

**INPE-5513-NTC/309**

**MODELOS DE PREVISÃO DE SAFRA AGRÍCOLA PARA A CULTURA DE  
MILHO NA MICRORREGIÃO DE RIBEIRÃO PRETO-SP**

**Sherry Chou Chen**

**INPE  
SÃO JOSÉ DOS CAMPOS  
Junho de 1993**

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-5513-NTC/309

MODELOS DE PREVISÃO DE SAFRA AGRÍCOLA PARA A CULTURA DE  
MILHO NA MICRORREGIÃO DE RIBEIRÃO PRETO - SP

Sherry Chou Chen

INPE  
São José dos Campos  
Junho de 1993

528.711.7:63

CHEN, S.C.

Modelos de previsão de safra agrícola  
para a cultura de milho na microrregião  
de Ribeirão Preto-SP. / S.C. Chen.-- São  
José dos Campos: INPE, 1993. 15p.--  
(INPE-5513-NTC/309)

1. Previsão de safra. 2. Milho.  
3. Modelos. I. Título

## RESUMO

A área plantada e o rendimento esperado são dois parâmetros essenciais para estimar a produção agrícola num sistema de previsões de safras. Neste trabalho, três abordagens, duas utilizando modelos empírico-estatísticos e a terceira, modelo de simulação do crescimento de cultura, foram comparadas para estimar rendimento de milho na microrregião de Ribeirão Preto. Os resultados demonstram que o primeiro modelo empírico-estatístico foi o melhor, devido à simplicidade na modelagem e os baixos erros de estimativa.

MODELOS DE PREVISÃO DE SAFRA AGRÍCOLA PARA A CULTURA DE  
MILHO NA MICRORREGIÃO DE RIBEIRÃO PRETO-SP

ABSTRACT

To forecast production of a specific crop, its area and yield have to be estimated in advance. In this study a comparison was made using three different approaches to estimate corn yield of the micro-region Ribeirão Preto in São Paulo State. The first two approaches were based on yield-weather modelling using monthly meteorological data while the third used a growth simulation model (CERES-MAIZE). Results show that the first yield-weather model is better due to its simplicity of modelling in addition to the low yield estimation errors of the independent test data set.

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE TABELAS .....	xi
1 <u>INTRODUÇÃO</u> .....	1
2 <u>OS MODELOS USADOS PARA PREVISÃO DE RENDIMENTO DE CULTURAS</u> .....	2
2.1 - Modelo de simulação do crescimento de cultura....	2
2.2 - Modelo de análise clima-cultura.....	2
2.3 - Modelo empírico-estatístico.....	2
3 <u>ESTUDO COMPARATIVO DOS MODELOS DE PREVISÃO DE RENDIMENTO DE MILHO NA MICRORREGIÃO RIBEIRÃO PRETO</u> .....	3
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	8

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
1 - Comparação dos modelos usados nos estudos de Chen et al. (1980) e Costa (1992).....	4
2 - Relação das variáveis incluídas no arquivo dos dados meteorológicos do modelo Ceres-Maize.....	5
3 - Relação das variáveis incluídas no arquivo dos parâmetros não-meteorológicos do modelo Ceres-Maize	5
4 - Produtividades observadas e simuladas pelo modelo Cere-Maize (em kg/ha) e suas respectivas diferenças e erros percentuais para o cultivar AG401....	6

## 1 INTRODUÇÃO

A produção agrícola é altamente vulnerável às variações climáticas. Nas últimas décadas numerosos projetos de pesquisa e publicações têm sido divulgados sobre a relação clima-cultura e várias técnicas estatísticas e matemáticas foram utilizadas para construir os modelos de clima-cultura. Os técnicos envolvidas nesta modelagem são agrometeorologistas, agrônomos, ecólogos, economistas entre outros. Tanto as suas formações acadêmicas como as abordagens por eles utilizadas em suas pesquisas são bastante diferenciadas. Como o assunto clima-cultura é de interesse geral para os pesquisadores das mais diversas áreas, é essencial encontrar uma definição clara do conceito "modelo" na discussão das abordagens da relação clima-cultura.

Na primeira parte deste estudo, são apresentadas e discutidas a definição de modelo e a revisão dos métodos utilizados na relação clima-cultura. Na segunda parte, são comparados os resultados de dois trabalhos relativos à previsão de rendimento de milho na microrregião de Ribeirão Preto desenvolvidos por Chen (1980) e Costa (1992). Por último, são discutidas as vantagens e as desvantagens destes modelos usados nos estudos de Chen et al. (1980) e Costa (1992).

Nas ciências físicas o conceito "modelo" é usado para fornecer uma explicação de algum fenômeno e postular os processos inerentes deste fenômeno sobre inspeção (Yarranton, 1971).

De acordo com Mead (1971), o uso de polinômios de alto grau na representação de processos biológicos deve ser denominado como uma "representação matemática" ao invés de modelo. Entretanto, a distinção entre a representação matemática para descrever um fenômeno biológico e um modelo com suas propriedades específicas usualmente associadas nas ciências físicas não foi feita na Ecologia e na Agrometeorologia. Os modelos clima-cultura são representações das relações complexas entre o clima e o crescimento da cultura através de técnicas matemáticas e/ou estatísticas. Vários autores usaram diversas terminologias para classificar os modelos clima-cultura (ref. Tabela 1, Baier, 1979).



## 2 OS MODELOS USADOS PARA PREVISÃO DE RENDIMENTO DE CULTURAS

### 2.1 - MODELO DE SIMULAÇÃO DO CRESCIMENTO DE CULTURA

Este modelo é uma representação matemática simplificada de mecanismos complexos físicos, químicos e fisiológicos causados pelo crescimento da planta. O modelo se utiliza de equação matemática para simular os impactos de variações meteorológicas tais como radiação, temperatura, vento, umidade, precipitação etc. sobre a matéria seca acumulada pela planta através dos processos de fotossíntese, transpiração e respiração. Os modelos de simulação do crescimento da cultura do milho são: CERES-Maize (versão padrão e nitrogênio); CORNF; CORNAP e COFARM (Joyce et al. 1988).

### 2.2 - MODELO DE ANÁLISE CLIMA-CULTURA

Este tipo de modelo relaciona dados diários de umidade de solo, evapotranspiração e outras informações derivadas com o desenvolvimento morfológico, crescimento vegetativo ou rendimento da cultura. Em outras palavras, trata-se de um modelo que indica as reações acumuladas da cultura de acordo com as variações agrometeorológicas em função de tempo ou estágio de desenvolvimento. Um sub-modelo para monitorar o estágio de desenvolvimento até a maturidade é freqüentemente incorporado neste modelo. Os exemplos deste modelo podem ser encontrados nos estudos de Baier (1973) e Haun (1974).

### 2.3 - MODELO EMPÍRICO-ESTATÍSTICO

O modelo empírico-estatístico utiliza dados meteorológicos históricos e de produções agrícolas de uma determinada região para estimar os coeficiente da equação através das técnicas de regressão. A validade e potencialidade deste modelo depende da representatividade dos dados históricos, da seleção de variáveis e da forma do modelo escolhido. Esta abordagem, muitas vezes, não consegue explicar a relação causa-efeito, porém é um procedimento viável para indicar a produção esperada baseada nos dados históricos.

### 3 ESTUDO COMPARATIVO DOS MODELOS DE PREVISÃO DE RENDIMENTO DE MILHO NA MICRORREGIÃO RIBEIRÃO PRETO

No estudo desenvolvido por Chen et al. (1980) o modelo empírico-estatístico foi aplicado na DIRA (Divisão Regional Agrícola) Ribeirão Preto baseado em dados históricos meteorológicos mensais no período de 1957 a 1975. A variável meteorológica mensal mais importante que influenciou o rendimento do milho foi a evaporação total cujo coeficiente de correlação encontrado foi significativo em cinco dos seis meses estudados. Todas as variáveis meteorológicas analisadas relativas ao mês de dezembro foram significativas, demonstrando que este é um mês crítico para a produção de milho. O modelo explicou 91% da variação do rendimento de milho usando uma variável meteorológica (i.e. a diferença (DN) do somatório da evaporação total dos meses de outubro a março ( $ET_{om}$ ) em relação à sua média no período 1957-1975) e outra variável "dummy" da tendência tecnológica (TT). Para os anos de teste independentes (1975-1978), os erros da previsão variavam entre 1,97 a 4,32% com uma média 3,97% quando extrapolava o modelo. Entretanto a exatidão da estimativa para a safra atual poderia ser aperfeiçoada recorrendo aos dados históricos disponíveis até o ano anterior da previsão para calcular os coeficientes de regressão. A previsão do rendimento de milho, para o ano-safra 1979, da DIRA Ribeirão Preto, foi estimada em 2527,89 kg/ha; ou seja, uma superestimativa de 5%. O modelo usado tem a seguinte equação:

$$Y = 1466,39 + 16,98 DN ( ET_{om} ) + 43,64 TT \quad (1)$$

Costa (1992) analisou um conjunto de dados relativos ao período de 1968-1986 e ajustou uma equação de regressão linear múltipla com 5 variáveis meteorológicas além da tendência tecnológica. As 5 variáveis são: a temperatura máxima de dezembro (TX4); o déficit hídrico em janeiro (dh5); e o excesso hídrico em janeiro (eh5), fevereiro (eh6) e março (eh7). O coeficiente de determinação foi 92,7% e a média dos erros de previsão para os anos de teste independentes foi 8,2%. O modelo desenvolvido foi:

$$Y = -793,85 + 61,84 TT + 91,24 TX4 - 181,77 dh5 + 141,85 eh5 + 41,36 eh6 - 20,56 eh7 \quad (2)$$

Uma comparação das características e desempenhos dos modelos usados nos estudos de Chen et al. (1980) e Costa (1992) é apresentada na Tabela 1. Os ambos

modelos apresentaram desempenhos similares, entretanto a simplicidade da equação 1 com menos variáveis independentes pode ser um fator positivo numa seleção de modelo.

TABELA 1 - COMPARAÇÃO DOS MODELOS USADOS NOS ESTUDOS DE CHEN ET AL. (1980) E COSTA (1992)

	Modelo empírico-estatístico	
	Chen et al. (1980)	Costa (1992)
período estudado	1957-1975	1968-1986
var. meteo. analisadas (mensal)	temp. média precip. total radiação solar evapo. total umidade relativa	temp. máxima temp. mínima déficit hídrico (dh) excesso hídrico (eh) umidade relativa
var. meteo. selecionadas	DN( $ET_{om}$ ) * tendência tecnológica( TT )	temp. máx. dez. dh em jan.; eh em jan.; fev. e março e tendência tecnológica
coef. determinação (R <sup>2</sup> )	0,91	0,927
Coef. parcial TT	0,45	0,75
teste indep. erro médio	1976-1978 3,79%	1987-1989 8,2%

\* diferença do somatório da evaporação total do mês de outubro a março em relação à sua média no período 1957-1975

Outra abordagem testada por Costa (1992) refere-se ao modelo de simulação do crescimento de milho (CERES-Maize) desenvolvido pelos pesquisadores do USDA (United States Department of Agriculture). Costa utilizou a versão padrão do CERES-maize que simula os efeitos dos fatores meteorológicos (Tabela 2); do genótipo; das técnicas de manejo e das propriedades do solo (Tabela 3) sobre o crescimento e a produção de milho. A cada dia do ciclo de crescimento o modelo faz o balanço hídrico do solo, estima o crescimento diário, calcula a taxa de desenvolvimento e simula o estágio fenológico das plantas.

Entretanto, para um melhor desempenho do modelo, são indispensáveis informações pedológicas (ex. número da curva de escoamento, albedo, coeficiente de drenagem etc.) e genéticas (ex. coeficiente de sensibilidade fotoperiódica, taxa de crescimento potencial dos grãos etc.) precisas para poder se calcular os coeficientes ou índices que são utilizados como dados de entrada nos programas de subrotina. O modelo CERES-Maize foi testado em safras de 1984 a 1989 e os erros percentuais variam de 0,05 a 31,9% com um erro médio de 10,4% (Tabela 4). O maior erro encontrado foi na safra de 1987 que foi um ano de alta densidade pluviométrica. Como o modelo não possui sensibilidade sobre os efeitos de excesso de água no solo, uma superestimativa foi obtida (Costa, (1992) p. 189). Os erros encontrados através da utilização do modelo CERES-Maize foram maiores que os do modelo empírico-estatístico da equação 2 indicando um visível desajuste do modelo, provavelmente causado pela utilização dos coeficientes ou índices inadequados.

TABELA 2 - RELAÇÃO DAS VARIÁVEIS INCLUÍDAS NO ARQUIVO DOS DADOS METEOROLÓGICOS DO MODELO CERES-MAIZE

temperatura máxima do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ); temperatura mínima do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ); precipitação (mm); radiação solar glboal (ly)
--

TABELA 3 - RELAÇÃO DAS VARIÁVEIS INCLUÍDAS NO ARQUIVO DOS PARÂMETROS NÃO-METEOROLÓGICOS DO MODELO CERES-MAIZE

a) solo  albedo; limite superior de evaporação do solo no 1 <sup>o</sup> estágio (mm); número da curva de escoamento; coeficiente de drenagem; número de camada do solo; espessura de cada camada; fator de peso para a distribuição das raízes em cada camada; conteúdo de água armazenada na saturação ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ); água armazenada na capacidade de campo ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ); água armazenada no ponto de murcha permanente ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ); conteúdo inicial de água armazenada no solo ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )
--

(continua)

Tabela 3 - Conclusão

b) genética
gdc acumulado entre a emergência e o final do crescimento vegetativo;
gdc acumulado entre o embonecamento e a maturidade;
coeficiente de sensibilidade fotoperiódica;
número potencial de grãos (grãos/planta);
taxa de crescimento potencial dos grãos (mg de grãos/dia)
c) manejo
data de plantio;
densidade de plantas (plantas/m <sup>2</sup> );
profundidade de semeadura (cm);
latitude do local

TABELA 4 - PRODUTIVIDADES OBSERVADAS E SIMULADAS PELO MODELO CERES-MAIZE (EM KG/HA) E SUAS RESPECTIVAS DIFERENÇAS E ERROS PERCENTUAIS PARA O CULTIVAR AG401

ANO	YOBS (kg/ha)	YPREV (kg/ha)	DIFERENÇA	ERRO (%)
1984	5584	5433	-151	2.7
1985	5731	6523	792	13.8
1986	7813	6897	-916	11.7
1987	4378	5776	1398	31.9
1988	5812	5915	03	0.05
1989	6584	6429	-155	2.3
Média	6000	6162	720	10.4
des. padrão	1141	545	813	11.9

Com este estudo de comparação pode-se levantar as vantagens e desvantagens de modelos empíricos-estatísticos e de simulação do crescimento de cultura discutidas a seguir:

Modelo empírico-estatístico:

Vantagens: disponibilidade de dados meteorológicos históricos; bom desempenho nos anos normais; e de fácil modelagem.

Desvantagens: baixo desempenho nos anos anormais; usa média mensal que é insensível às variações climáticas ocorridas em tempo mais curto; usa variável "dummy" na representação das variáveis não-meteorológicas.

Modelo de simulação do crescimento de cultura:

Vantagem: modelar a interação causa efeito levando em consideração os processos biológicos.

Desvantagem: índices e coeficientes usados nas subrotinas são conhecidos somente através de experimentos no laboratório ou em campo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baier, W. Crop-weather analysis model, I. Summary. Int. J. Biometeorol. 17(4):313-320, 1973.
- Chen, S.C.; da Fonseca, L.B. Corn yield model for Ribeirão Preto, São Paulo State, Brazil. J. Agric. Meteorol. 22:341-349, 1980.
- Costa, M.M.G. Aplicação de dois modelos de previsão de safra agrícola para a cultura de milho na microrregião de Ribeirão Preto, SP. (Tese de Mestrado) - IAG-USP, São Paulo, 1992.
- Huan, J.R. Prediction of spring wheat yield from temperature and precipitation data. Agron. J., 66:405-409, 1974.
- Joyce, L.A.; Kickert, R.N. Applied plant growth models for grazinglands, forests, and crops. cap. 2. In: Wision, K.; Hesketh, J.D., ed. Plant growth modeling for resource management. Boca Raton, CRC, Press, FO, 1988.
- Mead, R. A note on the use and misuse of regression models in ecology. J. Ecol., 59:215-219, 1971.
- Yarranton, G.A. Mathematical representations and models in plant ecology: reponse to a note by R. mead. J. ecol. 59:221-224, 1971.