

MANEJO COMPUTADORIZADO DA IRRIGAÇÃO UTILIZANDO O PROGRAMA "CROPWAT" DA FAO: ESTUDO DE CASO DE HÍBRIDOS DE MILHO (*Zea mays* L.) NO VALE DO CURU - CEARÁ, BRASIL

Francisco de Souza¹

RESUMO

Com o objetivo de aplicar técnicas computadorizadas ao manejo da irrigação e estimular o uso dessas técnicas em programas de pesquisa, ensino e extensão, foi desenvolvido o presente trabalho. Em primeiro lugar, foi escolhido um caso específico. Resultados experimentais previamente obtidos foram utilizados em um processo de simulação do manejo da irrigação. Estes resultados mostravam o efeito de 4 épocas de plantio e de 4 níveis de potencial matricial do solo sobre a produtividade de 4 híbridos de milho, cultivados sob regime de irrigação. Na segunda etapa do trabalho, os dados foram utilizados no modelo computadorizado baseado na equação do balanço hídrico do solo, desenvolvido pela FAO, denominado CROPWAT. Este modelo simulou as necessidades ou requerimento de água da cultura e estabeleceu calendários de irrigação para os diferentes tratamentos utilizados. A aplicação do CROPWAT para simular calendários ótimos de irrigação resulta em valores bastante aproximados independentemente do híbrido considerado. Utilizando a opção de manejo prático, concluiu-se que o milho no Vale do Curu pode ser irrigado com um turno de 10 dias, lâmina líquida de 40mm, em 11 irrigações, com um nível de rendimento de 93,3% do potencial. Os resultados são comparáveis àqueles obtidos experimentalmente para o plantio em 23/8.

PALAVRAS-CHAVE: manejo, calendário, irrigação computadorizada.

ABSTRACT

This work is an application of an irrigation scheduling computer model aiming to stimulate the use of this technique for developing research, teaching and extension programs. It consisted basically of two

steps. First, a case study was chosen. Experimental results and inputs previously obtained were used to simulate and check the effectiveness of the model. They were related to the study of the effect of 4 corn hybrid cultivated under 4 soil water potential levels, at 4 different planting dates, in "Vale do Curu", Ceará-Brazil. Secondly, FAO CROPWAT computer model based on the water balance equation was used to calculate the crop water requirements and to establish irrigation schedulings to compare with those have been previously experimentally determined. Optimum irrigation schedulings calculated by the CROPWAT model were too close to those determined for all hybrids. Practical irrigation scheduling for corn in "Vale do Curu" indicates fixed intervals of 10 days and net irrigation depth of 40mm applied in 11 irrigations, with yield level equivalent to 93.9% of potential yield. Results obtained by using CROPWAT model did not significantly differ from others previously determined under field conditions.

KEY WORDS: management, scheduling irrigation, computerized.

INTRODUÇÃO

Em geral os projetos de irrigação no Brasil são operados com baixa eficiência, porque a ótica utilizada é a de que os sistemas de irrigação devem ser bem projetados e construídos, mas o manejo do sistema após a implementação não é levado em consideração, ficando na dependência exclusiva, com raras exceções, da sensibilidade e experiência do irrigante.

Desde o início do século, a literatura registra os esforços dos pesquisadores para determinar as relações entre o uso da água pelas culturas, nas diversas condi-

¹ Engenheiro Agrônomo, Professor Titular do Centro de Ciências Agrárias da UFC.

ções de solo e clima, e a produção e produtividade das mesmas.

A partir da década de 60 foram iniciados estudos visando a utilização do computador no estabelecimento dos calendários de irrigação, baseados na equação do balanço hídrico do solo. Na década de 80, o uso do microcomputador foi introduzido na irrigação e, particularmente, na determinação do quando e quanto irrigar, como também na automatização dos sistemas de irrigação baseados em tempo real. Vários serviços de extensão privados, em outros países, utilizam modelos computadorizados do sistema água-solo-planta-clima para estabelecer calendários de irrigação, que são utilizados juntamente com o monitoramento da umidade do solo com tensiômetros, sonda de nêutrons ou outro instrumento qualquer. Do nosso conhecimento estas práticas não são adotadas no país, muito menos no Ceará.

Segundo SALAZAR et alii⁹, para atingir ótimos resultados, um sistema de irrigação deve ser bem projetado, construído e manejado. Contudo, muitos projetos de irrigação no mundo operam com eficiência global de irrigação entre 25 e 40% em vez de 50 e 60% contemplados no projeto. Uma das principais razões para essas baixas eficiências é a falta de atenção dada ao manejo dos sistemas de irrigação após a fase de construção. Um dos requerimentos do manejo mais barato e mais efetivo, para eliminar tais problemas, é a adoção de calendários de irrigação adequados.

O "Calendário de Irrigação" pode ser definido como o processo ou técnica para determinar quando irrigar e quanta água aplicar em cada irrigação (JAMES⁵; SALAZAR et alii⁹). O estabelecimento do calendário de irrigação apropriado é essencial para o uso eficiente de água, energia e outros fatores da produção, tais como fertilizantes (JAMES⁵).

JENSEN et alii⁷ citam alguns autores para mostrar que àquela época estudos recentes indicavam que as práticas para determinar o calendário de irrigação, o momento de irrigar e a quantidade a aplicar, não apresentava grandes modificações da-

queles observados 25 anos antes, por ISRAELSEN, em 1944. Mas, esses autores lembram que o potencial para melhorar o manejo da irrigação havia aumentado substancialmente nos últimos 15 anos (a partir de 1954), devido ao desenvolvimento de equipamento de controle e medição da água, melhoramento nos critérios de dimensionamento, métodos mais confiáveis para estimar ET, e a disponibilidade comercial de instrumentos de medição da umidade do solo para determinar quando irrigar. Isto é confirmado por HAISEN e HAGAN (1967) que afirmam que desde 1950 um número de novos enfoques e aparelhos comercialmente disponíveis foram desenvolvidos para determinar o calendário de irrigação, o que permite ao irrigante avaliar o suprimento de água para as culturas e, portanto, melhorar suas práticas de irrigação. Desde o trabalho de JENSEN⁶ até a atualidade, o desenvolvimento científico e tecnológico evoluiu de modo a permitir até mesmo o uso do microcomputador no controle do calendário de irrigação. Muitos pesquisadores têm desenvolvido modelos computadorizados para o manejo da irrigação (JENSEN⁶, JENSEN et alii⁷, DE GOESCALMON et alii¹, HULSMAN⁴, XEVI e FEYEN¹², MIYAMOTO⁸, SMITH¹¹, SALAZAR et alii⁹). JENSEN⁶ foi o primeiro a introduzir o conceito de utilização de um serviço de extensão baseado no computador. DE GOESCALMON et alii¹ usaram dois modelos (RAINBOW e IRSIS) para estabelecer calendários de irrigação do Projeto Pirapora (Minas Gerais). HULSMAN⁴ apresentou um metodologia de calendário de irrigação computadorizada em que utiliza os conceitos apresentados por JENSEN et alii⁷ e CROUCH, citado por HULSMAN⁴. MIYAMOTO⁸ desenvolveu um modelo para estabelecer o calendário de irrigação de pomares usando dados do clima, solo e planta. SMITH¹¹ apresentou um modelo de manejo da irrigação da FAO (CROPWAT), testado em vários projetos desta instituição, que permite o desenvolvimento de calendários de irrigação indicativos a partir de dados médios de clima e agrícolas. Este modelo, chamado CROPWAT, é aplicado no presente

trabalho a um caso específico. SALAZAR et alii⁹ relatam que aproximadamente 400.000 hectares de área irrigada cientificamente nos Estados Unidos é feita com calendário de irrigação que utilizam técnicas computadorizadas baseadas no balanço do sistema solo-planta-atmosfera, juntamente com observações periódicas de campo por técnicos ou irrigantes. A elaboração de calendários de irrigação por empresas privadas, combinando a tecnologia do computador com o monitoramento da umidade do solo continua a ser um sucesso.

Em virtude da importância do manejo da irrigação para o aumento da eficiência dos sistemas, e conseqüentemente, na economia de água, energia e fertilizantes, bem como no aumento da produtividade das culturas, é que o presente estudo foi realizado, com o objetivo de introduzir a nível de pesquisa no Ceará a aplicação de programas de microcomputador, devidamente comprovados, no caso, o programa CROPWAT da FAO, para a determinação de calendários de irrigação.

METODOLOGIA

Esse trabalho constou fundamentalmente de duas etapas. Em primeiro lugar, considerou-se a cultura do milho cultivado em uma condição específica de clima — o Vale do Curu. Para tanto foram utilizados os resultados encontrados por SANTOS¹⁰. Num segunda etapa, utilizou-se um programa de computador desenvolvido pela FAO (CROPWAT) para simular o manejo da irrigação do milho no Vale do Curu.

O Programa "CROPWAT" da FAO

O CROPWAT é um programa para microcomputadores desenvolvido pela FAO (Food and Agriculture Organization), versão 5.5, que serve para calcular os requerimentos de água da cultura e de irrigação, a partir de dados do clima e da cultura. Adicionalmente, o programa permite estabelecer calendários de irrigação para diferentes condições de manejo, e calcular o esquema de suprimento de água de um projeto para diferentes padrões de cultivo

(SMITH¹¹).

O CROPWAT apresenta um Menu Principal com as seguintes opções de cálculo: a) Cálculo de ET pelo método de Penman; b) Requerimento da cultura; c) Calendário de Irrigação; e d) Suprimento de água.

Cálculo da Evapotranspiração Potencial com a Equação de Penman Modificada

Para o cálculo de ETo pela equação de Penman modificada, os seguintes dados são necessários: a) Informação básica sobre a estação climática, seu nome, altitude e latitude; b) Dados climáticos mensais sobre temperatura, umidade relativa, brilho solar diário e velocidade do vento.

Requerimento de Água da Cultura

A segunda opção de menu principal de CROPWAT permite calcular as necessidades de água da cultura. De acordo com a FAO (1989), esse elemento forma a parte central do CROPWAT e é subdividido em três partes distintas: a) entrada e processamento dos dados de evaporação e precipitação; b) entrada de dados da cultura e data de plantio; e c) cálculo e "output" dos requerimentos de água da cultura.

Para o cálculo dos requerimentos da cultura são necessários dados mensais de ETo e de precipitação.

A entrada de dados da cultura necessária para o cálculo dos requerimentos de água é feita com as seguintes informações: Comprimento, em dias, dos estádios de desenvolvimento; Coeficiente da cultura (Kc) para as fases inicial, intermediária e na colheita.

Para o cálculo do calendário de irrigação são requeridos os seguintes dados adicionais: Profundidade das raízes (D); Nível de depleção (P) - representa o nível crítico de umidade do solo no qual o estresse hídrico afeta a evapotranspiração e a produtividade da cultura; Coeficiente de resposta ao rendimento devido ao estresse hídrico.

Calendário de Irrigação

A parte do programa que calcula o calendário de irrigação somente pode ser usada após a utilização do programa que calcula os requerimentos de água da cultura.

O cálculo do calendário de irrigação é baseado no balanço hídrico, onde, numa base diária, o fluxo de água de entrada e saída (evaporação, chuva, irrigação) na zona das raízes do perfil do solo é monitorado. Para realização dos cálculos são necessários dados de evapotranspiração, precipitação, cultura e solo. Tais dados são: Requerimento de água da cultura, definido como as necessidades diárias da cultura; Os dados necessários ao cálculo do calendário de irrigação são a profundidade das raízes e o nível de depleção da umidade

do solo e os parâmetros do solo para o calendário de irrigação: conteúdo total da água disponível (TAM); o conteúdo inicial de umidade do solo (% TAM), indicativo do grau de secura do solo no início da estação de crescimento; Profundidade Máxima de Raízes.

Opções do Calendário de Irrigação

a - Opções de Tempo e de Aplicação

O usuário pode escolher as seguintes OPÇÕES de tempo e de aplicação segundo a Tabela 1.

Para a **AValiação e Simulação** de sistemas de irrigação a opção 1 permite ao usuário definir os intervalos de irrigação, que podem ser, ou datas históricas de

TABELA 1 - Opções de tempo e de aplicações para irrigação segundo os objetivos desejados.

OBJETIVO	OPÇÕES DE	
	TEMPO	APLICAÇÕES
AValiação e Simulação	1. Cada irrigação definida pelo usuário.	1. Cada lâmina de irrigação é definida pelo usuário.
Irrigação Ótima	2. Irrigação no nível de depleção CRÍTICA (100% RAM). 3. Irrigação abaixo ou acima da depleção CRÍTICA (% RAM).	2. Reencher o solo até a Capacidade de Campo (CC). 3. Reencher o solo até a Capacidade de campo (CC).
Irrigação Prática	4. Irrigação a intervalos fixos por estágio. 5. Irrigação a uma depleção fixa (mm).	4. Lâmina de irrigação fixa de acordo com o método.
Irrigação com Déficit	6. Irrigação a uma dada redução de ET_{crop} (%). 7. Irrigação a uma dada redução do rendimento (%).	
Agricultura de Sequeiro	8. Sem irrigação; somente precipitação.	

irrigações reais de campo, ou datas simuladas. Na **IRRIGAÇÃO ÓTIMA** não há restrições na disponibilidade do suprimento hídrico. Na **opção 2** a irrigação é realizada quando o nível crítico de umidade do solo é atingido, e a umidade prontamente disponível é utilizada, definida como 100% de utilização do RAM. Na **IRRIGAÇÃO PRÁTICA** o calendário de irrigação é ajustado ao método de irrigação e as condições de suprimento hídrico. Com a **opção 4** a lâmina de irrigação é aplicada em intervalos fixos, indicada em particular para sistemas gravitários com sistemas de distribuição d'água em rotação. Com a **opção 5**, a água é aplicada quando uma quantidade predeterminada de água foi consumida.

A **IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT** objetiva restringir a água aplicada na irrigação minimizando as reduções no rendimento da cultura, em virtude de uma diminuição na disponibilidade da fonte hídrica. Na **opção 6**, a água é aplicada sempre que uma redução crítica na ET é atingida, predeterminada pelo usuário para cada estágio de desenvolvimento, em porcentagem da redução em ET.

Na **opção 1**, a lâmina de irrigação é especificada pelo usuário para cada intervalo de acordo com dados de campo ou simulados. A entrada de dados é feita em combinação com a **opção 1** das Opções de Tempo. Na **opção 2**, a lâmina aplicada leva o conteúdo de umidade do solo de volta a CC. Já com a **opção 3**, o conteúdo de água do solo é fixado num valor abaixo ou acima de CC. Útil para aplicar lavagens no controle da salinidade (acima de CC) ou para acomodar possíveis chuvas (abaixo de CC). Com a **opção 4** a lâmina é fixa pelo usuário.

ESTUDO DE CASO: IRRIGAÇÃO DO MILHO NO VALE DO CURU

Para aplicar o programa CROPWAT a um caso específico utilizaram-se resultados obtidos por SANTOS¹⁰.

O trabalho de pesquisa foi realizado no período de estiagem (julho a dezembro de 1985), na Fazenda Experimental do Vale do Curu (FEVC), pertencente ao Centro de

Ciências Agrárias da UFC, em Pentecoste-CE. O solo é reconhecido como aluvial eutrófico, com valores de CC de 0,289 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ e 0,275 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$, para profundidades de 15 cm e 45 cm, respectivamente, e um valor de PM de 0,067 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$, a 15 atm, apresentando uma umidade disponível total (TAM) de 222 m/m.

SANTOS¹⁰ utilizou 4 híbridos duplos de milho (AG-162, AG-301, AG-352 e AG-401) plantados em 4 diferentes épocas (12/07, 26/07, 09/08 e 23/08) e submetidos a 4 níveis de potencial matricial do solo (-0,27 atm, -0,41 atm, -0,54 atm e -0,77 atm). Esses valores de potencial correspondem na curva característica do solo a conteúdos de umidade de 0,223 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ (RAM = 30% de TAM), 0,187 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ (RAM = 45% de TAM), 0,157 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ (RAM = 60% de TAM) e 0,135 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ (RAM = 70% de TAM).

Os dados do clima utilizados são do período 1966-1984, reportados por SANTOS¹⁰, e medidos pela Estação Agrometeorológica da FEVC. Determinou-se a evapotranspiração atual da cultura utilizando o método do balanço hídrico aplicado no tratamento I2 ($Y_m = -0,41$; RAM = 45% de TAM) da época de plantio E₄ (plantio em 23/08/85).

Estes resultados foram utilizados para um estudo comparativo com a simulação feita com o CROPWAT.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Manejo Ótimo da Irrigação

O manejo ótimo da irrigação é aquele no qual o momento de irrigar é determinado pelo nível de depleção crítica, quando a planta utiliza 100% da RAM, aqui chamada de umidade prontamente disponível do solo, e a quantidade de água aplicada é suficiente para elevar o conteúdo de umidade do solo à CC. Teoricamente, a planta não sofre estresse, sendo a ET_c igual a ET máxima, ou seja, a planta usa água a uma taxa potencial.

O resultado da aplicação do CROPWAT é apresentado na Tabela 2, onde é apresentado o calendário de irrigação do híbri-

do AG-162, plantado em 12 de julho no Vale do Curu, com manejo ótimo da irrigação, quando 30% da umidade disponível total do solo é utilizada - o que corresponde a 100% do RAM. O "output" inclui informações sobre o calendário de irrigação, a água total utilizada e a produção, permitindo uma avaliação da eficiência do calendário. Pode-se observar que, inicialmente, há informações gerais sobre os dados utilizados com detalhes sobre a cultura, data de plantio e dados de solo, assim como as opções, ou critérios, para saber quando e quanto irrigar.

O calendário de irrigação com o manejo ótimo dá como resultado intervalos e lâminas de irrigação variáveis. Analisando a Tabela 2, observa-se que o intervalo de irrigação varia de 7 dias no estádio C, a 19 dias no início do ciclo, e a lâmina líquida varia entre 27,0 mm, no início do ciclo, e 45,8 mm no estádio C, quando a cultura requer mais água. A depleção da umidade do solo fica em torno de 30%, que foi a opção escolhida de quando irrigar. Os valores de TX e de ETa permanecem iguais a 100%, demonstrando que a cultura não sofreu estresse ($ETa = ET_{max}$). Como consequência não houve redução do rendimento por déficit hídrico e a tabela de redução do rendimento não é impressa. Além do mais, as perdas e déficits foram iguais a zero. A lâmina bruta total foi de 587 mm, sendo a lâmina líquida de 469,6 mm, para uma eficiência de aplicação de 80%. A eficiência do calendário é de 100%, indicando que o manejo ótimo é o mais adequado, conduzindo a um menor número de irrigações durante o ciclo vital. A desvantagem é que os intervalos e as lâminas são variáveis, o que do ponto de vista do irrigante não é aconselhável, já que o tempo de irrigação será variável.

O CROPWAT foi aplicado aos vários tratamentos de SANTOS¹⁰ e um resumo dos resultados obtidos estão na Tabela 3.

Como se observa, os turnos de rega so variáveis, sendo de 7 a 19 dias com 30% de depleção, e de 15 a 37 dias com 70% de depleção, para o plantio realizado em 12 de julho. Se o plantio é feito em 23 de agosto, esses valores são de 6 a 11 dias

para 30%, e de 15 a 24 dias para 70%, respectivamente. O mesmo ocorre com as lâminas, que variam entre 27 e 46 mm ao nível de 30%, e entre 71 a 98 mm com 70%, para a data de plantio de 12 de julho. Por outro lado, o número de irrigação varia de 12 (em 12/7) a 13 (em 23/8), com 30% de depleção, e 5 irrigações para 70%.

O reinício das irrigações a um nível de depleção da umidade do solo de maior valor - por exemplo, a 70% - menores deve, certamente, induzir a um uso de água pela cultura a menores taxas, isto é, ETa {ET_{max}, e portanto, deve provocar reduções no rendimento da cultura. Isto, no entanto, não é evidenciado pela Tabela 3, onde se observa que ETa não varia para diferentes níveis de depleção da umidade — por exemplo, ETa = 518 mm, para o plantio realizado em 12/7 — enquanto o nível de rendimento permanece em 100%. Para analisar o efeito do estresse hídrico na redução do rendimento para diferentes níveis de depleção da umidade do solo, tornando-se necessário correr o programa CROPWAT com as diferentes opções de manejo.

Para efeito comparativo entre os híbridos, a Tabela 4, apresenta o calendário de irrigação dos híbridos AG-301, 352 e 401, com plantio em 12/7, aos 30% de depleção da umidade. Na Tabela 5, estão os parâmetros básicos da irrigação para esses mesmos híbridos, nas 4 datas de plantio e para os 4 níveis de água do solo. Os resultados são muito aproximados, sendo as diferenças devido ao maior consumo de água dos híbridos AG-301, 352 e 401 — no caso, 543 mm, com plantio em 12/7 —, em comparação ao AG-162 (518 mm).

Manejo Prático da Irrigação

O manejo prático da irrigação refere-se ao uso de intervalos e lâminas constantes, para cada estágio do ciclo vital ou para toda a estação de desenvolvimento da cultura. Isto pode acarretar perdas, redução na taxa de evapotranspiração abaixo da ET_{max} e, conseqüentemente, na redução do rendimento. Com a aplicação do programa CROPWAT pode-se testar diferentes opções de manejo. No presente estudo foram

TABELA 2 - Calendário de Irrigação do Milho (Híbrido AG-162) plantado em 12 de julho no Vale do Curu com manejo ótimo da irrigação aos 30% de depleção da umidade disponível do solo.

Cultura: Milho		Data de plantio: 12 de julho									
Solo: franco-arenoso		Umidade disponível: 222 mm/m									
		Umidade inicial: 222 mm/m									
OPÇÃO DE MANEJO:											
Quando: Irrigação aplicada aos 100% de uso da água disponível											
Quanto: Irrigação até a capacidade de campo											
Eficiência de aplicação: 80%											
No.	In-ter-ri-ga-ção	D	E	D	TX	ETA	L L	D	P	L B	V U
	ter-va-lo	a	s	e			â í	é	e	â r	a n
		t	á	p			m q		r	mu	z i
		a	g	e			i u		d	i t	ã t
			i	ç			n i		a	n a	o á
			o	ã			a d		s	a	r
				o			a		t		
		(dias)		(%)	(%)	(%)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(L/s/ha)
1	19	1 agost.	A	32	100	100	27.0	0	0	33.7	0.2
2	13	14 agost.	B	31	100	100	29.6	0	0	37.0	0.3
3	10	24 agost.	B	31	100	100	32.2	0	0	40.3	0.5
4	9	3 setem.	B	33	100	100	37.2	0	0	46.5	0.6
5	8	11 setem.	B	32	100	100	39.2	0	0	49.5	0.7
6	7	18 setem.	B	31	100	100	39.1	0	0	48.9	0.8
7	7	25 setem.	C	33	100	100	44.0	0	0	55.0	0.9
8	7	2 outub.	C	34	100	100	45.7	0	0	57.1	0.9
9	7	9 outub.	C	34	100	100	45.8	0	0	57.3	0.9
10	7	16 outub.	D	33	100	100	44.0	0	0	54.9	0.9
11	8	24 outub.	D	33	100	100	44.2	0	0	55.3	0.8
12	9	3 novem.	D	31	100	100	41.6	0	0	52.0	0.7
END	5	8 novem.	D	11	100	100					

Lâmina bruta total: 587.0 mm
 Lâmina líquida total: 469.6 mm
 Perdas: 0.0 mm

Precipitação total: 38.5 mm
 Chuva efetiva: 33.5 mm
 Perdas da Chuva: 5.0 mm

Déficit de umidade na colheita: 14.5 mm
 Suprimento Líq. retenção do solo: 484.1 mm
 ET real: 517.6 mm
 ET potencial da Cultura: 517.6 mm
 Eficiência do calendário: 100%
 Deficiência do calendário: 0.0%

Requerimento real
 de irrigação: 484.1 mm
 Eficiência de chuva: 87.0%

Não houve redução no rendimento por déficit hídrico

TABELA 3 - Parâmetros Básicos da Irrigação Determinados pelo CROPWAT para o Milho Híbridos AG-162 para 4 níveis de Depleção da Umidade do solo no Vale do Curu em Datas de Plantio (Manejo Ótimo).

Parâmetros da Irrigação	Depleção da Umidade (%)	Data de Plantio			
		12/7	26/7	9/8	23/8
Turno de Rega (dias)	30	7-19	6-13	6-11	6-11
	45	10-27	10-18	9-17	10-16
	60	13-33	13-25	13-22	13-21
	70	15-37	15-29	15-24	15-24
Lâmina (mm)	30	27-46	25-46	23-47	24-45
	45	43-66	38-67	36-66	37-67
	60	60-84	60-85	51-86	53-85
	70	71-98	67-98	63-96	64-95
No. de Irrigação	30	12	13	13	13
	45	8	8	9	9
	60	6	6	6	6
	70	5	5	5	5
Lâmina Bruta Total (mm)	30	587	616	610	606
	45	576	567	625	630
	60	571	563	552	559
	70	558	549	531	526
ETc (mm)	30	518	531	536	535
	45	518	531	536	535
	60	518	531	536	535
	70	518	531	536	535

feitos testes com o CROPWAT utilizando-se inúmeras combinações de lâminas intervalos fixos, até que se determine uma eficiência do calendário elevada (90%), combinado com pequenas reduções do rendimento da cultura (10%).

O resultado apresentado na Tabela 6, é típico de manejo prático, com ummm excesso de irrigação nos estágios iniciais (perdas entre 6,3 mm e 13,1 mm), sem estresse o que é representado por valores de TX e ETa iguais a 100%, e um nível de depleção de, no máximo, 37%. A partir do estágio III, mantidos fixos a lâmina e o turno de rega, a taxa de ET cai, chegando, aproximadamente, a metade da ET potencial, com TX variando entre 42 e 53%, no dia ante-

rior a irrigação, enquanto a ETa média no período varia entre 79 e 89%. Isto provoca déficits de água no solo que vão desde 13,2 mm até 78,7 mm. Observa-se que a ET real foi de 509 mm, enquanto que a ET potencial é de 535,3 mm, o que leva a uma eficiência do calendário de irrigação de 90,3%. As reduções no rendimento foram de 8,0% na fase II e de 7,6% na fase IV, com uma redução acumulada de 15,0%. Para o ciclo vital completo esta redução foi de 6,1%, o que significa que o rendimento relativo foi de 93,9% (Ya/Ymax). Considerando o resultado de SANTOS¹⁰ como sendo o rendimento potencial do milho para a região, em que para o híbrido AG-162, a média de produção de grãos das 4 épocas

TABELA 4 - Calendário de Irrigação do Milho (Híbridos AG-301 - 352 - 401) plantado em 12 de julho no Vale do Curu com manejo ótimo da irrigação aos 30% de depleção da umidade disponível do solo.

Solo: franco-arenoso											
Data de plantio: 12 de julho											
Umidade disponível: 222 mm/m											
Umidade inicial: 222 mm/m											
OPÇÃO DE MANEJO:											
Quando: Irrigação aplicada aos 100% de uso da água disponível											
Quanto: Irrigação até a capacidade de campo											
Eficiência de aplicação: 80%											
No.	In- ter- ri- ga- ção	D a t a (dias)	E s t á g o	D e p e ç ã o (%)	TX (%)	ETA (%)	L L m q i u n i a d a (mm)	D é f i c i a s (mm)	P e r d a s (mm)	L B â r m u i t ã a (mm)	V U a n z i ã t o á r a (L/s/ha)
1	19	1 ago.	A	31	100	100	27.3	0	0	34.1	0.21
2	12	13 ago.	B	32	100	100	32.4	0	0	40.5	0.39
3	9	22 ago.	B	32	100	100	35.8	0	0	44.7	0.58
4	8	1 set.	B	31	100	100	37.2	0	0	46.5	0.67
5	7	7 set.	B	32	100	100	40.5	0	0	50.7	0.84
6	7	14 set.	C	33	100	100	43.3	0	0	54.2	0.90
7	7	21 set.	C	34	100	100	45.8	0	0	57.2	0.95
8	7	28 set.	C	34	100	100	45.4	0	0	56.8	0.94
9	7	5 out.	D	34	100	100	45.0	0	0	56.2	0.93
10	7	12 out.	D	32	100	100	42.6	0	0	53.2	0.88
11	8	20 out.	D	33	100	100	43.4	0	0	54.3	0.79
12	9	29 out.	D	31	100	100	40.6	0	0	50.8	0.65
END	9	8 nov.	D	22	100	100					
Lâmina bruta total: 599.3 mm							Precipitação total: 38.5 mm				
Lâmina líquida total: 479.4 mm							Chuva efetiva: 34.0 mm				
Perdas: 0.0 mm							Perdas da Chuva: 4.6 mm				
Déficit de umidade na colheita: 29.4 mm											
Suprimento Líq. retenção do solo: 508.8 mm											
ET real: 542.8 mm							Requerimento real				
ET potencial da Cultura: 542.8 mm							de irrigação: 508.8 mm				
Eficiência do calendário: 100%							Eficiência de chuva: 88.1%				
Deficiência do calendário: 0.0%											

Não houve redução no rendimento por déficit hídrico

TABELA 5 - Parâmetros Básicos da Irrigação Determinados pelo CROPWAT para o Milho Híbridos AG-301, 352, 401 para 4 níveis de Depleção da Umidade do solo no Vale do Curu em 4 Datas de Plantio (Manejo Ótimo).

Parâmetros da Irrigação	Depleção da Umidade (%)	Data de Plantio			
		12/7	26/7	9/8	23/8
Turno de Rega (dias)	30	7-19	7-13	6-11	6-10
	45	10-27	9-19	9-16	10-15
	60	13-32	13-25	12-21	13-20
	70	15-35	15-29	15-25	15-24
Lâmina (mm)	30	27-46	25-47	26-46	24-46
	45	46-65	41-63	36-65	37-65
	60	63-85	58-85	55-84	54-86
	70	75-97	72-99	67-100	66-99
No. de Irrigação	30	12	13	14	13
	45	8	9	9	9
	60	6	6	7	7
	70	5	5	6	6
Lâmina Bruta Total (mm)	30	600	633	671	625
	45	598	651	644	645
	60	587	571	667	671
	70	565	563	665	662
ETc (mm)	30	543	557	563	563
	45	543	557	563	563
	60	543	557	563	563
	70	543	557	563	563
Eficiência do Calendário (%)	30	100	100	100	100
	45	100	100	100	100
	60	100	100	100	100
	70	100	100	100	100
Eficiência da Chuva (%)	30	88	88	92	85
	45	90	80	87	89
	60	90	86	93	73
	70	89	94	98	82
Nível de rendimento (%)	30	100	100	100	100
	45	100	100	100	100
	60	100	100	100	100
	70	100	100	100	100

TABELA 6 - Calendário de Irrigação do Milho (Híbridos AG-162) plantado em 23 de agosto no Vale do Curu com manejo de Irrigação Prático 10 dias de intervalo nos estágios I, II e IV e 5 no estágio III (lâmina de 40 mm).

Solo: franco-arenoso		Data de plantio: 23 de agosto Umidade disponível: 222 mm/m Umidade inicial: 222 mm/m									
OPÇÃO DE MANEJO:											
Quando: Fixado Intervalos de 10 (A)/ 10 (B)/ 10 (C)/ 10 (D) dias.											
Quanto: Fixado Irrigação Bruta de 40 mm.											
Eficiência de aplicação: 80%											
No. Ir-ri-ga-ção	In-ter-va-lo	D a t a (dias)	E s t a d o (á g r o)	D e s e m p e n h o (%)	TX (%)	ETA (%)	L L â m q u i n i d a (mm)	D é f i c i t (mm)	P e r d a s (mm)	L B â r m u i t a n a (mm)	V U a n z i t a o á (L/s/ha)
1	10	3 set.	A	35	100	100	40.0	0	13.1	50.0	0.58
2	10	13 set.	A	32	100	100	40.0	0	12.5	50.0	0.58
3	10	23 set.	A	31	100	100	40.0	0	11.2	50.0	0.58
4	10	3 out.	B	33	100	100	40.0	0	6.3	50.0	0.58
5	10	13 out.	B	37	100	100	40.0	2.3	0	50.0	0.58
6	10	23 out.	B	44	100	100	40.0	13.2	0	50.0	0.58
7	10	3 nov.	B	55	100	100	40.0	32.7	0	50.0	0.58
8	10	13 nov.	C	73	100	100	40.0	57.7	0	50.0	0.58
9	10	23 nov.	C	86	53	89	40.0	75.2	0	50.0	0.58
10	10	3 dez.	D	89	42	79	40.0	78.7	0	50.0	0.58
11	10	13 dez.	D	85	53	85	40.0	73.8	0	50.0	0.58
12	6	19 dez.	D	65	100	100					

Lâmina bruta total: 550.0 mm	Precipitação total: 31.0 mm
Lâmina líquida total: 440.0 mm	Chuva efetiva: 25.6 mm
Perdas: 43.0 mm	Perdas da Chuva: 5.4 mm
Déficit de umidade na colheita: 86.4 mm	
Suprimento Líq. retenção do solo: 526.4 mm	
ET real: 509.0 mm	Requerimento real
ET potencial da Cultura: 535.3 mm	de irrigação: 438.4 mm
Eficiência do calendário: 92.2%	Eficiência de chuva: 82.5%
Deficiência do calendário: 4.9%	

REDUÇÕES NO RENDIMENTO	A	B	C	D	Estação Completa
Reduções em ETC	0	0	6.2	15.3	4.9%
Fator de Resposta ao Rendimento	0.4	0.4	1.3	0.5	1.25%
Reduções em Rendimento	0	0	8	7.6	6.1%
Reduções Acumuladas	0	0	8	15.0	

TABELA 7 - Parâmetros Básicos da Irrigação Determinados pelo CROPWAT para o Milho Híbrido AG-162 plantado em 23 de agosto com o Manejo Prático (Lâmina e Turno de Rega Fixos).

Parâmetros Básicos da Irrigação	Intervalos de Irrigação (dias)			
	9-5*	10-7	12-8	10
Lâmina (mm)	40	40	40	40
No. de Irrigações	14	12	10	11
Lâmina Bruta Total (mm)	700	600	500	550
ETc (mm)	535	528	500	509
Eficiência do Calendário (%)	87.8	91	94.8	90.2
Eficiência da Chuva (%)	97.7	82.5	93.8	82.5
Nível de Rendimento (%)	100	98.4	91.7	93.9

* O valor menor (por exemplo 5) é o intervalo de irrigação no estágio III do ciclo da cultura; o valor maior (9) é o intervalo fixo nos demais estágios.

de plantio alcançou um valor de 6.484 kg/ha, o rendimento real seria de 6.100 kg/ha, de acordo com a relação Y_a/Y_{max} obtida com o modelo.

Com o objetivo de observar o efeito da variação do intervalo de irrigação, com manejo prático, sobre a eficiência do calendário de irrigação e do uso de água pela cultura do milho, o programa CROPWAT foi testado com diferentes opções de manejo. A Tabela 7 apresenta o resultado de 4 desses testes, com as seguintes opções: (1) turno de rega de 9 dias nas fases I, II, IV e de 7 dias na fase III; (2) turno de 12 dias nas fases I, II, IV e de 8 dias na fase III; e, (3) turno de 10 dias em todas as fases. Uma lâmina constante de 40 mm foi utilizada em todos os casos.

Os resultados demonstram que a menor eficiência do calendário é para o caso do intervalo de 599 dias; sem que ocorra redução do rendimento; porém, a lâmina bruta total é maior com o maior número de irrigações (14 no total). Por outro lado, pode-se irrigar com um calendário de 10 dias, com uma economia de 150 mm de água

(1.500 m³/ha), sendo que a eficiência do calendário é de 90,2% e o nível de rendimento é de 93,0%; este último caso é o mais prático.

Comparação entre os Resultados Obtidos e Simulados

SANTOS¹⁰ apresenta os valores médios de duas repetições dos elementos básicos da irrigação dos 4 tratamentos de irrigação por ele estudados, em 4 diferentes épocas de plantio. Para efeito comparativo entre aqueles parâmetros experimentais determinados por SANTOS e a simulação feita pelo CROPWAT, considerou-se a época de plantio E₄ (23/8) com os 4 níveis de irrigação: I₁ (30% de depleção), I₂ (45%), I₃ (60%) e I₄ (70% de depleção).

SANTOS¹⁰ aplicou uma lâmina de irrigação de 994 mm, com turno de rega de 4 dias em 22 irrigações, no tratamento I₁; para os demais tratamentos a lâmina aplicada foi de 883,2 mm com turno de 7 dias em 14 irrigações, correspondente ao I₂; 726,1 mm com intervalo de 9 dias em 10 irriga-

ções, para I₃; e, 624,4 mm com turno de 15 dias, em 6 irrigações, para I₄.

As simulações com CROPWAT indicaram que o milho pode ser irrigado, nessa região, com intervalo fixo de 10 dias e lâmina de 40 mm em cada irrigação, o que corresponde a uma lâmina bruta total de 550 mm, com eficiência de 80%, em 11 irrigações durante o ciclo. Estes resultados são comparáveis ao tratamento I₃ de SANTOS¹⁰, com 90% de eficiência, correspondendo a uma lâmina bruta de 726,1 mm, isto é, 176,1 mm acima do valor simulado. Considerando que este valor de eficiência utilizado é de difícil obtenção, na prática, e aplicando-se a seus resultados uma eficiência de 80%, como na simulação, sua lâmina bruta seria da ordem de 817 mm, ou seja, 2.670 m³/ha acima do valor simulado.

CONCLUSÕES

- 1 - A aplicação do CROPWAT, para simular calendários de irrigação ótimo, resulta em um menor número de irrigações em que não ocorre redução do rendimento. No entanto, o turno de rega e as lâminas são variáveis, o que do ponto de vista do irrigante não é recomendável, pois isto leva a tempos de irrigação diferentes em cada irrigação. A comparação dos calendários ótimo dos 2 grupos de híbridos apresentam resultados bastante aproximados.
- 2 - Um modelo de manejo computadorizado da irrigação, como o CROPWAT, permite testar diferentes opções de manejo. Os resultados da aplicação e análise de vários testes com a opção de manejo prático, demonstraram que o milho no Vale do Curu pode ser irrigado com um intervalo de 10 dias, com lâmina líquida de 40 mm em cada irrigação, em 11 irrigações. Se o sistema de irrigação for 80% eficiente, a lâmina bruta total será de 550 mm. Esse manejo induz um nível de rendimento de 93,9%, para híbridos AG-162 e de 82,1% para o AG-301 e demais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DE GÕES CALMON, R.G. Vadas. N.C. Rego e D. Raes. Computer Support Systems for Irrigation Scheduling Example: Pirapora Project (Brazil). Laboratory of Land and Management, K.V. Delven, Belgium, 8p. 1989.
2. FAO. Manual CROPWAT. M. Smith, AGLW, Rome. 1989.
3. HAGAN, R.M. r HAISE, H.R. Soil, Plant and Evaporative Measurements as a Criteria for Scheduling Irrigation. In: Irrigation of Agricultural Lands. Agronomy II: 579-604. 1967.
4. HULSMAN, R.B. Irrigating by Microcomputer. Applied Agricultural Research. 1(2):73-81. 1986.
5. JAMES, L.G. Principles of Farm Irrigation System Design. New York. John Wiley and Sons, 1988.
6. JENSEN, M.E. Scheduling with Computers. J. Soil Water Conservation. 24:193-195, 1969.
7. JENSEN, M.F., C.N. Robb e C.E. Franzoy. Scheduling Irrigation Using Climate - Crop - Soil Data. J. Irr. and Drain. Div. Proc. ASCE, Vol. 96. March, 1970.
8. MIYAMOTO, S.A. Model for Scheduling Pecan Irrigation with Computers. Trans. ASAE. 456-462, 1984.
9. SALAZAR, L.; G.H. Hargreaves e R.K. Stutler. Irrigation Scheduling Manual. Logan, Utha. International Irr. Center, 1987.
10. SANTOS, L.M.F. Efeito da Época de Plantio e do Potencial Matricial na Produtividade de Híbridos de Milho (Zea mays, L.) Cultivados sob regime de Irrigação. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 109p, 1986. (Dissertação de Mestrado).
11. SMITH, M. Use of Computers in Consumptive Water Use and Irrigation Scheduling. In: Tenth Session Regional Commission on Land and Water Use in the Near East, Amman, Jordan, dez., 1989.

12. XEVI, E. e J. Feyen. Combined Soil Water Dynamic Model (SWATRER) and Summary Crop Simulation Model (SUCROS). Belgium Laboratory of Land Management, 1989, 18p.