

# **MODELO PARA COMPUTAÇÃO DA IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR E DO NÚMERO DE DIAS TRABALHÁVEIS COM MÁQUINAS AGRÍCOLAS NA PRODUÇÃO DA SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill)\***

Gilberto C. Sedyama  
William O. Pruitt  
José Maria N. da Costa  
Salassier Bernardo\*\*

## **1. INTRODUÇÃO**

No estudo do ambiente para as plantas é interessante conhecer a quantidade de água necessária para uma cultura específica ou a variação da umidade do solo motivada pela quantidade de água utilizada por várias coberturas vegetais, principalmente porque o solo é o meio onde crescem os vegetais e é o reservatório de água e nutrientes para as plantas. Além disso, o sistema solo é o suporte mecânico das plantas e na sua superfície efetuam-se as operações com máquinas agrícolas.

As plantas não usam diretamente a água das precipitações atmosféricas que caem sobre elas, mas absorvem a água armazenada no solo por meio de suas raízes. Ainda mais, somente uma pequena porção da água absorvida permanece no tecido das plantas, a qual, virtualmente, é quase toda transportada para a atmosfera, como vapor, pelo processo conhecido como transpiração. Este processo constitui um importante mecanismo, por meio do qual as precipitações pluviométricas que caem sobre o solo retornam à atmosfera.

Evapotranspiração (ET) e crescimento de plantas estão inter-relacionados, e ambos são influenciados da mesma maneira pela variação da umidade do solo. A

---

\* Recebido para publicação em 29-12-1977.

\*\* Respectivamente, Professor Adjunto da Universidade Federal de Viçosa, Engenheiro de Irrigação da Universidade da Califórnia, Professor Assistente da Universidade Federal de Viçosa e Professor Titular da Universidade Federal de Viçosa.

quantidade de água no solo disponível para as plantas é uma função das propriedades físicas do solo, da intensidade e da frequência de precipitação e da ET. Os elementos da atmosfera que influenciam o processo da ET estão também inter-relacionados.

O estado de umidade no solo influencia não somente a resposta do crescimento de plantas, mas também as condições de operações de campo durante quase toda a época de crescimento da cultura.

Os objetivos principais deste trabalho são:

- a) Desenvolver um modelo de balanço hídrico do solo, em relação aos elementos climáticos e aos dias do ano, para a cultura da soja (*Glycine max* L.) em clima tropical subúmido.
- b) Estimar o número de dias trabalháveis para operações com máquinas agrícolas, incluindo os dias favoráveis à colheita da soja.
- c) Simular a necessidade de irrigação suplementar para a produção da soja.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. *Evapotranspiração Potencial (ET<sub>p</sub>)*

Grande número de métodos empíricos de estimativa climatológica da ET<sub>p</sub> tem sido proposto para as condições de campo. Os métodos podem ser agrupados de acordo com os principais parâmetros climatológicos usados: radiação solar, temperatura, umidade, perfil da velocidade do vento e evaporação obtida por meio de evaporímetros.

Várias técnicas têm sido também desenvolvidas para estimar a ET<sub>p</sub> a partir dos dados meteorológicos facilmente disponíveis e da latitude do lugar (variação no comprimento do dia), tais como os métodos de THORNTHWAITE (21), BLANEY e CRIDDLE (3), TURC (24) e JENSEN e HAISE (12). Outros investigadores, como PENMAN (15), THORNTHWAITE e HOLZMAN (22), SUOMI e TANNER (20) e VAN BAVEL (25), desenvolveram equações para estimar a ET potencial usando o balanço de energia e/ou aproximações aerodinâmicas.

Infelizmente, nenhuma dessas aproximações para estimar a ET potencial é geralmente aplicável a todos os propósitos. O tipo de dado necessário depende do usuário.

Quando o método empírico é calculado em relação à evaporação medida sob condições de suprimento contínuo de água, as estimativas da evaporação proporcionam razoáveis correlações quantitativas. Os métodos de radiação, temperatura e umidade são os principais estimadores empíricos da ET potencial. O sucesso do método da radiação baseia-se no fato de que o termo da radiação é raramente menor que o termo convectivo em clima úmido, e, além disso, o termo convectivo é uma função da radiação solar.

Dados meteorológicos da radiação solar ou da radiação líquida são as melhores fontes de informações. Entretanto, os dados da radiação solar são disponíveis em poucas localidades e os dados da radiação líquida somente são encontrados em centros especializados em pesquisas. Adicionalmente, muitos radiômetros são normalmente mal calibrados.

Quando as medições meteorológicas de radiação e/ou possível duração da radiação solar são disponíveis e quando a umidade relativa e a temperatura do ar são considerados parâmetros de confiança, a ET potencial pode ser estimada com boa precisão, usando-se a equação derivada por HARGREAVES (10):

$$ET_p = MF \times TMF \times CH \quad (1)$$

onde:

- ET<sub>p</sub> = evapotranspiração potencial, mm/dia,  
 MF = fator diário de latitude, que depende da radiação solar no topo da atmosfera em equivalente mm de água evaporada,  
 TMF = temperatura média do ar, em °F,  
 CH = coeficiente para umidade relativa =  $0,160 \times (100 - HM)^{1/2}$  com valor máximo de CH = 1,0  
 HM = umidade relativa média, em%.

HARGREAVES (10) introduziu um novo valor para CH (fator de correção para umidade relativa média em porcentagem), para os dados climáticos do Brasil, visando a corrigir efeito tendencioso na estimativa da média diária da umidade relativa do ar. Assim:

$$CH = 0,158 \times (100 - HM)^{1/2}, \text{ com valor máximo de } CH = 1,0 \text{ e } TMF = 32,0 + 1,8 \times TC \quad (2)$$

onde TC é a média diária da temperatura do ar, em graus centígrados.

BERNARDO (2), em seu modelo de computador para prever a irrigação suplementar em climas tropical e subtropical, usou a equação de Hargreaves para calcular a ET potencial e a necessidade de irrigação suplementar no vale do Rio São Francisco, usando médias mensais de temperatura e de umidade relativa do ar e dados diários de precipitação referentes a um período de mais de dez anos.

## 2.2. Evapotranspiração Atual (ET<sub>a</sub>)

Alguns estudiosos, como VEIHMEYER e HENDRICKSON (26), acreditam que a ET é independente da umidade disponível no solo até o limite em que atinge o ponto de murcha permanente, enquanto outros investigadores admitem que a taxa de ET é proporcional à umidade disponível no solo para as plantas. THORNTWHAITE e MATHER (23) sugeriram um declínio linear na ET com o decréscimo do teor de umidade do solo a partir da capacidade de campo até o ponto de murcha permanente.

PIERCE (16) mostrou que a ET apresenta relação curvilínea, decrescendo a determinada razão até que a umidade na região radicular da planta atinja o ponto de murcha permanente. Ele considera que a ET cessa ou diminui até um valor desprezível próximo ao ponto de murchamento das plantas.

Em adição aos fatores meteorológicos que influenciam a ET, a perda real de água por evaporação e por transpiração é fortemente controlada pela quantidade de água disponível no solo. Quando todos os fatores são considerados, parece que a ET tende a ser proporcional à quantidade total de água disponível no solo, sendo a ET atual, neste particular, uma função de decréscimo possivelmente similar à forma curvilínea apresentada por PIERCE (16).

## 2.3. Necessidade de Irrigação Suplementar

Informações climatológicas referentes a um longo período têm sido usadas qualitativamente no estabelecimento ou no manejo de uma atividade de irrigação. Relativamente a projetos de irrigação, há vários exemplos de decisões baseadas em estimativas numéricas na literatura.

Em clima subúmido é possível um uso mais efetivo da distribuição estacional da chuva, quando a irrigação suplementar pode ser aconselhada. Tal sistema de

irrigação minimiza a lixiviação dos elementos nutritivos e promove uma programação de irrigação mais eficiente. Possibilita também um decréscimo na probabilidade de encontrar casos de deficiência prolongada da umidade do solo durante o período crítico do crescimento da planta.

Muita atenção tem sido dada à programação de irrigação a partir das estimativas da ET baseadas nos parâmetros climatológicos, como mostram os trabalhos de PRUITT (17), FRANZOY e TANKERSLEY (6) HALL e BUTCHER (9), JENSEN (11) e HAISE e HAGAN (8). Basicamente, esta programação de irrigação envolve: a) estimativa da ET atual a partir da ETp medida ou computada para uma cultura específica em diferentes estágios de crescimento, usando-se um coeficiente apropriado para o fator uso de água pelas plantas, b) estimativa ou medida da capacidade do solo para armazenar água na região radicular da planta e da quantidade de água que pode ser usada pelo processo da ET sem influência negativa na atividade de crescimento da planta nas condições prevalentes.

Esta pesquisa visa a quantificar informações concernentes à distribuição dos parâmetros climáticos para orientar decisões relativas à prática de irrigação suplementar na produção da soja, em termos de número de irrigações, quantidade de água para irrigação e época de irrigação durante o período de crescimento.

Nas áreas de clima subúmido do Brasil, a técnica de irrigação tem sido baseada em princípios desenvolvidos em outros países. Um progresso mais intenso será possível se o desenvolvimento da prática de irrigação for baseado em pesquisas conduzidas nas áreas em questão.

A programação da irrigação suplementar depende das condições climáticas. Em muitas áreas do Brasil a estação de crescimento da soja corresponde a um período de razoável quantidade de precipitação. Em alguns anos tem sido possível obter alta produtividade de soja sem irrigação, enquanto que em outros as produções são grandemente reduzidas.

Neste modelo de irrigação suplementar, o critério usado para o turno de rega baseia-se somente no balanço de água no solo. Uma estimativa da água usada, em referência à capacidade de campo, é computada e a irrigação suplementar é aplicada se a umidade no solo for menor que um valor preestabelecido e se não houver previsão de chuva para o período.

Resultados de muitos experimentos indicam que não ocorrerão reduções elevadas nas colheitas se não se permitir que a umidade disponível no solo vá abaixo de 50% ou mesmo 40% da capacidade máxima de água disponível no solo.

#### *2.4. Número de Dias Trabalháveis no Campo*

Se um conjunto específico de máquinas deve ser usado na execução de um conjunto de operações agrícolas numa fazenda de determinado tamanho, o número de dias em condições de trabalho no campo com maquinaria agrícola e o número de horas de trabalho por dia podem ser parâmetros importantes para auxílio aos fazendeiros nos critérios de aquisição de máquinas agrícolas. São também muito úteis para programar as operações de campo a serem executadas, em termos de época de plantio e ordem em que as operações devem ser executadas.

O tempo atmosférico e a umidade no solo estão intimamente associados com vários problemas de ambiente, agricultura e engenharia. O solo é o meio onde crescem as plantas e serve como suporte de tráfego das máquinas para as operações agrícolas durante todo o período da época de crescimento das plantas.

Pesquisas sobre a resposta de sistemas agrícolas a vários fatores ambientais proporcionam maior flexibilidade ao processo de tomada de decisões para investimentos, com retornos que são funções das condições ambientais. Isto inclui a maioria das práticas agrícolas que visam à obtenção de produtos animais e vege-



tais.

ELLIOT e HUNT (5) usaram um modelo de balanço de água em dois solos com diferentes características para prever o número de dias próprios para a aração. O critério utilizado para a escolha do dia conveniente para se fazer o trabalho com o arado, para cada tipo de solo, foi definido como sendo a porcentagem de umidade no perfil do solo, com duas camadas, até a profundidade de 91 cm. Para o solo com capacidade de armazenamento de água de 3,25 cm na primeira camada de 15 cm de solo e 16,7 cm de água na camada inferior de 76 cm, o critério para determinar as condições necessárias para se fazer o trabalho de aração foi que o solo contivesse 80% de umidade. Para o tipo de solo com 2,54 cm de capacidade de água disponível na camada superior e 5,92 cm na camada inferior, o critério utilizado foi 90 por cento de umidade no solo. Os mesmos autores incluíram critérios baseados em precipitação diária, considerando que a aração não é possível em dias com 5,1 mm de chuva ou mais, independentemente da porcentagem de água na primeira camada de solo até a profundidade de 15 cm.

FRISBY (7) desenvolveu um programa de computador para prever se o dia pode ser considerado bom para o trabalho de campo com respeito às precipitações diárias, condições de tempo reinantes e relações de secagem do solo. Ele classificou como próprio para a aração o dia em que o conteúdo de umidade no solo fosse menor ou igual à capacidade de campo e a quantidade de chuva fosse menor que 2,54 mm. Usou também uma amostra máxima de um período de cinco dias para estudar a probabilidade da 'cadeia de Markov' e definiu o fenômeno da persistência de bons dias de trabalho calculando a probabilidade inicial de transição para os intervalos de cinco dias sucessivos de um longo período de dados meteorológicos.

SHAW (19) usou a técnica de balanço de umidade no solo para estimar o conteúdo de umidade na primeira camada de 15 cm de solo como critério para selecionar dias trabalháveis no campo. Ele considerou que o solo era trabalhável nos dias em que o solo não estava congelado e a umidade era igual ou menor que 18 mm na primeira camada de 15 cm do perfil do solo. Ele considerou também limites de precipitação para selecionar os dias adequados ao trabalho no campo.

CARPENTER e BROOKER (4) usaram modelos de mobilidade de veículos para classificar os dias próprios para a colheita do milho. Eles determinaram os dias como ideais para a colheita do milho por meio da inter-relação entre precipitação, temperatura média do ar e camada de neve inferior a 25,4 mm.

AYRES (1) define trafegabilidade de veículo como a capacidade de uma máquina desenvolver satisfatoriamente, no campo, as funções primárias.

Também usou o modelo de mobilidade de veículos, que incluía as condições de umidade no solo na primeira camada de 15 cm, para a colheita mecânica do milho. Ele computou a mobilidade do veículo para cada semana por meio do modelo da primeira ordem da probabilidade da 'cadeia de Markov', que permitiu calcular os efeitos aleatórios do tempo climático na atividade das máquinas agrícolas no campo.

### 3. DESENVOLVIMENTO DO MODELO

#### 3.1. O Modelo do Balanço de Umidade no Solo

Desenvolveu-se um procedimento para determinar o balanço de umidade no solo, relacionando-se o valor diário da ET atual, as características de crescimento das raízes de soja, a disponibilidade de água no solo durante o período de crescimento da cultura e a probabilidade de distribuição de chuvas.

O processo prático para estimar a ET atual é usar a ET potencial baseada na

equação de Hargreaves a partir dos dados simulados de temperatura média e umidade relativa diária, de acordo com o modelo de SEDIYAMA (18). A ET atual é o produto da ET potencial simulada pelo coeficiente de umidade do solo.

$$ETa = K \times ET_p \quad (3)$$

onde:

ETa = evapotranspiração atual, mm/dia,  
K = coeficiente de umidade no solo,  
ETp = evapotranspiração potencial, mm/dia.

A seguinte função, apresentada por BERNARDO (2), é utilizada para computar o coeficiente de umidade no solo, a qual representa uma curva do tipo sugerido por PIERCE (16):

$$K = \frac{\ln (ASM + 1)}{\ln (TSW + 1)} \quad (4)$$

onde:

Ln = operador do logaritmo natural,  
ASM = água disponível no solo no dia anterior, em mm,  
TSM = água disponível no solo na capacidade de campo, isto é, quantidade máxima de água disponível, em mm.

Como a capacidade do solo para armazenar a água para as plantas depende da característica de crescimento das raízes durante a época de crescimento, usaram-se, neste modelo, os dados fornecidos por MITCHELL e RUSSEL (14) para o caso da soja. Entretanto, para o propósito de irrigação suplementar, considerou-se uma relação linear de crescimento das raízes da soja, iniciando-se na primeira camada de 15 cm de solo na época do plantio e continuando até a profundidade de 90 cm após três meses do plantio.

Quanto à irrigação suplementar, a decisão baseia-se nos resultados do valor simulado da ocorrência de precipitação para o próximo dia, obtidos pelo modelo de probabilidade da 'cadeia de Markov' de distribuição de chuvas, de acordo com SEDIYAMA (18), e do balanço de água no solo, determinado pelo modelo simplificado de JENSEN *et alii* (13):

$$SMD (I + 1) = SMD (I) + ETa - RFD - IR \quad (5)$$

onde:

SMD (I) = umidade retirada do solo até o final do dia I, mm/dia,  
SMD (I + 1) = umidade retirada do solo até o final do dia I+1, mm/dia,  
ETa = evapotranspiração atual, mm/dia,  
RFD = precipitação efetiva simulada, mm/dia.

### 3.2. Irrigação Suplementar

O procedimento para determinar o balanço de água no solo leva em consideração a precipitação diária simulada, a irrigação suplementar e a ET atual para

computar a retirada de umidade do solo. Para esse estudo, o conteúdo total de umidade no intervalo entre capacidade de campo e ponto de murcha permanente varia de 15, 30, 40, 50 e 60 mm para cada 30 cm de profundidade, de acordo com o tipo de solo, supondo-se que o perfil do solo seja uniforme.

No final de cada dia a equação do balanço de umidade no solo recebe valores de quatro variáveis: 1) precipitação efetiva para o próximo dia, que é a quantidade de chuva simulada, correspondendo a um valor igual ou menor que o total de água disponível no solo para cada fase de crescimento da soja, 2) ET atual computada, 3) quantidade de água retirada do solo a partir do dia anterior e 4) irrigação suplementar durante as 24 horas anteriores.

A decisão de irrigar é tomada quando a quantidade de água retirada do solo corresponde a 50 ou 60 por cento do valor total da água disponível. São estes os valores mais comuns usados em projetos de irrigação.

A quantidade de água correspondente a 50 ou 60 por cento de umidade retirada representa a quantidade de água a ser aplicada para o período em questão. Se a decisão for não irrigar, calcula-se a umidade remanescente no solo no final do dia.

### 3.3. *Procedimento para Estimar o Número de Dias Trabalháveis para Operações com Máquinas*

Desenvolveu-se também um modelo de balanço de água para os primeiros 15 cm do perfil do solo durante o período de crescimento da soja para prever os dias favoráveis ao trabalho de campo. Para cada dia, a partir do dia 28 de setembro, estimou-se a umidade disponível no solo, usando-se a técnica do balanço hídrico do solo.

Considerou-se que um dia seria favorável ao trabalho de campo quando a água disponível fosse igual ou menor que 90 por cento da capacidade de campo na primeira camada de 15 cm de solo. O modelo considera também que um dia com 5,0 mm ou mais de chuva é um mau dia para o trabalho, independentemente da quantidade de água disponível nos 15 cm de solo.

Os valores dos parâmetros climáticos dos dias anteriores são também incluídos no critério de seleção de dias favoráveis ao trabalho com máquinas. Qualquer dia que apresente precipitação de 10,0 mm ou mais no dia anterior é classificado como um mau dia para operações de campo. Por outro lado, qualquer dia com precipitação superior a 0,2 mm e 2,0 mm ou mais no dia anterior é registrado também como um mau dia. O último critério adotado, deve-se ao fato de que dois dias consecutivos com chuva caracterizam o fenômeno da persistência das condições do tempo do dia anterior. Isto indica que a precipitação poderia interferir nas operações normais com máquinas, independentemente da quantidade de água nos 15 cm de solo.

Várias outras combinações de parâmetros para condições de umidade no solo e quantidade de precipitação em qualquer dia ou em dias anteriores também podem ser incluídas no modelo como condições adversas do ambiente às operações com máquinas.

O preparo do solo e a época de plantio da soja são limitados pelo período de tempo entre primeiro de outubro e 31 de dezembro, inclusive, e a época de colheita é limitada ao período de primeiro de abril a 6 de junho.

## 4. APLICAÇÃO DO MODELO

### 4.1. *Quantidade de Irrigação Suplementar*

O Quadro 1 mostra os resultados do modelo aplicado para as três áreas sele-

cionadas no Estado de Minas Gerais: Viçosa, Lavras e Pirapora. Os valores da quantidade de irrigação aplicada foram computados para a média de um período de dez anos, em base semanal. Foi considerada, no modelo, a necessidade de irrigação para 50 por cento da capacidade total de água disponível no solo para a soja.

QUADRO 1 - Necessidade de irrigação suplementar (em mm), usando-se dez anos de dados climatológicos simulados, para a época de crescimento.

Número da Semana	Lavras	Viçosa	Pirapora
37	17.9	14.1	23.2
38	10.8	3.4	18.0
39	0.0	17.3	17.8
40	15.6	7.3	18.8
41	9.6	8.7	10.7
42	6.4	9.8	14.1
43	7.4	11.8	4.0
44	4.7	15.6	21.2
45	4.9	24.4	17.1
46	0.0	8.7	25.5
47	3.9	5.9	5.2
48	0.0	11.0	24.8
49	11.2	6.4	4.7
50	0.0	0.0	11.7
51	6.3	24.7	12.1
52	12.5	18.5	18.4
1	0.0	18.4	30.7
2	0.0	0.0	6.1
3	6.0	0.0	12.4
4	6.2	0.0	37.2
5	0.0	0.0	18.5
6	18.2	12.5	30.7
7	6.1	6.2	12.3
Total	147.7	224.7	395.2

Pode-se verificar, pelo resultado mostrado no Quadro 1, que a necessidade de irrigação suplementar para a cultura da soja varia de um local para outro e que parece não haver correlação entre a quantidade de irrigação para um clima em relação a outro e a época da estação de crescimento.

Os resultados do modelo de irrigação suplementar também indicam uma tendência quase linear no aumento da necessidade total de irrigação para a época de crescimento da soja, motivada somente pelas condições ambientais, na seguinte ordem: Lavras, Viçosa e Pirapora. Esta tendência de variações da quantidade de água a ser aplicada no espaço e no tempo sugere a necessidade de pesquisas direcionadas para o estudo da distribuição de parâmetros climáticos em área subtropical, para o ajuste de qualquer sistema de produção agrícola com a distribuição dos parâmetros climáticos para dado local durante o curso de uma estação.

#### 4.2. Dias Favoráveis para Operações com Máquinas Agrícolas

Conduziu-se o balanço de umidade na primeira camada de solo durante todo



o período de crescimento da soja. Os parâmetros climáticos simulados referentes a um período de dez anos serviram de dados básicos para o modelo. O programa de computador foi estruturado para determinar se um dia era ou não favorável ao trabalho com máquinas, com relação à precipitação no dia precedente, condições de tempo reinantes e relações de disponibilidade de água no solo.

A forma geral da curva traçada com os números de dias trabalháveis com relação à época de crescimento da soja está mostrada na Figura 1, que indica o número simulado de dias favoráveis ao trabalho de campo com maquinaria agrícola durante as semanas climatológicas 31 a 14 durante dez épocas de crescimento.

Para permitir uma programação mais precisa das operações de campo, que se podem estender a períodos maiores que uma semana, os valores semanais simulados foram combinados a períodos de quatro semanas. Domingo não foi incluído no procedimento de computação.

a) *Dias favoráveis ao preparo do solo e ao plantio da soja:* — Os resultados do número médio de dias favoráveis ao trabalho de campo, mostrados na Figura 1, durante os períodos multissemanais, indicam que o número de dias trabalháveis decrescem na seguinte ordem, para as três áreas selecionadas: Pirapora, Viçosa e Lavras. Isto ocorre durante os meses da primavera, de outubro a meados de dezembro, período em que é executada a maioria das operações agrícolas (preparo do solo e plantio) nessas áreas.

b) *Dias favoráveis à colheita:* — A estimativa do número de dias trabalháveis no campo para a colheita da soja também pode ser vista na Figura 1. A forma da curva traçada com os dados simulados mostra um decréscimo em número de dias trabalháveis na seguinte ordem: Pirapora, Lavras e Viçosa. Estes resultados ilustram a grande utilidade das estimativas de dias favoráveis ao trabalho de campo baseadas em áreas microclimáticas individuais, porque cada registro da estação climatológica reflete somente as condições de tempo local que talvez não tenham ocorrido em outros locais mais próximos.

## 5. RESUMO

O modelo, programado para um computador digital na linguagem FORTRAN, foi aplicado para três áreas selecionadas no Estado de Minas Gerais, onde os registros de dados meteorológicos de longo período eram disponíveis. As áreas selecionadas foram Viçosa, Lavras e Pirapora.

Nestas áreas de clima subtropical, o ano pode ser subdividido em inverno e verão, correspondentes às estações seca e úmida, respectivamente.

Computou-se o balanço de umidade no solo a partir do dia primeiro de outubro ao dia 31 de maio, considerando-se o solo na capacidade de campo no dia primeiro de outubro. Mesmo não sendo este um caso real, a chuva esperada durante o mês de outubro fez com que o conteúdo de água no solo atingisse a capacidade de campo, proporcionando uma suavização da curva, motivada pelo efeito das condições iniciais.

Valores simulados de dez anos de parâmetros climáticos foram usados como dados básicos para o modelo. O modelo completo foi programado para simular a irrigação suplementar e o número de dias trabalháveis no campo com maquinaria agrícola.

Demonstrou-se a necessidade de irrigação suplementar pelo modelo de simulação se o objetivo for aumentar as produções agrícolas nas três áreas selecionadas, visto que essas regiões, mesmo com condições climáticas que permitam o cultivo da soja, passam por períodos de seca (veranico) durante a época de crescimento. Como se sabe, projetos de irrigação suplementar não podem ser usados extensivamente de maneira econômica em climas subúmidos e novas pesquisas

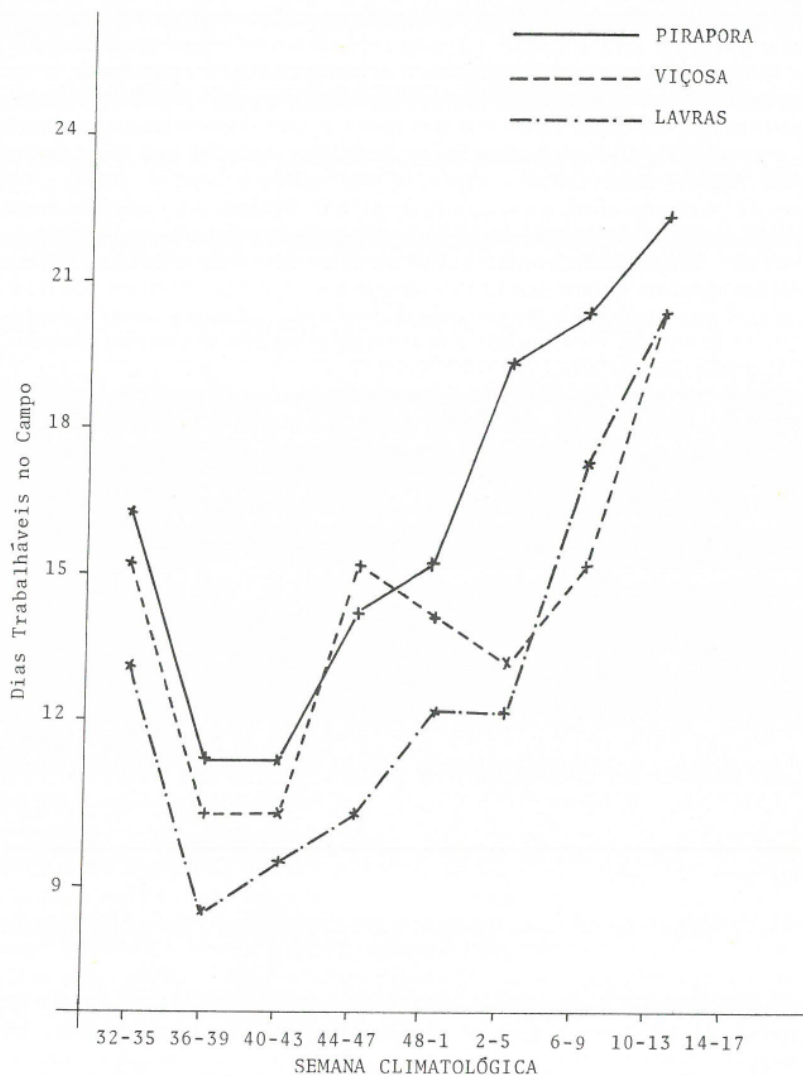


FIGURA 1 - Número médio de dias favoráveis ao trabalho de campo para cada período de quatro semanas combinadas.

devem ser direcionadas para o uso mais efetivo das condições existentes de distribuição de chuvas, baseadas nas características específicas e individuais da área agricultável.

O modelo de balanço hídrico no solo também foi aplicado até a profundidade de 15 cm no solo, para as três áreas selecionadas, com diferentes características climáticas. O critério para definir dia trabalhável foi 90 por cento de umidade disponível no solo ou menos. Também foram incluídos no modelo critérios baseados em dados diários de precipitação e ocorrência ou não de chuva no dia anterior.

Os resultados do número simulado de dias favoráveis ao trabalho de campo implicam que o sistema de máquinas para o preparo do solo e para o plantio deve ter maior capacidade diária em Lavras que em Viçosa e Pirapora. Indicam também que o sistema de máquinas para a colheita da soja deve ter maior capacidade diária em Viçosa que em Lavras e Pirapora, para que se obtenha a mesma probabilidade de executar cada operação agrícola em determinada área no mesmo período de tempo. Sob condições intensivas de práticas culturais em fazendas, a programação de operações com máquinas torna-se pre-requisito fundamental para o uso eficiente de máquinas e de mão-de-obra.

## 6. SUMMARY

The model containing stochastic components has proved to be a powerful tool in simulation of soil moisture balance, supplemental irrigation water requirements and days suitable for machinery operations.

From simulated potential ET rates, a simple soil moisture balance model was developed to predict days suitable for field work. A general probability model for making daily decisions of supplemental water requirement was also formed by combining available soil moisture information and 50% soil moisture depletion levels with weather forecast data.

Number of days suitable for field work estimated from the simulation model have shown that unwanted rains in subtropical climates could hold up cultivating and harvesting operations until the soil is dry enough to support tractors and implements. The computed number of suitable work days at selected areas for each four-week period has been shown to be very useful in planning and scheduling labor and machinery during critical field periods.

The reduction of days suitable for planting, cultivation and harvesting from one district to another is of profound economic significance because the number of implement days required to complete the job depends on the number of days suitable for field work.

## 7. LITERATURA CITADA

1. AYRES, G.E. *A simulation model for predicting days suitable for corn harvesting*. St. Joseph, Michigan, ASAE, 1975. 14 p. (ASAE paper No. 75 — 1502).
2. BERNARDO, S. *A computerized model to predict supplemental irrigation in tropical and subtropical climate*. Logan, Utah State University, 1975. 153 p. (Ph.D. Dissertation).
3. BLANEY, H.F. & CRIDDLE, W.D. *Determining water requirement in irrigated areas from climatological data*. Washington, DC, USDA, Soil Conservation Service, 1950. 48 p. (Technical paper No. 96).

4. CARPENTER, M.L. & BROOKER, D.B. Minimum cost machinery system for harvesting drying and storing shelled corn. *Transaction of the ASAE*. 15:515-519. 1972.
5. ELLIOT, R.L., & HUNT, D.R. A simulation model for predicting available days for tillage. St. Joseph, Michigan, ASAE, 13 p. (ASAE paper No. 75-1501).
6. FRANZOY, C.E. & TANKERSLEY, E.L. Predicting irrigation from climatic data and soil parameters. *Transactions of the ASAE*. 13:814-816. 1970.
7. FRISBY, J.C. Estimating good working days available for tillage in central Missouri. *Transaction of the ASAE*. 13:641-643. 1970.
8. HAISE, H.R. & HAGAN, R.M. Soil, plant and evaporative measurements as criteria for scheduling irrigation. In: Hagan, R.M., Haise, H.R. & Edminster, T.W. ed. *Irrigation of Agricultural Lands*. Wisconsin, ASA, 1967. p. 577-604.
9. HALL, W.A. & BUTCHER, W.S. Optimal timing of irrigation. *ASCE — Journal of Irr. and Drainage Division*. 94:267-275. 1968.
10. HARGREAVES, G. H. *Potential evapotranspiration and irrigation requirements for Northeast Brazil*. Logan, USAID — Utah State University. Contract No. IAD/csd-2167, 1974. 55 p.
11. JENSEN, M.E. Water consumption by agricultural plants. In: Kozlowski, T.T. ed. *Water Deficit and Plant Growth*. Vol.II. New York, Academic Press, 1968. p. 1-22.
12. JENSEN, M.E. & HAISE, H.R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. *ASCE — Journal of Irr. Drainage Division*. 89:15-41. 1963.
13. JENSEN, M.E., ROBB, D.C.N. & FRANZOY, C.E. Scheduling irrigation using climate-crop-soil data. *ASCE — Journal of the Irr. and Drainage Division*. 96: 25-38. 1970.
14. MITCHELL, R.L. & RUSSEL, W.J. Root development and rooting pattern of soybeans (*Glycine max* L. Merrill) evaluated under field conditions. *Agron. Journal*. 63:313-316. 1971.
15. PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings Royal Society*. Series A. 193:120-145. 1948.
16. PIERCE, L.T. *Estimating seasonal and short term fluctuation in evapotranspiration from meadow crops*. Washington, DC, American Meteorological Society, 1958. 78 p. (Bulletin No. 39.).
17. PRUITT, W.O. Evapotranspiration — A guide to irrigation. *California Turfgrass Culture*. 14:27-32. 1964.
18. SEDIYAMA, G.C. *Simulation of subtropical environmental parameters for modeling irrigation requirements, machinery timeliness factors and production response of soybeans*. Davis, University of California, Graduate Division, 1977. 119 p. (Ph. D. Dissertation).



19. SHAW, R.L. Estimation of field working days in spring from meteorological data. *Iowa State Journal of Science*. 39:393-402. 1965.
20. SUOMI, V.E. & TANNER, C.B. Evapotranspiration estimates from heat-budget measurements over a field crop. *Trans. Amer. Geophys. Union* 39:298-304. 1958.
21. THORNTHWAITTE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*. 38:55-94. 1948.
22. THORNTHWAITTE, C.W. & HOLZMAN, B. *Measurements of evaporation from land and water surfaces*. Washington, DC, USDA, 1942. 75 p. (Technical Bulletin No. 817).
23. THORNTHWAITTE, C.W. & MATHER, J.R. The water budget and its use in irrigation. In: *U.S. Department of Agriculture Yearbook*. Washington, D.C. USDA, 1955. p. 346-358.
24. TURC, L. Le bilan d'eau des sols: relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement. *Sols Africains* 3:138-172. 1954.
25. VAN BAVEL, C.H.M. Potential evaporation: The combination concept and its experimental verification. *Water Resources Res.* 2:455-467. 1966.
26. VEIHMEYER, F.J. & HENDRICKSON, A.H. Does transpiration decrease as the soil moisture decreases? *Transactions, American Geophysical Union*. 36: 425-448. 1955.