, SP. As curvas 10, 20, 30, 40, e 50 representam os valores das lâminas de consumo admissível de água do solo em mm, e coeficiente de cultura igual a 1,0.

climáticos necessita ser considerado para análise das situações de maiores CAAS, e para as freqüências menores que 50%.

A relação obtida na Figuras de 3 a 6 indica que para cada lâmina e turno de rega existe uma porcentagem de ocorrência. Essa freqüência, em termos de projeto, corresponde à porcentagem de atendimento das irrigações em função do intervalo entre irrigações, da lâmina, kc e época do ano. Por exemplo, para o mês de julho, um projeto para irrigar uma cultura com kc=1,0 e com CAAS de 20 mm necessita de 7 dias de intervalos entre irrigações para atender a 80% das necessidades de irrigação no momento adequado para Ribeirão Preto.

O valor máximo de freqüência empírica acumulada de 100% nas Figuras de 3 a 6, representa a situação na qual a totalidade das necessidades hídricas das culturas são atendidas no momento adequado.

Através da comparação dos resultados de intervalos entre irrigações referentes às lâminas de 10, 20, 30, 40 e 50 mm de fevereiro e julho da Tabela 4, com os resultados das Figuras 4 e 6 ao nível de 75 a 80% de probabilidade de ocorrência, observou-se que a utilização das simulações das irrigações, proporcionou intervalos entre irrigações próximos aos obtidos através da média evaporimétrica mensal.

A consideração das precipitações naturais em projetos de irrigação mostrou-se vantajosa, podendo contribuir diretamente no dimensionamento dos sistemas. Há economia nos custos do sistema e na aplicação de água. Ainda convém salientar, que os resultados das simulações das irrigações foram comparados aos obtidos através das médias mensais de evapotranspiração, valores estes que subestimam as necessidades de água para irrigação (ARRUDA & BARROSO, 1984 e SAAD & SCALOPPI, 1988). Portanto, esses resultados são de grande utilidade aos projetistas e interessados, pois o valor do turno de rega é calculado em função de simulações de situações próximas às reais.

Na decisão do nível de probabilidade a ser utilizado, vários aspectos devem ser levados em consideração: o tipo de cultura, o órgão da planta a ser comercializado, e a fase de desenvolvimento da cultura ser mais ou menos prejudicada com relação ao défice hídrico, entre os mais importantes (ARRUDA, 1987). Desta forma, a escolha do nível de probabilidade desejado deve ficar principalmente a cargo da experiência do projetista ou usuário, e com base nas recomendações da literatura. Segundo critério da FAO (DOORENBOS & PRUITT, 1984), o nível de probabilidade de 75 % representa um valor provável que se espera ocorrer em três a cada quatro anos. Esse nível pode ser admitido

como parâmetro geral para o desenvolvimento das irrigações sob a maioria das condições. Vários autores utilizam ou recomendam esse nível probabilístico para fins de irrigação, DOORENBOS & PRUITT (1984) e BERNARDO & HILL (1978), ARRUDA & BARROSO (1984) e SAAD & SCALOPPI (1988).

Para um melhor entendimento da utilização prática das Figuras 3 a 6, apresenta-se um exemplo prático. Supor inicialmente uma cultura com kc = 1,0; e lâmina de irrigação projetada de 40 mm (CAAS), local Ribeirão Preto e mês de julho. Para estimativa do turno de rega deseja-se o nível de probabilidade em torno de 80% (ou seja, atender a 80% das necessidades de irrigação no momento adequado). Pelo gráfico da Figura 6, entrando-se a porcentagem de ocorrência de 80%, e selecionando-se a curva referente a lâmina de 40 mm, encontra-se o intervalo entre irrigações de 13 dias.

Esse intervalo de 13 dias obtido através das simulações das irrigações, é menor do que o de 14,8 dias obtido na Tabela 4, a partir da evapotranspiração média mensal. Portanto, através das simulações das irrigações, a um nível de 80% de probabilidade, obteve-se intervalo entre irrigações menor.

De forma similar ao observado para o número de irrigações (Tabelas 2 e 3), a freqüência de ocorrência e o intervalo entre irrigações também mostraram a existência de interdependência entre os resultados, kc e a lâmina CAAS. Se considerados os casos com maior número de observações e principalmente valores maiores que 50% de ocorrência, é possível expressiva simplificação na apresentação dos resultados.

Comparando a Figura 3 com a 4, e a 5 com a 6, observa-se que as curvas de um mesmo valor de CAAS estão deslocadas lateralmente proporcionais ao valor de kc. Por exemplo, a curva CAAS = 5mm, com kc = 0,5 equivale a CAAS = 10mm, com kc = 1,0 , no mesmo mês, e assim sucessivamente. Portanto os resultados podem ser simplificados como apresentados nas Figuras 7 e 8, para fevereiro e julho respectivamente. Os valores indicados para cada curva (10, 20, 30, 40 e 50 mm) representam o valor do armazenamento de água no solo dividido pelo coeficiente de cultura, isto é, CAAS/kc. Desta forma a utilização dos resultados ganham mais amplitude de aplicações para aqueles meses, em Ribeirão Preto.

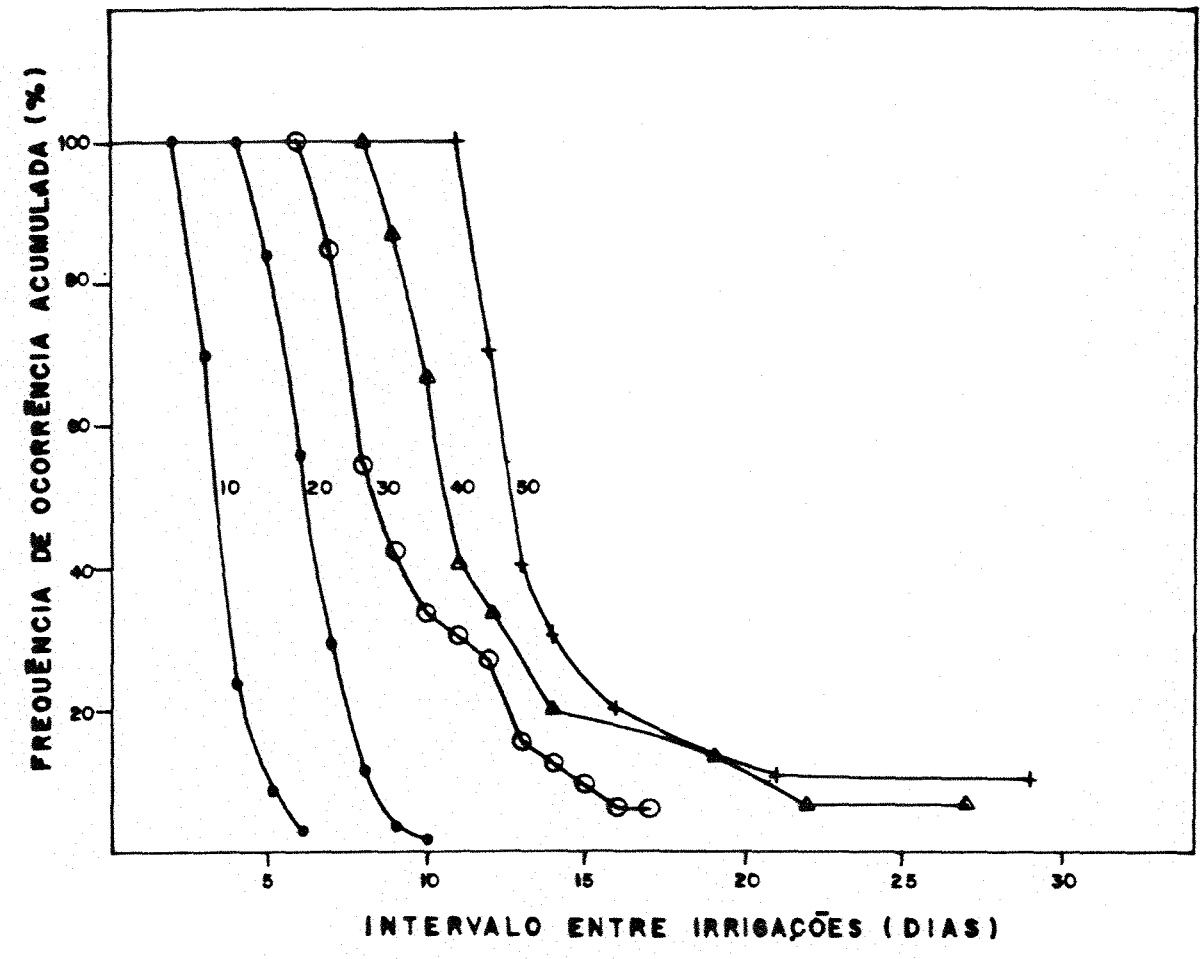

Figura 7 - Freqüência de ocorrência acumulada dos intervalos entre irrigações resultante de 21 anos de simulação de irrigações, para o mês de fevereiro, em Ribeirão Preto, SP. As curvas 10, 20, 30, 40 e 50 representam os valores das lâminas de consumo admissível de água no solo em mm, dividido pelo coeficiente de cultura (CAAS/kc).

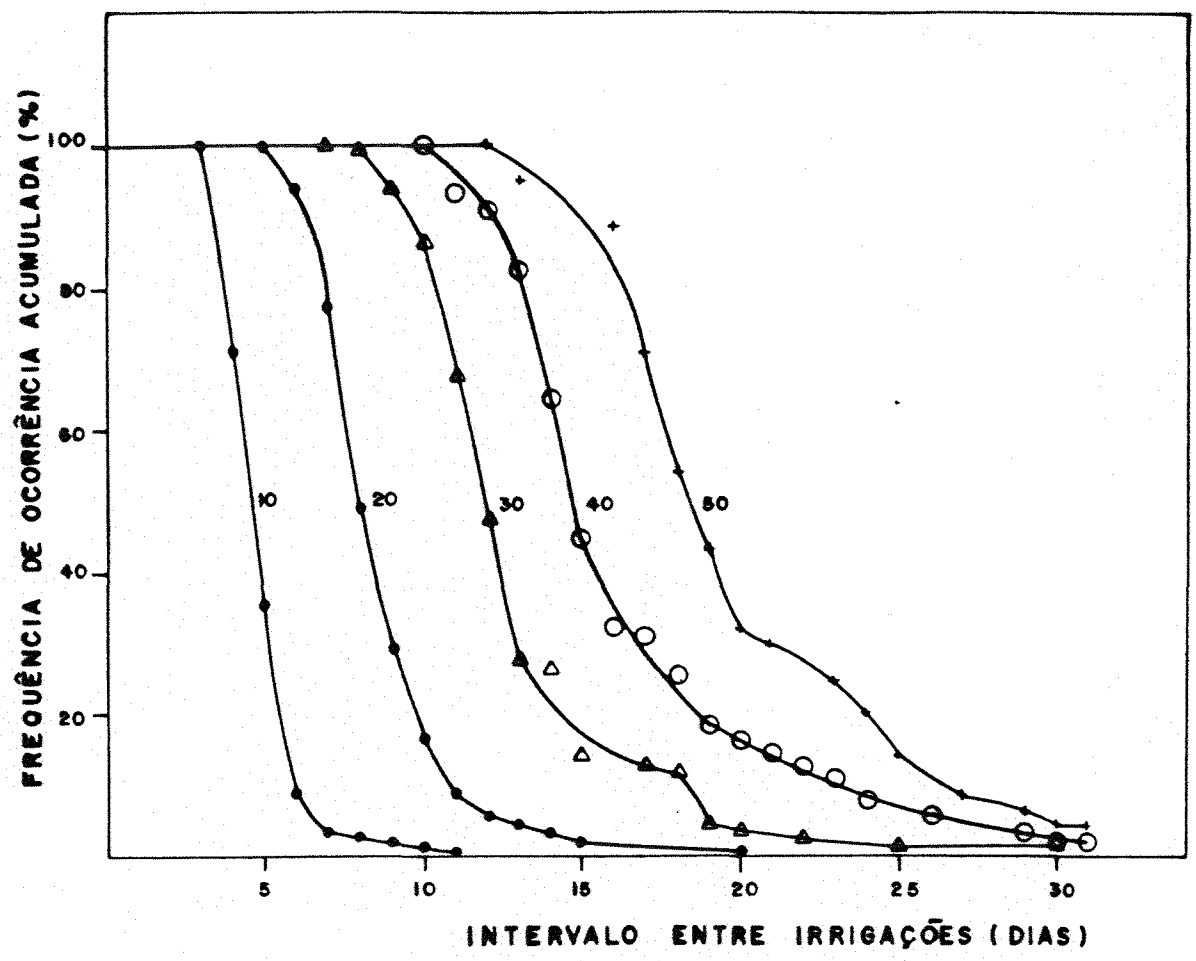

Figura 8 - Freqüência de ocorrência acumulada dos intervalos entre irrigações resultante de 20 anos de simulação de irrigações, para o mês de julho, em Ribeirão Preto, SP. As curvas 10, 20, 30, 40 e 50 representam os valores das lâminas de consumo admissível de água do solo em mm, dividido pelo coeficiente de cultura (CAAS/kc).

4.4. Lâmina de irrigação

4.4.1. Lâmina projetada e lâmina aplicada

Ao longo dos trabalhos de simulação encontrou-se dificuldade em se determinar o momento de irrigação pelo balanço hídrico. O fato dos fatores meteorológicos (evaporação e precipitação) serem praticamente imprevisíveis impossibilitou a realização das irrigações exatamente quando a evapotranspiração acumulasse um valor igual a lâmina de consumo admissível de água do solo (CAAS) selecionada. Adotou-se então, que as irrigações seriam realizadas somente quando fosse evapotranspirada uma lâmina correspondente, pelo menos, ao valor admitido de CAAS, nunca antes. Consequentemente, as lâminas realmente necessárias no momento da irrigação são sempre maiores ou iguais a projetada (CAAS).

A Tabela 7 apresenta as lâminas médias necessárias de irrigação (h_{1n}) para as diferentes combinações entre lâmina de irrigação e kc, obtidas através das

simulações das irrigações para fevereiro e julho. A lâmina h_{ln} é aquela necessária, no momento da irrigação, para se repor a umidade do solo à capacidade de campo.

Tabela 7 - Lâminas médias necessárias (h_{ln}) no momento de irrigar e os respectivos coeficientes de variação (CV %) obtidos através da simulação das irrigações, no período de 1969 a 1990, em fevereiro e julho, para dois valores de coeficientes de cultura (kc) e cinco lâminas de consumo admissível de água do solo (CAAS), em Ribeirão Preto.

kc	Lâmina de CAAS (mm)	Lâmina média necessária (mm) Fevereiro		Julho	
		h_{ln}	CV(%)	h_{ln}	CV(%)
0,5	5	6,1	12	5,7	10
	10	11,2	7	10,7	5
	15	16,1	4	16,0	3
	20	20,7	2	21,0	3
	25	26,5	2	26,0	2
1,0	10	12,2	12	11,6	10
	20	22,2	7	21,5	5
	30	32,2	6	31,8	3
	40	42,2	3	41,6	3
	50	51,9	3	51,9	2

Conforme a Tabela 7, observou-se que as lâminas médias necessárias são realmente sempre maiores que o CAAS. Nota-se que quanto menor o CAAS, maior é a lâmina adicional necessária ao valor de CAAS inicialmente projetada como lâmina de irrigação. Esse fato é devido a estreita relação entre a magnitude do erro em se realizar a irrigação quando esgotado CAAS, duração do intervalo e o valor da evapotranspiração diária, um elemento incerto no

manejo da irrigação (DOORENBOS & PRUITT, 1984 e ARRUDA & BARROSO, 1984). Em geral, os valores de fevereiro eram um pouco maiores que os de julho, isto provavelmente é devido aos maiores valores diários de evapotranspiração naquele mês (CAMARGO, 1962).

As diferenças observadas tem grande importância, pois costuma-se admitir como lâmina líquida de irrigação (h_l) o valor de CAAS. Os resultados de simulação de realização de irrigações (Tabela 7) indicam, a rigor, que a lâmina líquida realmente necessária difere da lâmina de consumo admissível de água do solo (CAAS).

4.4.2. Lâmina adicional à projetada

Apesar das diferenças entre a lâmina de consumo admissível de água do solo (CAAS) e aquela necessária no momento de irrigar (h_{ln}), em geral, não serem muito elevadas (Tabela 7), há necessidade de se conhecer melhor essa relação.

Visando atender às necessidades reais de projeto, calculou-se a porcentagem adicional da lâmina de

irrigação ($\%h_a$) em relação ao valor de CAAS. Portanto, no momento da rega, a lâmina necessária de água para elevar a umidade do solo à capacidade de campo é:

$$h_{1n} = CAAS \cdot \left(1 + \frac{\%h_a'}{100}\right) \qquad (5)$$

Pode-se dizer que $\%h_a$ é um fator adicional relacionado a incertezas no controle das irrigações e não está relacionado à eficiência de irrigação.

Os valores porcentuais adicionais das lâminas de irrigação ($\%h_a$) foram computados para as médias das lâminas adicionais e os resultados são apresentados na Tabela 8.

Conforme os resultados apresentados na Tabela 8, notou-se que a porcentagem de acréscimo às lâminas de consumo admissível de água do solo (CAAS) devido às incerterzas no controle de irrigação, em média são sempre maiores que zero. Nota-se ainda que para algumas situações, como observado para fevereiro, esses valores chegam, em média, a 22%.

Supondo uma recomendação normal de irrigação, da ordem de 15 a 20mm, pode-se esperar valores médios adicionais à lâmina inicialmente projetada (CAAS ou h_1) variando de 3,5 a 11% (Tabela 8).

Tabela 8 - Lâmina adicional média de irrigação (%) em relação ao consumo admissível de água do solo (CAAS), para fevereiro e julho, em Ribeirão Preto. Resultados de 21 anos de simulação de irrigações com diferentes valores de coeficientes de cultura (kc) e CAAS.

kc	CAAS (mm)	Lâmina adicional ($\%h_a$) Fevereiro (%)	Julho (%)
0,5	5	22,0	14,0
	10	12,0	7,0
	15	7,3	6,7
	20	3,5	4,0
	25	6,0	4,0
1,0	10	22,0	16,0
	20	11,0	7,5
	30	7,3	6,0
	40	5,5	4,0
	50	3,8	3,8

Os resultados apresentados na Tabela 8, representam valores médios, portanto, não são suficientes para uso em sistemas de irrigação projetados com base probabilística. Se os valores encontrados tiverem distribuição normal, esses serviriam para uso ao nível de 50% de probabilidade.

O número de casos e as freqüências de ocorrência em cada classe de lâmina adicional de irrigação nas diferentes combinações de CAAS e coeficiente de cultura, obtidas simulando-se as irrigações em fevereiro e julho, para Ribeirão Preto, são apresentadas nas Tabelas 9 e 10, respectivamente.

Tabela 9 - Número de casos, freqüência de ocorrência e freqüência de ocorrência acumulada em função das classes de irrigação para as diferentes combinações de lâminas de consumo admissível de água do solo (CAAS) e coeficientes de cultura (kc), obtidas através das simulações das irrigações para fevereiro, em Ribeirão Preto.

kc	CAAS (mm)	Classes de h_{ln} (mm)	Número de casos	Freqüência de ocorrência (%)	Freqüência de ocorrência acumulada (%)
0,5	5	5,0	1	1,3	1,3
		5,1-6,0	39	51,3	52,6
		6,1-7,0	27	35,6	88,2
		7,1-8,0	8	10,5	98,7
		8,1-9,0	1	1,3	100,0
0,5	10	10,0	1	3,6	3,6
		10,1-11,0	12	42,8	46,4
		11,1-12,0	12	42,8	89,3
		12,1-13,0	2	7,2	96,4
		13,1-14,0	1	3,6	100,0
0,5	15	15,0	0	0	0,0
		15,1-16,0	6	50,0	50,0
		16,1-17,0	5	41,7	91,7
		17,1-18,0	1	8,3	100,0
0,5	20	20,0	1	25,0	25,0
		20,1-21,0	2	50,0	75,0
		21,1-22,0	1	25,0	100,0
0,5	25	25,0	0	0	0,0
		25,1-26,0	1	25,0	25,0
		26,1-27,0	2	50,0	75,0
		27,1-28,0	1	25,0	100,0
1,0	10	10,0	1	1,2	1,2
		10,1-11,0	22	25,8	27,1
		11,1-12,0	24	28,2	55,3
		12,1-13,0	14	16,5	71,8
		13,1-14,0	14	16,5	88,2
		14,1-15,0	5	5,9	94,1
		15,1-16,0	4	4,7	98,8
		16,1-17,0	1	1,2	100,0

Tabela 9 - Número de casos, freqüência de ocorrência e freqüência de ocorrência acumulada em função das classes de irrigação para as diferentes combinações de lâminas de consumo admissível de água do solo (CAAS) e coeficientes de cultura (kc), obtidas através das simulações das irrigações para fevereiro, em Ribeirão Preto. (Cont.)

1,0	20	20,0	0	0	0,0
		20,1-21,0	7	21,2	21,2
		21,1-22,0	11	33,4	54,6
		22,1-23,0	7	21,2	75,8
		23,1-24,0	3	9,1	84,9
		24,1-25,0	4	12,1	97,0
		25,1-26,0	0	0	97,0
		26,1-27,0	1	3,0	100,0
1,0	30	30,0	2	9,5	9,5
		30,1-31,0	4	19,0	28,6
		31,1-32,0	7	33,3	61,9
		32,1-33,0	1	4,8	66,7
		33,1-34,0	4	19,0	85,7
		34,1-35,0	1	4,8	90,5
		35,1-36,0	1	4,8	95,2
		36,1-37,0	1	4,8	100,0
1,0	40	40,0	0	0	0,0
		40,1-41,0	2	18,2	18,2
		41,1-42,0	3	27,2	45,5
		42,1-43,0	4	36,4	81,8
		43,1-44,0	0	0	81,8
		44,1-45,0	2	18,2	100,0
1,0	50	50,0	0	0	0,0
		50,1-51,0	4	66,7	66,7
		51,1-52,0	0	0	66,7
		52,1-53,0	0	0	66,7
		53,1-54,0	2	33,3	100,0

Tabela 10 - Número de casos, freqüência de ocorrência e freqüência de ocorrência acumulada em função das classes de irrigação para as diferentes combinações de lâminas de lâminas de consumo admissível de água do solo (CAAS) e coeficientes de cultura (kc), obtidas através das simulações das irrigações para julho, em Ribeirão Preto.

kc	CAAS (mm)	Classes de h_{ln} (mm)	Número de casos	Freqüência de ocorrência (%)	Freqüência de ocorrência acumulada (%)
0,5	5	5,0	5	3,9	3,9
		5,1-6,0	88	68,8	72,7
		6,1-7,0	31	24,2	96,9
		7,1-8,0	4	3,1	100,0
0,5	10	10,0	3	4,6	4,7
		10,1-11,0	46	71,9	76,6
		11,1-12,0	14	21,9	98,4
		12,1-13,0	1	1,6	100,0
0,5	15	15,0	0	0	0,0
		15,1-16,0	22	56,4	56,4
		16,1-17,0	15	38,5	94,9
		17,1-18,0	2	5,1	100,0
0,5	20	20,0	3	11,1	11,1
		20,1-21,0	15	55,6	66,7
		21,1-22,0	8	29,6	96,3
		22,1-23,0	1	3,7	100,0
0,5	25	25,0	0	0	0,0
		25,1-26,0	9	40,9	40,9
		26,1-27,0	13	59,1	100,0
1,0	10	10,0	5	3,9	3,9
		10,1-11,0	45	35,2	39,1
		11,1-12,0	36	28,1	67,2
		12,1-13,0	29	22,7	89,8
		13,1-14,0	9	7,0	96,9
		14,1-15,0	4	3,1	100,0
1,0	20	20,0	0	0	0,0
		20,1-21,0	28	42,5	42,4
		21,1-22,0	15	22,7	65,2
		22,1-23,0	15	22,7	87,9
		23,1-24,0	7	10,6	98,5
		24,1-25,0	1	1,5	100,0

Tabela 10 - Número de casos, freqüência de ocorrência e freqüência de ocorrência acumulada em função das classes de irrigação para as diferentes combinações de lâminas de lâminas de consumo admissível de água do solo (CAAS) e coeficientes de cultura (kc), obtidas através das simulações das irrigações para julho, em Ribeirão Preto. (Cont.)

1,0	30	30,0	1	2,4	2,4
		30,1-31,0	10	24,4	26,8
		31,1-32,0	13	31,7	58,5
		32,1-33,0	12	29,3	87,8
		33,1-34,0	4	9,8	97,6
		34,1-35,0	1	2,4	100,0
1,0	40	40,0	2	6,9	6,9
		40,1-41,0	11	37,9	44,8
		41,1-42,0	7	24,1	69,0
		42,1-43,0	3	10,4	79,3
		43,1-44,0	5	17,2	96,6
		44,1-45,0	1	3,5	100,0
1,0	50	50,0	1	4,5	4,5
		50,1-51,0	6	27,3	31,8
		51,1-52,0	4	18,2	50,0
		52,1-53,0	8	36,4	86,4
		53,1-54,0	3	13,6	100,0

De acordo com a Tabela 9, para fevereiro, as lâminas médias necessárias de irrigação (Tabela 7) se enquadram dentro de uma faixa razoável de probabilidade de ocorrência (freqüência acumulada), variando de 66,7% a 91%, havendo apenas 2 situações que ocorreram abaixo de 70% (Tabela 9).

No mês de julho, as lâminas médias necessárias de irrigação (Tabela 7), corresponderam a valores de probabilidade de ocorrência (freqüência acumulada) mais

baixos (Tabela 10) quando comparados aos ocorridos para o mês de fevereiro. Esses valores variaram desde 40,9% até 76,6% (Tabela 10).

Similar aos resultados obtidos com número e intervalos entre irrigações, verifica-se através das Tabelas 8 a 10, em ambos os meses, que os valores obtidos de $\%h_a$ para kc = 0,5 , são proporcionais aos valores com kc = 1,0 . Considerando-se então os valores de $\%h_a$ para a relação CAAS/kc, observou-se que eles se equivalem. Fato este que facilita a apresentação e amplia a utilização dos resultados.

Para possibilitar uma utilização mais ampla dos resultados apresentados nas Tabelas 9 e 10, esses valores foram rearranjados nas Figuras 9 e 10 para fevereiro e julho, respectivamente.

A importância da lâmina adicional de irrigação é maior, quanto menor for o valor CAAS, kc, e maior a evapotranspiração e o nível de probabilidade de atendimento adotado.

Um exemplo de utilização da Figura 9, pode ser o caso de um projeto que admite um consumo de água do solo da ordem de 10 mm e kc = 1,0 para o mês de fevereiro.

Optando-se por 80% de probabilidade de atendimento às necessidades de irrigação obtém-se através da curva CAAS/kc = 10 mm, o valor de $\%h_a$ = 25%. Isto é, um adicional de 25% à lâmina inicialmente projetada de CAAS. Desta forma, o equipamento devera ser projetado para aplicar uma lâmina líquida de irrigação de 12,5 mm. Ainda utilizando o mesmo exemplo o intervalo entre irrigações é obtido na Figura 7. Para 80% de probabilidade de atendimento e na curva CAAS/kc = 10mm, o turno de rega obtido é de 3 dias.

De acordo com as Figuras 9 e 10, verifica-se que para valores maiores de CAAS/kc a porcentagem adicional de irrigação ($\%h_a$) tem valores pouco significativos. Entretanto, para valores menores de CAAS/kc, a $\%h_a$ tem valores expressivos e que não podem ser desconsiderados no dimensionamento de sistemas de irrigação. Caso contrário, o projeto pode incorrer em risco significativo de não atender as necessidades hídricas das culturas, no momento adequado.

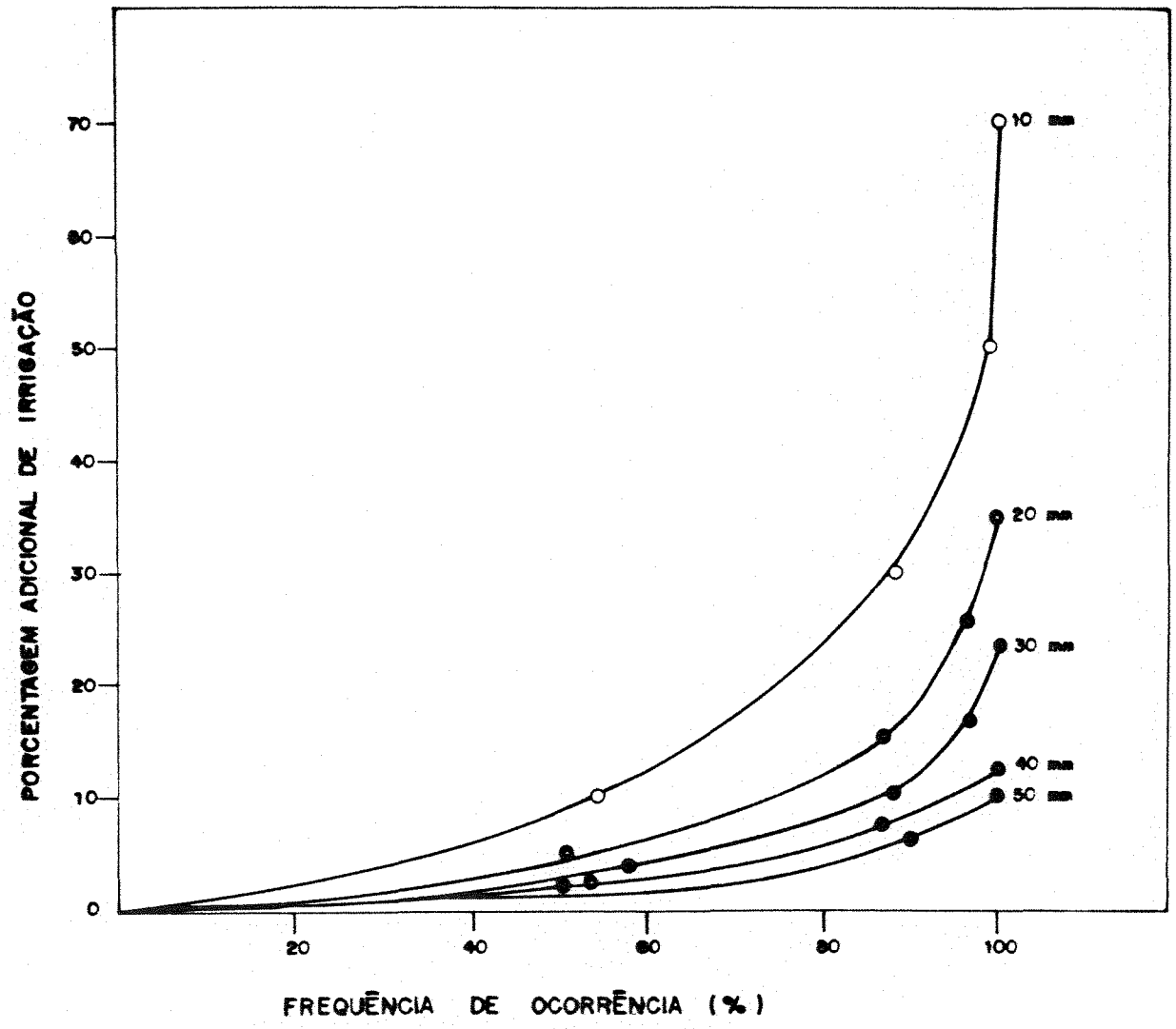

Figura 9 - Porcentagem adicional da lâmina de irrigação (%h_a) em função da probabilidade de atendimento às necessidades de irrigação, para cinco valores de CAAS/kc, no mês de fevereiro, em Ribeirão Preto, SP.

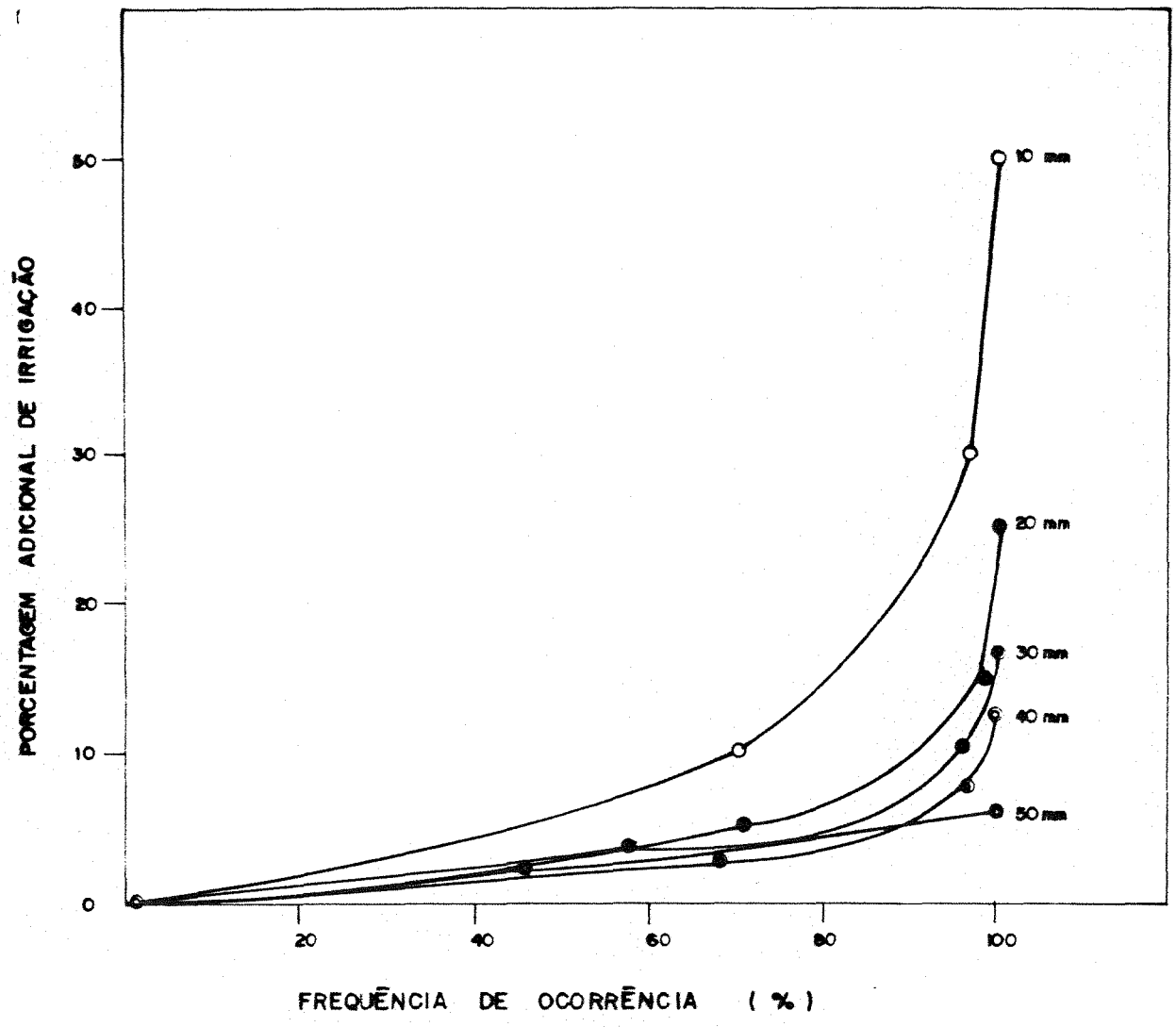

Figura 10- Porcentagem adicional da lâmina de irrigação (%h_a) em função da probabilidade de atendimento às necessidades de irrigação, para cinco valores de CAAS/kc, no mês de julho, em Ribeirão Preto, SP.

5. CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos e para as condições estipuladas chegou-se as conclusões apresentadas a seguir.

Foi possível introduzir modificações na metodologia de cálculo do intervalo e lâmina de irrigação, mais adequadas à irrigação suplementar para regiões tropicais e subtropicais.

É importante procurar aumentar o valor de consumo admissível de água do solo (CAAS) quando este é pequeno, pois, resulta em diminuição do número de irrigações por ano. Já, para as lâminas de CAAS mais elevadas, essa variação não traz resultados expressivos.

O coeficiente de cultura (kc) representa significativa influência no número de irrigações por ano para uma dada cultura e mês.

Devido a dificuldade encontrada em se realizar as irrigações no momento exato em que é atingido o valor previamente estipulado da lâmina de consumo admissível de água do solo (CAAS), adotou-se como melhor critério de controle das irrigações, que elas fossem realizadas quando consumido totalmente o valor de CAAS, nunca antes.

A adoção de CAAS como lâmina líquida de irrigação (h_l) não se mostrou bem adequada para projeto e manejo de irrigação, como é comumente realizada. Devido ao critério de irrigação adotado, foi necessária uma lâmina adicional (h_a) ao valor de CAAS, para racionalizar as irrigações.

A importância da lâmina adicional de irrigação é maior quanto menor forem os valores de CAAS, kc, e maior a evapotranspiração de referência (ETo) e o nível de probabilidade adotado.

Para facilidade de apresentação e ampla utilização dos resultados, o número, intervalo e lâmina adicional de irrigação podem ser apresentados para cada mês em função da relação CAAS/kc.

Os resultados positivos com a metodologia desenvolvida no presente trabalho, incentiva o seu aperfeiçoamento através de ajustes de funções matemáticas e estatísticas nos dados obtidos.

A metodologia proposta no presente trabalho para o cálculo do número, intervalo e lâmina de irrigação como função probabilística melhora a qualidade dos projetos e recomendações de irrigação. Para a sua plena adoção, há necessidade de se completar as simulações para os meses ainda não estudados em Ribeirão Preto, assim como sua aplicação a outros locais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDABAGH, A.S.; RASHEED, H.; RAMAMOORTHY, M.V. Dry day analysis for planning supplemental irrigation schemes. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 25(1): 150-9, 1982.

ALFONSI, R.R.; CAMARGO, M.B.P. de; CHIAVEGATTO, O.M.D.P.; PEDRO JUNIOR, M.J.; ORTOLANI, A.A.; BRUNINI, O. Níveis de probabilidades de seca, como subsídio à irrigação para o Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6., Maceió, 1989. Anais. Maceió, INPE/SBA/UFAL, 1989a. p.39-42.

ALFONSI, R.R.; CAMARGO, M.B.P. de; CHIAVEGATTO, O.M.D.P.; PEDRO JUNIOR, M.J.; ORTOLANI, A.A.; BRUNINI, O. Simulação de épocas de plantio baseadas no atendimento da demanda hídrica para culturas da soja, milho e arroz de

sequeiro no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6., Maceió, 1989. **Anais.** Maceió, INPE/SBA/UFAL, 1989b. p.34-8.

ALTHOFF, D.A. **Balanço hídrico seriado de Santa Catarina.** 2.ed. Florianópolis, EMPASC, 1983. 62p. (EMPASC. Boletim Técnico, 7)

ARAÚJO, L.C. **Memória sobre o clima no Rio Grande do Sul.** Rio de Janeiro, Min. Agricultura Ind. Com./ Diretoria de Meteorologia, 1930. 100p.

ARRUDA, F.B. Uso da água na produção agrícola. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, Campinas, 1987. **Anais.** Campinas, Fundação Cargill, 1987. p.177-99.

ARRUDA, F.B. & BARROSO, L.F.S. Estimativa do uso de água para fins de projetos de irrigação, em função da evaporação de tanque, em Ribeirão Preto. **Bragantia,** Campinas, **43**(2): 677-82, 1984.

BARRETO, G.B. **Irrigação;** princípios, métodos e prática. 3.ed. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1974. 185p.

BAVEL, C.H.M. van. A drought criterion and its application in evaluating drought incidence and hazard. **Agronomy journal**, Madison, 45(4):167-172, 1953.

BELTRAME, L.F.S.; TAYLOR, J.C.; CAUDURO, F.A. **Probabilidade de ocorrência de deficits e excessos hídricos em solos do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul / Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 1979. 79p.

BENAMI, A. & OFEN, A. **Irrigation engineering**; sprinkler, trickle, surface irrigation, principles, desing and agricultural pratices. Israel, Irrigation Engineering Scientific Publ., 1984. 257p.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação.** Viçosa, Imprensa Universitária U.F.V., 1982. 463p.

BERNARDO, S. & HILL, R.W. Um modelo para determinação de irrigação suplementar. **Revista Ceres**, Viçosa, 25(140): 345-62, 1978.

BRAGA, H.J. Caracterização da seca agronômica através de novo modelo de balanço hídrico, na região de Laguna, litoral sul do Estado de Santa Catarina. Piracicaba, 1982. 157p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).

BRAUNWORTH Jr.,W. S. & MACK, H.J. Evapotranspiration and yield comparisons among soil - water - balance and climate - based equations for irrigation scheduling of sweet corn. **Agronomy Journal**, Madison, 79(5): 837-41, 1987.

CAMARGO, A.P. de. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. Piracicaba, 1961. 49p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).

CAMARGO, A.P. Contribuição para a determinação da evapotranspiração no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, **21**(1):163-213, 1962.

CAMARGO, A.P. de. **Contribuição para determinação de evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo.** Campinas, Instituto Agronômico, 1966. 60p. (IAC. Boletim Técnico, 161)

CAMARGO, A.P. de. **Balanço hídrico no Estado de São Paulo.** 4.ed. Campinas, Instituto Agronômico, 1978. 28p. (IAC. Boletim Técnico, 116)

CAMARGO, A.P. de & PEREIRA, A.R. **Prescrição de rega por modelo climatológico.** Campinas, Fundação Cargill, 1990. 27p.

CAMARGO, M.B.P. de; ARRUDA, H.V. de; PEDRO JUNIOR, M.J.; BRUNINI, O.; ALFONSI, R.R. **Probabilidades de atendimento da demanda hídrica da cultura de trigo pela precipitação pluvial no Estado de São Paulo.** Campinas, Instituto Agronômico, 1988. 26p. (IAC. Boletim Técnico, 120)

CARAMORI, P.H. & ARITA, C.A. **Evapotranspiração potencial no Estado do Paraná segundo o método de Penman.** Londrina, IAPAR, 1988. 44p. (IAPAR, Boletim Técnico 25)

CARAMORI, P.H. & FARIA, R.T. de. **Freqüência de períodos de 10 dias consecutivos com deficiência hídrica (veranicos) para Londrina e Ponta Grossa.** Londrina, IAPAR, 1987. 24p. (IAPAR. Boletim Técnico, 20)

CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D. de; FARIA, R.T. de. **Freqüência de ocorrência de períodos com deficiência hídrica (veranicos) no Estado do Paraná.** Londrina, IAPAR, 1991. 40p. (IAPAR. Boletim Técnico, 36)

CASTRO, L.L.F. de & SCARDUA, J.A. **Estimativa da necessidade potencial de irrigação para o Estado do Espírito Santo.** Vitória, EMCAPA, 1985. 87p. (EMCAPA. Documentos, 22)

CASTRO NETO, P. & SILVEIRA, J.V. Precipitação provável para Lavras, Região Sul de Minas Gerais, baseada na função de distribuição de probabilidade Gama; I. Períodos mensais. **Ciência e Prática**, Lavras, 5(2): 144-51, 1981.

CASTRO NETO, P. & SILVEIRA, J.V. Precipitação provável para Lavras-MG, basada na função de distribuição de probabilidade Gama; III. Períodos de 10 dias. **Ciência e Prática**, Lavras, 7(1): 58-65, 1983.

CASTRO NETO, P.; SEDIYAMA, G.C.; VILELA, E.A. Probabilidade de ocorrência de períodos secos em Lavras, Minas Gerais. **Ciência e Prática**, Lavras, 4(1): 46-55, 1980.

CRIPPS, I.E.L.; GEORGE, P.R.; OAKLEY, A.E. Scheduling irrigation of cabbages using pan evaporation. **Irrigation Science**, New York, 3: 185-95, 1982.

DAKER, A. **Irrigação e drenagem; a água na agricultura.** 7.ed. Rio de Janeiro, Livraria Freitas Bastos, 1988. v.3, 543p.

DENARDIN, J.E.; FREITAS, P.L. de; WUNSCHE, W.A.; WENDT, W. Características fundamentais da chuva no Brasil, Parte I. Rio Grande do Sul. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, 15(4): 419-21, 1980.

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

DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. Crop water requirements. Rome, FAO, 1984. 144p. (FAO.Irrigation and Drainage Paper, 24)

DOSS, B.D.; BENNETT, O.L.; ASHLEY, D.A. Moisture use by forage species as related to pan evaporation and net radiation. **Soil Science**, Baltimore, 98(5): 322-7, 1964.

ENGLISH, M. & NAKAMURA, B. Effects of deficit irrigation and irrigation frequency on wheat yields. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, **115**(2): 172-84, 1989.

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

ESPINOZA, W. Resposta de doze cultivares de milho ao déficit hídrico num latossolo vermelho-escuro (Typic haplustox) de cerrados do Distrito Federal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, **17**(6): 905-15, 1982a.

ESPINOZA, W. Resposta de doze cultivares de soja ao déficit hídrico num latossolo vermelho-escuro de cerrados do Distrito Federal; Parte II. Evapotranspiração e extração de água. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, **17**(5): 791-801, 1982b.

FONSECA, V.O. da & ALBUQUERQUE, J.A.S. de. Estimativa dos parâmetros da distribuição gama de probabilidades para totais de precipitação em uma região de Pelotas, RS. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, **13**(3): 47-58, 1978.

FRITSCHEN, L.J. & SHAW, R.H. Evapotranspiration for corn as related to pan evaporation. **Agronomy Journal**, Madison, **53**(3): 149-50, 1961.

FRIZZONE, J.A. Análise de cinco modelos para cálculo da distribuição e freqüência de precipitações na região de Viçosa, MG. Viçosa, 1979. 100p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).

FRIZZONE, J.A.; RETTORE, P.R.; PEREIRA, G.T. Estudo da distribuição e freqüência das precipitações quinzenais e mensais, na região de Pereira Barreto (SP), pela distribuição gama incompleta. **Ciência e Prática**, Lavras, **9**(1): 118-25, 1985a.

FRIZZONE, J.A.; ZANINI, J.R.; PEREIRA, G.T.; RETTORE, P.R. Efeito da freqüência e da lâmina de irrigação na produção de trigo (**Triticum aestivum** L.). **Ciência e Prática**, Lavras, 9(2): 198-207, 1985b.

FUCHS, M. & STANHILL, G. The use of class A evaporation pan data to estimate the irrigation water requirement of the cotton crop. **Israel Journal of agricultural Research**, Rehovot, **13**(2): 63-78, 1963.

FUCHS, M.; COHEN, Y.; MORESHET, S. Determining transpiration from meteorological data and crop characteristics for irrigation management. **Irrigation Science**, New York, **8**: 91-9, 1987.

GARCÍA, E.A.C. & CASTRO, L.H.R. Análise da freqüência de chuva no pantanal mato-grossense. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, **21**(9): 909-25, 1986.

GUR, A.; DASBERG, S.; SCHKOLNIK, I.; SAPIR, E.; PELED, M. The influence of method and frequency of irrigation on soil aeration and some biochemical responses of apple trees. **Irrigation Science**, New York, **1**: 125-34, 1979.

HARDEE, J.E. **Analysis of Colombian precipitation to estimate irrigation requirements.** Logan, Utah State University / Department of Agricultural and Irrigation Engineering, 1971. 67p.

HARGREAVES, G. H. **Precipitation dependability and potentials for agricultural production in Northeast Brasil.** Logan, Utah State University, 1974. 123p.

HEERMANN, D.F. Evapotranspiration research priorities for the next decade - Irrigation. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, 31(2): 497-502, 1988.

HELWEG, O.J. & SHARMA, P.N. An approach to economic analysis of water resource systems under high rainfall uncertainty. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, 20(11): 1301-7, 1985.

HOWELL, T.A.; ZISKA, L.H.; McCORMICK, R.L.; BURTCH, L.M.; FISCHER, B.B. Response of sugarbeets to irrigation frequency and cutoff on a clay loam soil. **Irrigation Science**, New York, 8: 1-11, 1987.

ISRAELSEN, O.W. & HANSEN, V.E. **Princípios y aplicaciones del riego.** 2.ed. Barcelona, Ed. Riverté, 1965. 396p.

JAMES, L.G.; ERPENBECK, J.M.; BASSETT, D.L. Estimating seasonal irrigation requirements for Washington. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 26(5): 1380-5, 1983.

JENSEN, M. E. Consumptive use of water and irrigation water requirements. New York, ASCE, 1973. 215p.

JENSEN, M.E. Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1983. 830p.

KHANJANI, M.J. & BUSCH, J.R. Optimal irrigation water use from probability and cost - benefit analyses. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 25(4): 961-5, 1982.

KLAR, A.E.; MORETTI FILHO, J.; SIMÃO, S. Uso do tanque "Classe A" para avaliação da evapotranspiração de uma cultura de cebola. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 32: 47-59, 1975.

KOZLOWSKI, T.T. **Water deficits and plant grouth:** Woody Plant Communities. New York, Academic Press, 1981. 582p. (Volume VI)

LEME, E.J.A.; SCARDUA, R.; ROSENFELD, V. Consumo de água da cana-de-açúcar irrigada por sulcos de infiltração. **Saccharum**, Piracicaba, **18**: 29-43, 1982.

MADSEN, H.B. & HOLST, K.A. Mapping of irrigation need based on computerized soil and climatic data. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, **17**: 391-407, 1990.

MAGALHÃES, A.A. de & MILLAR, A.A. Efeito do déficit de água no período reprodutivo sobre a produção do feijão. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, **13**(2): 55-60, 1978.

MAROUELLI, W.A.; SEDIYAMA, G.C.; BERNARDO, S.; LOUREIRO, B.T. Análise de modelos para manejo da irrigação suplementar. **Revista Ceres**, Viçosa, **31**(175): 157-72, 1984.

MEDINA, B.F. & LEITE, J.A. Probabilidades de chuva em Boa Vista, RR. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, 19(12): 1437-41, 1984.

MENEZES, D.M. de; ELLIS, J.; MUELLER, S.K. Ocorrência de estiagem e suas probabilidades na Baixada Fluminense. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, 8: 181-5, 1973.

MILLAR, A.A. & CHOUDHURY, E.N. A model to define operational irrigation frequency for maximum yield of crops. **Turrialba**, San Jose, 30(4): 391-8, 1980.

MORETTI FILHO, J. Caracterização da seca agronômica na zona canavieira do Estado de São Paulo como base para os estudos de irrigação. Piracicaba, 1965. 158p. (Cátedra - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

MOTA, F.S. Análise agroclimatológica das necessidades semanais de irrigação em Pelotas, Rio Grande do Sul. **Ciência e Cultura**, São Paulo, 28(12): 1475-82, 1976.

MOTA, F.S. da; GOEDERT, C.O.; LOPES, N.F.; GARCEZ, J.R.B.; GOMES, A.S. Balanço hídrico do Rio Grande do Sul. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, 5: 1-27, 1970.

NIXON, P.R.; LAWLESS, G.P.; RICHARDSON, G.V. Coastal California evapotranspiration frequencies. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, 98(IR-2): 185-91, 1972.

OLITTA, A.F.L. **Os métodos de irrigação.** São Paulo, Nobel, 1987. 267p.

OLIVEIRA, D. de. Evapotranspiração máxima e necessidade de água para irrigação de feijão (Phaseolus vulgaris, L.) determinadas por balanço hídrico para seis locais do Paraná. Piracicaba, 1990. 155p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz")/USP).

OLIVEIRA, S.L. de; MACÊDO, M.M.C.; PORTO, M.C.M. Efeito do déficit de água na produção de raízes de mandioca. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, 17(1): 121-4, 1982.

OMETTO, J.C. **Freqüência de irrigação em cana-de-açúcar.** Piracicaba, FEALQ, 1988. 77p.

PASQUILL, P. Eddy diffusion of water vapor and heat near the ground. **Proceedings of the Royal Society of London**, Londres, **198**: 116-40, 1949.

PAVANI, L.C. Evapotranspiração e produtividade em feijoeiro comum (**Phaseolus vulgaris** L. cv. Goiano Precoce) sob três níveis de potencial da água no solo. Piracicaba, 1985. 171p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

PERON, A.J. & CASTRO NETO, P. Probabilidade de ocorrência de veranicos na região de Lavras, Minas Gerais. **Ciência e Prática**, Lavras, **10**(3): 282-90, 1986.

PESSOA,N.S. **Balanço hídrico.** Campinas, CATI, 1985. 32p. (CATI. Boletim Técnico, 190)

PIRES, R.C.M.; ARRUDA, F.B.; BENATTI JUNIOR, R.; TOSELLO, 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.; OETTINGEN, S. von; MORGAN, D.L. Central California evapotranspiration frequencies. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, 98(IR-2): 177-84, 1972.

RAGGI, L.A.; BERNARDO, S.; GALVÃO, J.D. Efeito do turno de rega em três fases do ciclo do fejoeiro. **Selva**, Viçosa, 32 (76): 34-43, 1977.

REDDY, S.J. Irrigation scheduling using ICSWAB model. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, 18(10): 1121-6, 1983.

RESENDE, M.; HENDERSON, D.W.; FERERES, E. Freqüência de irrigação, desenvolvimento e produção do feijão kidney. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, 16(3): 363-70, 1981.

RUFINO, R.L. Balanço hídrico em cultura de cana-de-açúcar em função de três espaçamentos de plantio. Piracicaba, 1982. 48p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

SAAD, J.C.C. Estudo das distribuições de freqüência da evapotranspiração de referência e da precipitação pluvial para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação. Piracicaba, 1990. 124p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

SAAD, J.C.C. & SCALOPPI, E.J. Freqüência de distribuição de evapotranspiração de referência para dimensionamento de sistemas de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8., Florianópolis, 1988. **Anais.** Florianópolis, ABID, 1988. p.1037-52.

SALTER, P.J. & GOODE, J.E. **Crop responses to water at different stages of growth.** Bucks, Commonwealth Agricultural Bureaux, 1967. 246p.

SAMPAIO, E.L.S. Probabilidade de atendimento natural das necessidades hídricas dos citrus no Estado de São Paulo. Piracicaba, 1990. 147p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

SCALOPPI, E.J. Métodos climatológicos para avaliar a evapotranspiração. Piracicaba, 1972. 80p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

SCALOPPI, E.J. Efeitos da ocorrência de déficits hídricos em diferentes estádios fenológicos sobre a produção de tubérculos de batata (**Solanum tuberosum**). **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, **11**: 111-5, 1976.

SCHRODER, R. Distribuição e curso anual das precipitações no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, **15**(18): 193-249, 1956.

SEDIYAMA, G.C. Estudos de métodos para estimativa da evapotranspiração potencial em Viçosa. Viçosa, 1972. 43p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).

SEDIYAMA, G.C. **Necessidade de água para os cultivos**. Brasília, ABEAS, 1987. 144p. (Curso de Engenharia de Irrigação Módulo, 4)

SEDIYAMA, G.C.; PRUITT, W.O.; COSTA, J.M.; BERNARDO, S. Modelo para computação da irrigação suplementar e do número de dias trabalháveis com máquinas agrícolas na produção da soja (**Glycine max** (L.) Merrill). **Revista Ceres**, Viçosa, **26**(145): 238-50, 1979.

SETZER, J. **Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo.** São Paulo, Comissão Interestadual da Bacia do Paraná-Uruguai, 1966. 61p.

SILVA, C.L. Estimativa do uso consuntivo de água e da irrigação suplementar, para algumas culturas no vale do rio São Francisco. Viçosa, 1982. 46p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).

SILVA, J.F. da; MENDES, W.C.R. ; GOES, E.S. de. Estudo da evapotranspiração em bananeira, cultivar nanicão. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 3., Fortaleza, 1975. **Anais.** s.l., Minter/DNOCS/ABID, s.d. v.3, p.102-8.

SILVA, W.L.C.; OLIVEIRA, C.A.S.; MAROUELLI, W.A. Subsídios para dimensionamento de sistemas de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8., Florianópolis, 1988. **Anais.** Florianópolis, ABID, 1988. p.535-53.

SILVEIRA, P. M. da; STEINMETZ, S.; GUIMARÃES, C.M.; AIDAR, H.; CARVALHO, J.R.P. de. Lâminas de água e turnos de rega na cultura do feijoeiro de inverno. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, 19(2): 219-23, 1984.

SMAJSTRLA, A.G. & ZAZUETA, F.S. Simulation of irrigation requirements of Florida Agronomic Crops. **Soil and Crop Science of Flórida**, Sarasota, **47**: 78-82, 1988.

SOLAIMAN, A. & SALIH, A.M.A. Evapotranspiration estimates in extremely arid areas. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, **113**(4): 565-74, 1987.

SOOPRAMANIEN, G.C.; BERTHELOT, B.; BATCHELOR, C.H. Irrigation research, development and pratice in Mauritius. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, **17**: 129-39, 1990.

STOCKLE, C.O. & JAMES, L.G. Analysis of deficit irrigation strategies for corn using crop growth simulation. **Irrigation Science**, New York, **10**: 85-98, 1989.

TOLEDO FILHO, M.R. Probabilidade de suprimento da demanda hídrica ideal da cultura de cana-de-açúcar (**Saccharum spp.**) através da precipitação pluvial na zona canavieira do Estado de Alagoas. Piracicaba, 1988. 72p. (Mestrado - Escola Supeiror de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

TOVEY, R.; SPENCER, J. S.; MUCKEL, D. C. Turfgrass evapotranspiration. Agronomy Journal, Madison, 61(6): 863-7, 1969.

VIEIRA, D.B. Relação água, solo e planta. In: CURSO DE ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE IRRIGAÇÃO, Brasília, 1986. Brasília, Fundação CTH, 1986. v.1, p.1-87.

VILLA NOVA, N.A. A estimativa da evaporação potencial no Estado de São Paulo. Piracicaba, 1967. 65p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

VILLA NOVA, N.A. & OMETTO, J.C. Instruções para utilização do tanque classe A em estimativas da evapotranspiração potencial, real e freqüência de irrigação. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 3., 1975. Anais. s.l., MINTER/DNOCS-ABID, s.d. p.63-74.

VILLALOBOS, F.J. & FERERES, E. A simulation model for irrigation scheduling under variable rainfall. Transcactions of the ASAE, St. Joseph, 32(1): 181-8, 1989.

VILLELA, S.M. & MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo, McGraw-Hill, 1975. 245p.

WESSELING, J.G. & BROEK, B.J. van den. Prediction of irrigation scheduling with the numerical model SWATRE. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, **14**: 299-306, 1988.

WHITFIELD, D.M.; WRIGHT, G.C.; GYLES, O.A.; TAYLOR, A.J. Growth of Lucerne (**Medicago sativa**, L.) in response to frequency of irrigation and gypsum aplication on a heavy clay soil. **Irrigation Science**, New York, **7**: 37-52, 1986.

WITHERS, B. & VIPOND, S. **Irrigação**; projeto e prática. Trad. de F.C. Verdade e G.B. Barreto. São Paulo, EPU; EDUSP, 1977. 339p.

WOLF, J.M. Probabilidades de ocorrência de períodos secos na estação chuvosa para Brasília, D.F. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, **12**: 141-50, 1977.

WRIGHT, J.L. Daily and seasonal evapotranspiration and yield of irrigated alfafa in Southern Idaho. **Agronomy Journal**, Madison, **80**(4): 662-9, 1988.

WRIGHT, J.L. & JENSEN, M.E. Peak water requirements of crops in southern Idaho. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, 98(IR-2): 193-201, 1972.

WRIGHT, J.L. & JENSEN, M.E. Development and evaluation of evapotranspiration models for irrigation scheduling. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, 21(1): 88-91, 96, 1978.

ZAZUETA, F.S.; SMAJSTRLA, A.G.; CLARK, G.A. Normalized irrigation intervals for Flórida. **Soil and Crop Science Society of Flórida**, Sarasota, 48: 96-9, 1989.