

ANÁLISE DE MODELOS PARA MANEJO DA IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR ^{1/}

Waldir A. Maroelli ^{2/}
Gilberto C. Sedyama ^{2/}
Salassier Bernardo ^{2/}
Blamor T. Loureiro ^{2/}

1. INTRODUÇÃO

Nas regiões úmidas e semi-úmidas, geralmente, a quantidade de precipitação pluvial é suficiente para que se tenham bons rendimentos na produção da cultura em determinado ano agrícola, ao passo que, em outros anos, o rendimento pode ser drasticamente reduzido. Essa quebra na produção está relacionada com freqüentes períodos de escassez de chuva durante os estádios mais críticos da cultura, o que pode ser evitado por meio de irrigações oportunas.

O manejo de irrigação consiste em tomar decisões de irrigar ou não, diariamente, uma determinada área de cultura. Essas decisões, até agora, têm sido tomadas, principalmente, em função do teor de água no solo. Contudo, para que um critério alcance resultados econômicos, devem-se, além da umidade do solo, analisar as características da distribuição da precipitação, para que se possa, assim, ter maior aproveitamento das precipitações futuras.

A irrigação suplementar, além de proporcionar uma produtividade aproximadamente igual aos cultivos em regime de irrigação total, tem a vantagem de utilizar equipamentos com menor potência e ser econômico com relação à energia e à água.

^{1/} Parte da tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, pelo primeiro autor, como uma das exigências para obtenção do grau de «Magister Scientiae» em Engenharia Agrícola.

Recebido para publicação em 15-12-1983.

^{2/} Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. 36570 Viçosa, MG.

Diante da escassez de estudos relacionados com o manejo da irrigação suplementar, este trabalho teve os seguintes objetivos:

a) Adaptar e comparar alguns modelos que, por meio da análise da precipitação local, durante certo período de anos, determinem a lâmina e a frequência de irrigação suplementar;

b) Avaliar os critérios de decisão, por intermédio da distribuição de probabilidade Gama, da primeira ordem da Cadeia de Markov e da distribuição de frequência de períodos secos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Viçosa, localizada na Zona da Mata do Estado de Minas Gerais, latitude de 20°45'S, longitude 42°51'W e altitude 651 m, apresenta um clima que pertence à categoria Cwa (mesotérmico, inverno seco e verão quente), de acordo com a classificação de Köppen.

2.1. Análise da Precipitação

Para análise da precipitação foram utilizados dados pluviométricos diários, referentes a um período de quarenta e nove anos (1924 a 1972), para a região de Viçosa, MG.

Em razão de as culturas apresentarem diferentes frequências de irrigação, adotou-se a sistemática de analisar a precipitação diária em intervalos de agrupamento de 5, 10, 15 ou 30 dias. Entretanto, neste trabalho foram utilizados intervalos de agrupamento de 10 dias, cujos valores médios estão também disponíveis nos registros de observações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia.

2.1.1. Precipitações Dependentes

Utilizando um programa de computador, apresentado por FRIZZONE (4) e desenvolvido por Weaver e Miller, foram determinadas as precipitações dependentes a treze níveis de probabilidade: 95, 90, 80, 75, 70, 60, 50, 40, 30, 25, 20, 10 e 5%, por meio de uma solução simplificada para a distribuição Gama incompleta, obtida por MILLER e WEAVER (7), mediante o uso de aproximação de Newton (equação 1).

$$X_i = X_j - \frac{X_j}{\alpha} (S) - \frac{P(\hat{\alpha}) e^{X_j}}{X_j (\hat{\alpha} - 1)} \quad \text{eq. 1}$$

em que

$$S = 1 + \frac{X_j}{(\hat{\alpha} + 1)} + \frac{X_j^2}{(\hat{\alpha} + 1)(\hat{\alpha} + 2)} + \frac{X_j^3}{(\hat{\alpha} + 1)(\hat{\alpha} + 2)(\hat{\alpha} + 3)} + \dots$$

em que

X_j = precipitação esperada a determinado nível P de probabilidade, tendo $\hat{\alpha} - 1$ como estimativa inicial de X_j . O estimador de $\hat{\alpha}$ foi determinado pelo método da Máxima Verossimilhança e dado por

$$\hat{\alpha} = \frac{1 + \sqrt{1 + 4A/3}}{4A} \quad \text{eq. 2}$$

em que

$$A = \ln \bar{X} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \ln X_j$$

em que

\bar{X} = altura média de chuva no período;
 n = número de anos com dados de chuva;
 X_j = altura de chuva (5, 10, 15 ou 30 dias).

2.1.2. Duração Média dos Períodos Secos

Utilizando um programa de computador desenvolvido e apresentado por MAROUELLI (6), determinou-se a duração média dos períodos secos a três limites de precipitação mínima para quantificar dia seco: 0,1, 5,0 e 10,0 mm, por meio da seguinte equação:

$$UD = \frac{1}{PCS} \quad \text{eq. 3}$$

em que

UD = duração média dos períodos secos, dias;
 PCS = probabilidade de um dia ser chuvoso, desde que o dia anterior seja seco.

A equação 3 foi derivada e testada por Neumann, citado por HASHEMI e DECKER (5), e baseia-se na pressuposição de que a duração de períodos úmidos e secos seja independente e obedeça a uma distribuição geométrica, sendo, então, possível o emprego de primeira ordem da Cadeia de Markov. Assim, segundo SEDIYAMA *et alii* (8), a probabilidade de transição PCS pode ser estimada de maneira direta pela seguinte relação:

$$PCS = \frac{DCS}{DS} \quad \text{eq. 4}$$

em que

DCS = número de dias secos seguidos de dias chuvosos;
 DS = número de dias secos.

2.1.3. Probabilidades de Ocorrência de Períodos Secos

Utilizando um programa de computador desenvolvido e apresentado por MAROELLI (6), determinou-se o número de ocorrência de períodos secos com duração igual ou maior a n dias a três limites para quantificar dia seco: 0,1; 5,0 e 10,0 mm. Por meio da equação 5, determinaram-se as probabilidades de ocorrência de períodos secos com duração igual ou maior a n dias (P_n).

$$P_n = \frac{N}{\text{NANOS} \cdot \text{NDP}} \quad \text{eq. 5}$$

em que

- N = número de ocorrência de períodos secos com duração igual ou maior a n dias;
 NANOS = número de anos com dados de precipitação;
 NDP = número de dias do período em questão.

2.2. Modelos de Irrigação

Os modelos desenvolvidos e apresentados por MAROUELLI (6) foram testados para um período de 10 anos (1973 a 1982), para a região de Viçosa, MG, por meio do balanço diário de água no solo (equação 6).

$$\text{LAD}(J) = \text{LAD}(J-1) + \text{PE}(J) - \text{ETa}(J) \quad \text{eq. 6}$$

em que

- $\text{LAD}(J)$ = lâmina de água atual disponível no solo, no final do dia J , mm;
 $\text{PE}(J)$ = precipitação efetiva, no dia J , mm;
 $\text{ETa}(J)$ = evapotranspiração real, no dia J , mm.

Para o cálculo da lâmina total disponível no solo foram utilizados valores médios, determinados por AZEVEDO (1), para «capacidade de campo» (45,5% em peso), «ponto de murcha» (32,0% em peso) e «densidade aparente do solo» (1,02 g.cm⁻³), referentes aos solos de terraço na região de Viçosa, MG, para uma profundidade efetiva do sistema radicular (PE) de 50,0 cm. Objetivando analisar o efeito da disponibilidade total de água no solo sobre o comportamento dos modelos, utilizou-se, também, uma PE de 100,0 cm, considerando as mesmas «constantes» do solo.

A precipitação efetiva foi definida como sendo a parte da precipitação que ficou disponível à cultura.

A evapotranspiração real foi calculada como função da disponibilidade de água no solo, conforme a equação

$$\text{ETa} = K \cdot \text{ETp} \quad \text{eq. 7}$$

em que

- ETa = evapotranspiração real, mm.dia⁻¹;
 K = coeficiente de umidade do solo, adimensional;
 ETp = evapotranspiração potencial, mm.dia⁻¹.

A relação utilizada foi aquela que sugere a curva do tipo Pierce, como sendo a que melhor representa o efeito da disponibilidade de água no solo sobre a razão ETa/ETp , e, segundo BERNARDO (2), é dada por

$$K = \frac{\ln (LAD + 1)}{\ln (LTD + 1)} \quad \text{eq. 8}$$

em que

LAD = lâmina de água atual disponível no solo, mm;

LTD = lâmina de água total disponível no solo, mm.

A evapotranspiração potencial foi estimada por meio do método de radiação (equação 9), apresentado por DOORENBOS e PRUITT (3), em uma base mensal e admitindo como sendo igualmente distribuída durante todo mês em consideração.

$$ETp = W \cdot Rs \quad \text{eq. 9}$$

em que

W = fração de acréscimo no calor latente, adimensional;

Rs = radiação solar global expressa em equivalente de evaporação, mm.dia⁻¹.

Para as simulações das irrigações, os modelos avaliaram o teor de água no solo, a cada dia, para se tomar uma decisão com relação à necessidade ou não de se irrigar. A qualquer momento em que a umidade estivesse reduzida a 50% da disponibilidade de água no solo, o modelo calculava a lâmina de água a ser aplicada. Visando garantir que a frequência de irrigação não fosse inferior a dois dias, todos os modelos aplicaram uma lâmina mínima de 10,0 mm. Porém, quando a necessidade de água calculada foi maior que a necessária para elevar a umidade do solo à «capacidade de campo», a lâmina aplicada foi igual à suficiente para que o solo atingisse a «capacidade de campo».

2.2.1. Modelo Baseado Exclusivamente na Disponibilidade de Água no Solo

$$LTN(J) = LTD - LAD(J) \quad \text{eq. 10}$$

em que

LTN (J) = lâmina de água total necessária, no dia J, mm.

2.2.2. Modelo Baseado nas Precipitações Dependentes

$$NDA(J) = LTN(J) - CHU \quad \text{eq. 11}$$

em que

CHU = UT. PDP(J)

UT = LTN(J)/ETp(J)

em que

- NDA(J) = necessidade de água, no dia J, mm;
 CHU = precipitação dependente, no período UT, mm;
 UT = número mínimo de dias para que o teor de água no solo decresça de 100 para 50%;
 PDP(J) = precipitação dependente, a determinado nível de probabilidade, no dia J, mm.

2.2.3. Modelo Baseado na Duração Média dos Períodos Secos

$$NDA(J) = UD(V) \cdot ETp(J) \quad \text{eq. 12}$$

em que

UD(V) = duração média do período seco, no período V, dias.

2.2.4. Modelo Baseado nas Probabilidades de Ocorrência

$$NDA(J) = UN(V) \cdot ETp(J) \quad \text{eq. 13}$$

em que

UN(V) = duração do período seco, a determinado nível de probabilidade, no período V, dias.

2.2.5. Modelo Baseado Conjuntamente na Duração Média dos Períodos Secos e nas Precipitações Dependentes

$$NDA(J) = UD(V) - [ETp(J) - PDP(J)] \quad \text{eq. 14}$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise dos Modelos

3.1.1. Modelo Baseado Exclusivamente na Disponibilidade de Água no Solo

Este modelo, em que a irrigação é baseada exclusivamente na disponibilidade de água no solo, serviu de base para a análise da economia de água e o aumento da frequência de irrigação para os modelos de manejo da irrigação suplementar.

A utilização deste sistema de manejo exigiu, em média, 15,8 irrigações por ano e uma lâmina total de 569,3 mm, para a profundidade efetiva do sistema radicular (PE) de 50,0 cm. Entretanto, para um perfil de 100,0 cm a frequência decresceu para 5,3 irrigações e a lâmina para 375,0 mm (Quadro 1). Pode-se, assim, dizer que quanto maior for a disponibilidade total de água no solo, menor será o efeito da distribuição irregular da precipitação.

3.1.2. Modelo Baseado nas Precipitações Dependentes

A utilização desse modelo, aos níveis de 75 e 40% de probabilidade, resultou, para a PE de 50,0 cm, numa economia de água de 7,0 e 16,2% e um aumento na frequência de 3,8 e 51,9%, respectivamente (Quadro 2). Porém, para a PE de 100,0 cm,

QUADRO 1 - Valores Médios Trimestrais da Irrigação para o Modelo Baseado Exclusivamente na Disponibilidade de Água no Solo, Referentes ao Período de 1973 a 1982, à Profundidade Efetiva de 50,0 e 100,0 cm

Irrigação	Trimestre				Ano
	1	2	3	4	
50,0 cm					
Frequência de irrigação	4,1	4,5	5,4	1,8	15,8
Lâmina aplicada (mm)	148,7	161,8	193,5	65,3	569,3
Total aplicado (%)	26,1	28,4	34,0	11,5	100,0
100,0 cm					
Frequência de irrigação	1,3	1,6	2,1	0,3	5,3
Lâmina aplicada (mm)	92,4	112,7	148,6	21,5	375,2
Total aplicado (%)	24,7	30,0	39,6	5,7	100,0

aos mesmos níveis de probabilidade, a economia foi de 5,7 e 20,9%, e o aumento na frequência de 0,0 e 43,4% (Quadro 3).

Em função do método de cálculo da necessidade de irrigação (equação 11), o modelo recomendou, num mesmo período, que se aplicasse uma lâmina de água maior para PE de 100,0 cm, que para a de 50,0 cm. Assim, quanto maior for a disponibilidade total de água no solo, menor será a economia de água para este modelo, em relação aos demais.

3.1.3. Modelo Baseado na Duração Média dos Períodos Secos

Quanto maior for o limite para que um dia seja considerado seco, maior será a duração média dos períodos secos, sendo que, principalmente nos meses correspondentes ao inverno, este aumento foi maior. Desse modo, a maior economia de água foi obtida para o limite de 0,1 mm, seguido de 5,0 mm e finalmente o de 10,0 mm.

A utilização desse modelo resultou, para a PE de 50,0 cm, numa economia de água de 14,2 e 2,7% e um aumento na frequência de irrigação de 25,3 e 1,9%, para os limites de 0,1 e 10,0 mm, respectivamente (Quadro 4). Porém, para a PE de 100,0 cm, aos mesmos limites, a economia foi de 41,5 e 12,5%, e o aumento na frequência de 37,7 e 9,4% (Quadro 5).

3.1.4. Modelo Baseado nas Probabilidades de Ocorrência de Períodos Secos

À medida que aumentou o nível de probabilidade, houve um decréscimo na duração dos períodos secos, que tendia a um valor constante. O mesmo efeito verificou-se na irrigação suplementar, sendo que, a partir do nível de 45% de probabi-

QUADRO 2 - Valores Médios Trimestrais dos Resultados das Irrigações para o Modelo Baseado nas Precipitações Dependentes, Referentes ao Período de 1973 e 1982, a Profundidade Efetiva de 50,0 cm, aos Níveis de 75 e 40 por Cento de Probabilidade

Irrigação	Trimestre				Ano
	1	2	3	4	
75%					
Frequência de irrigação	4,4	4,5	5,4	2,1	16,4
Lâmina aplicada (mm)	132,4	160,1	193,4	43,5	529,4
Total aplicado (%)	25,0	30,2	36,5	8,2	100,0
Economia de água (%)	11,0	1,1	0,1	33,4	7,0
Aumento da frequência (%)	7,3	0,0	0,0	16,7	3,8
Total economizado (%)	40,8	4,3	0,3	54,6	100,0
40%					
Frequência de irrigação	9,9	5,4	5,5	3,2	24,0
Lâmina aplicada (mm)	102,0	156,8	184,1	33,9	476,8
Total aplicado (%)	21,4	32,9	38,6	7,1	100,0
Economia de água (%)	31,4	3,1	4,9	48,1	16,2
Aumento da frequência (%)	141,5	20,0	1,9	77,8	51,9
Total economizado (%)	50,5	5,4	10,2	33,9	100,0

lidade, a lâmina total aplicada foi se tornando constante, enquanto a frequência de irrigação aumentou na mesma taxa.

O modelo, para uma mesma frequência de irrigação, utilizando tanto o limite de 0,1 mm, a um determinado nível de probabilidade, quanto o limite de 5,0 mm, a um outro nível de probabilidade, aplicou aproximadamente a mesma quantidade de água.

A utilização desse modelo resultou, para a PE de 50,0 cm, numa economia de água de 6,8, 22,6 e 29,5% e um aumento na frequência de irrigação de 2,5, 52,5 e 122,8%, para o limite de 0,1 mm aos níveis de 5, 25 e 50% de probabilidade, respectivamente (Quadro 6). Porém, para a PE de 100,0 cm, aos mesmos níveis de probabilidade e para o mesmo limite, a economia foi de 43,7, 53,7 e 61,7%, e o aumento na frequência foi de 13,2, 67,9 e 130,2% (Quadro 7).

3.1.5. Modelo Baseado Conjuntamente na Duração Média dos Períodos Secos e nas Precipitações Dependentes

A lâmina total aplicada pelo modelo, para uma mesma frequência de irrigação, para o limite de 0,1 mm foi menor que a aplicada para o de 5,0 mm, e essa, menor que a aplicada para o limite de 10,0 mm.

QUADRO 3 - Valores Médios Trimestrais dos Resultados das Irrigações para o Modelo Baseado nas Precipitações Dependentes, Referentes ao Período de 1973 a 1982, à Profundidade Efetiva de 100,0 cm, aos Níveis de 75 e 40 por Cento de Probabilidade

Irrigação	Trimestre				Ano
	1	2	3	4	
75%					
Frequência de irrigação	1,3	1,6	2,1	0,3	5,3
Lâmina aplicada (mm)	76,8	111,6	148,2	17,1	353,7
Total aplicado (%)	21,7	31,6	41,9	4,8	100,0
Economia de água (%)	16,9	1,0	0,3	20,5	5,7
Aumento da frequência (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total economizado (%)	72,5	5,1	1,9	20,5	100,0
40%					
Frequência de irrigação	3,0	1,7	2,1	0,8	7,6
Lâmina aplicada (mm)	47,4	103,4	137,5	8,4	296,7
Total aplicado (%)	16,0	34,9	46,3	2,8	100,0
Economia de água (%)	48,7	8,3	7,5	60,9	20,9
Aumento da frequência (%)	130,8	6,3	0,0	166,7	43,4
Total economizado (%)	57,3	11,9	14,1	16,7	100,0

A utilização desse sistema de manejo, para o limite de 0,1 mm aos níveis de 75 e 40% de probabilidade, resultou, para a PE de 50,0 cm, numa economia de água de 16,2 e 19,8% e um aumento na frequência de irrigação de 33,5 e 62,7%, respectivamente (Quadro 8). Porém, para a PE de 100,0 cm, aos mesmos níveis de probabilidade e para o mesmo limite, a economia foi de 42,7 e 46,3%, e o aumento na frequência de 43,4 e 75,5% (Quadro 9).

Finalizando, para os três últimos modelos, o maior percentual de água economizado para a PE de 100,0 cm deveu-se ao fato de que, no sistema de manejo em que o solo foi irrigado até a «capacidade de campo», a quantidade de água aplicada para esta PE foi o dobro da aplicada para a de 50,0 cm. Assim, se chover logo após a irrigação, a perda para a PE de 100,0 cm será maior. Porém, quando a irrigação foi baseada num dos três modelos anteriores, a perda decorrente de uma precipitação, caso tenha ocorrido, foi menor para a PE de 100,0 cm, ou no máximo igual a que ocorreria para a de 50,0 cm.

3.2. Comparação dos Modelos

A economia de água para o modelo baseado nas precipitações dependentes em relação aos demais foi menor, quanto maior a disponibilidade total de água no

QUADRO 4 - Valores Médios Trimestrais dos Resultados das Irrigações para o Modelo Baseado na Duração Média dos Períodos Secos, Referentes ao Período de 1973 a 1982, à Profundidade Efetiva de 50,0 cm, aos Limites de 0,1 e 10,0 mm

Irrigação	Trimestre				Ano
	1	2	3	4	
0,1 mm					
Frequência de irrigação	6,2	5,6	5,5	2,5	19,8
Lâmina aplicada (mm)	119,3	145,0	187,4	36,7	488,4
Total aplicado (%)	24,4	29,7	38,4	7,5	100,0
Economia de água (%)	19,8	10,4	3,2	43,8	14,2
Aumento da frequência (%)	51,2	24,4	1,9	38,9	25,3
Total economizado (%)	36,3	20,8	7,5	35,4	100,0
10,0 mm					
Frequência de irrigação	4,3	4,5	5,4	1,9	16,1
Lâmina aplicada (mm)	146,8	161,8	193,5	51,9	554,0
Total aplicado (%)	26,5	29,2	34,2	9,4	100,0
Economia de água (%)	1,3	0,0	0,0	20,5	2,7
Aumento da frequência (%)	4,9	0,0	0,0	5,5	1,9
Total economizado (%)	12,4	0,0	0,0	87,6	100,0

solo, o que torna difícil sua comparação com os demais modelos. Por esse motivo, isto não constou das discussões seguintes.

Em cada projeto de irrigação existe um meio ambiente próprio, o que torna necessário que se estabeleça, com base numa análise econômica, um critério para decisão da irrigação suplementar. Desse modo, o sistema de manejo deve possibilitar grande número de alternativas de irrigação suplementar, com a finalidade de se determinar a relação mais viável entre o decréscimo na quantidade de água aplicada e o aumento da frequência de irrigação. Assim, dos modelos utilizados, o que possibilitou maior número de alternativas de manejo foi o baseado nas probabilidades de ocorrência de períodos secos seguido do conjugado e, finalmente, o baseado na duração média dos períodos secos.

Com relação à economia de água, o modelo baseado nas probabilidades de ocorrência de períodos secos foi o que possibilitou maior economia, ou seja, para uma mesma frequência de irrigação, a lâmina total aplicada por este modelo foi menor que a dos demais, principalmente para a PE de 100,0 cm.

A maior economia de água obtida pelo modelo baseado nas probabilidades de ocorrência de períodos secos em relação aos demais, para a PE de 100,0 cm, deveu-se, principalmente, à menor lâmina de água aplicada por esse modelo nos meses de julho e agosto, visto que para os demais meses as lâminas aplicadas foram aproximadamente iguais.

QUADRO 5 - Valores Médios Trimestrais dos Resultados das Irrigações para o Modelo Baseado na Duração Média dos Períodos Secos, Referentes ao Período de 1973 a 1982, à Profundidade Efetiva de 100,0 cm aos Limites de 0,1 e 10,0 mm

Irrigação	Trimestre				Ano
	1	2	3	4	
0,1 mm					
Frequência de irrigação	2,5	1,9	2,2	0,7	7,3
Lâmina aplicada (mm)	49,3	55,0	105,0	10,1	219,4
Total aplicado (%)	22,5	25,1	47,8	4,6	100,0
Economia de água (%)	46,6	51,2	29,3	53,0	41,5
Aumento da frequência (%)	92,3	18,8	4,8	133,3	37,7
Total economizado (%)	27,7	37,0	28,0	7,3	100,0
10,0 mm					
Frequência de irrigação	1,7	1,6	2,1	0,4	5,8
Lâmina aplicada (mm)	61,3	109,3	145,4	12,3	328,4
Total aplicado (%)	18,7	33,3	44,3	3,7	100,0
Economia de água (%)	33,7	3,0	2,1	42,8	12,5
Aumento da frequência (%)	30,8	0,0	0,0	33,3	9,4
Total economizado (%)	66,4	7,3	6,6	19,7	100,0

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Com a utilização dos dados pluviométricos diários, referentes ao período de 1924 a 1972, para Viçosa, MG, procedeu-se à análise da precipitação atmosférica.

Foram testados, para o período de 1973 a 1982, para Viçosa, MG, os modelos de decisão para irrigação, baseados na disponibilidade de água no solo exclusivamente, nas precipitações dependentes, na duração média dos períodos secos, nas probabilidades de ocorrência de períodos secos e, conjuntamente, na duração média dos períodos secos e nas precipitações dependentes.

Para as simulações das irrigações, os modelos avaliaram o teor de água no solo, a cada dia, visando tomar-se uma decisão, com relação à necessidade ou não de irrigar. A qualquer momento em que a umidade estivesse reduzida a 50% da disponibilidade de água no solo, o modelo calculava a lâmina da água a ser aplicada.

Com base nos resultados obtidos, para a região de Viçosa, MG, chegou-se às seguintes conclusões:

a) A economia de água para o modelo baseado nas precipitações dependentes em relação aos demais foi menor, quanto maior a disponibilidade total de água no solo, o que ocorreu em função do método de cálculo da necessidade de água.

QUADRO 6 - Valores Médios Trimestrais dos Resultados das Irrigações para o Modelo Baseado nas Probabilidades de Ocorrência de Períodos Secos, Referentes ao Período de 1973 a 1982, à Profundidade Efetiva de 50,0 cm, Limite de 0,1 mm, aos Níveis de 5, 25 e 50 por Cento de Probabilidade

Irrigação	Trimestre				Ano
	1	2	3	4	
5%					
Frequência de irrigação	4,2	4,6	5,5	1,9	16,2
Lâmina aplicada (mm)	144,6	144,3	189,2	52,6	530,7
Total aplicado (%)	27,2	27,2	35,7	9,9	100,0
Economia de água (%)	2,8	10,8	2,2	19,4	6,8
Aumento da frequência (%)	2,4	2,2	1,9	5,5	2,5
Total economizado (%)	10,6	45,3	11,2	32,9	100,0
25%					
Frequência de irrigação	7,1	6,8	7,3	2,9	24,1
Lâmina aplicada (mm)	107,3	127,1	171,3	34,9	440,6
Total aplicado (%)	24,4	38,8	38,9	7,9	100,0
Economia de água (%)	27,8	21,4	11,5	46,6	22,6
Aumento da frequência (%)	73,2	51,0	35,2	61,1	52,5
Total economizado (%)	32,2	27,0	17,2	23,6	100,0
50%					
Frequência de irrigação	10,2	10,7	11,1	3,2	35,2
Lâmina aplicada (mm)	102,0	115,9	151,5	32,0	401,4
Total aplicado (%)	25,4	28,9	37,7	8,0	100,0
Economia de água (%)	31,4	28,4	21,7	51,0	29,5
Aumento da frequência (%)	148,8	137,8	105,6	77,8	122,8
Total economizado (%)	27,8	27,4	25,0	19,8	100,0

b) Dos modelos utilizados, o baseado nas probabilidades de ocorrência de períodos secos foi o que possibilitou maior número de alternativas de manejo da irrigação, seguido do conjugado e, finalmente, o baseado na duração média dos períodos secos.

c) Visto que em cada projeto de irrigação existe um meio ambiente próprio, torna-se necessário que se estabeleça, com base numa análise econômica, um critério para decisão de irrigação.

d) O modelo baseado nas probabilidades de ocorrência de períodos secos foi o que possibilitou maior economia de água, ou seja, para uma mesma frequência de irrigação a lâmina total aplicada por esse modelo foi maior que a dos demais.

e) Dos limites de precipitação mínima para quantificar dia seco, o que proporcionou melhores resultados nas simulações das irrigações, para os diversos modelos, foi o de 0,1 mm.

Finalmente, para a região de Viçosa, MG, dos modelos de manejo da irrigação suplementar testados, o que apresentou melhor comportamento foi o baseado nas probabilidades de ocorrência de períodos secos.

QUADRO 7 - Valores Médios Trimestrais dos Resultados das Irrigações para o Modelo Baseado nas Probabilidades de Ocorrência de Períodos Secos, Referentes ao Período de 1973 a 1982, à Profundidade Efetiva de 100,0 cm, Limite de 0,1 mm, aos Níveis de 5, 25 e 50 por Cento de Probabilidade

Irrigação	Trimestre				Ano
	1	2	3	4	
Frequência de irrigação	1,6	1,7	2,3	0,4	6,0
Lâmina aplicada (mm)	57,0	56,4	85,8	11,9	211,1
Total aplicado (%)	27,0	26,7	40,7	5,6	100,0
Economia de água (%)	38,3	50,0	42,3	44,7	43,7
Aumento da frequência (%)	23,1	6,3	9,5	33,3	13,2
Total economizado (%)	21,6	34,3	38,3	5,8	100,0
25%					
Frequência de irrigação	2,9	2,1	3,2	0,7	8,9
Lâmina aplicada (mm)	44,7	42,0	78,5	8,7	173,9
Total aplicado (%)	25,7	24,2	45,1	5,0	100,0
Economia de água (%)	51,6	62,7	47,2	59,5	53,7
Aumento da frequência (%)	123,1	31,3	52,4	133,3	67,9
Total economizado (%)	23,7	35,1	34,8	6,4	100,0
50%					
Frequência de irrigação	4,0	3,1	4,3	0,8	12,2
Lâmina aplicada (mm)	40,0	35,2	60,4	8,0	143,6
Total aplicado (%)	27,8	24,5	42,1	5,6	100,0
Economia de água (%)	56,7	68,8	59,4	62,8	61,7
Aumento da frequência (%)	207,7	93,8	104,8	166,7	130,2
Total economizado (%)	22,6	33,5	38,1	5,8	100,0

5. SUMMARY

(ANALYSIS OF MODELS FOR THE MANAGEMENT OF SUPPLEMENTAL IRRIGATION)

Daily rainfall data from 1924 through 1972 were analyzed for quantitative use in a supplemental irrigation scheduling program for Viçosa, Minas Gerais.

The computer decision-making models for irrigation scheduling were tested with climatic data inputs from 1973 through 1982.

The models incorporated the basic concepts of soil water availability, dependable precipitation, mean duration of dry-day periods, probability of occurrence of dry-day periods, and applications of the combined principles of the average dry-day periods and dependable rainfall.

The decision criterion was applied in the simulation model. The results showed that the best model for supplemental irrigation management process for economic water use was the model based on probabilities of the occurrences of dry periods, using a dry-day threshold of 0.1 mm of precipitation.

QUADRO 8 - Valores Médios Trimestrais dos Resultados das Irrigações para o Modelo Baseado Conjuntamente na Duração Média dos Períodos Secos e nas Precipitações Dependentes, Referentes ao Período de 1973 a 1982, a Profundidade Efetiva de 50,0 cm, Limite de 0,1 mm, aos Níveis de 75 e 40 por Cento de Probabilidade

Irrigação	Trimestre			Ano	
	1	2	3		4
75%					
Frequência de irrigação	6,8	5,7	5,5	3,1	21,1
Lâmina aplicada (mm)	108,8	144,9	186,9	36,2	476,8
Total aplicado (%)	22,8	30,4	39,2	7,6	100,0
Economia de água (%)	26,8	10,4	3,4	44,6	16,2
Aumento da frequência (%)	65,9	51,1	1,9	72,2	33,5
Total economizado (%)	43,1	18,3	7,1	31,5	100,0
40%					
Frequência de irrigação	10,2	6,7	5,6	3,2	25,7
Lâmina aplicada (mm)	102,0	137,5	184,6	32,7	456,8
Total aplicado (%)	22,3	30,1	40,4	7,2	100,0
Economia de água (%)	31,4	15,0	4,6	49,9	19,8
Aumento da frequência (%)	148,8	48,9	3,7	77,8	62,7
Total economizado (%)	41,5	21,6	7,9	29,0	100,0

QUADRO 9 - Valores Médios Trimestrais dos Resultados das Irrigações para o Modelo Baseado Conjuntamente na Duração Média dos Períodos Secos e nas Precipitações Dependentes, Referentes ao Período de 1973 a 1982, a Profundidade Efetiva de 100,0 cm. Limite de 0,1 mm, aos Níveis de 75 e 40 por Cento de Probabilidade

Irrigação	Trimestre			Ano
	1	2	3	
75%				
Frequência de irrigação	2,6	2,1	2,2	7,6
Lâmina aplicada (mm)	42,7	59,5	104,7	215,0
Total aplicado (%)	19,8	27,7	48,7	100,0
Economia de água (%)	53,8	47,2	29,5	42,7
Aumento da frequência (%)	100,0	31,3	4,8	133,3
Total economizado (%)	31,0	33,2	27,4	100,0
40%				
Frequência de irrigação	4,0	2,2	2,3	9,3
Lâmina aplicada (mm)	40,0	53,1	100,4	201,5
Total aplicado (%)	19,9	26,3	49,8	100,0
Economia de água (%)	56,7	52,9	32,4	46,3
Aumento da frequência (%)	207,7	37,5	9,5	166,7
Total economizado (%)	30,2	34,3	27,7	100,0

6. LITERATURA CITADA

1. AZEVEDO, J.A. DE. *Relações físico-hídricas em solos de terraço e de meia encosta de Viçosa (MG)*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1976. 136 p. (Tese de M.S.).
2. BERNARDO, S. *A computerized model to predict supplemental irrigation in tropical and subtropical climate*. Logan, Utah State University, 1975. 155 p. (Ph. D. Thesis).
3. DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. *Crop water requirements*. Rome, FAO, 1977. 144 p. (Irrigation and drainage paper 24).
4. FRIZZONE, J.A. *Análise de cinco modelos para cálculo da distribuição e frequência de precipitação na região de Viçosa, MG*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1979. 100 p. (Tese de M.S.).
5. HASHEMI, F. & DECKER, W. Using climatic information and weather forecast for decisions in economizing irrigation water. *Agricultural Meteorology*, 6: 245-257, 1969.
6. MAROUELLI, W.A. *Análise de distribuição das probabilidades de chuva, visando ao manejo da irrigação suplementar*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1983. 123 p. (Tese de M.S.).
7. MILLER, M.E. & WEAVER, C.R. *Monthly and annual precipitation probabilities for climatic divisions in Ohio*. Wooster, Ohio Agricultural Research and Development Center, 1968. 11 p. (Research Bulletin 1005).
8. SEDIYAMA, G.C.; CHANCELLOR, W.J.; BURKHARDT, T.H. & GOSS, J.R. Simulação de parâmetros climáticos para a época de crescimento das plantas. *Rev. Ceres*, 25(141):455-466. 1978.