

## PREVISÃO E ESTIMAÇÃO OBJETIVAS DA PRODUÇÃO DE MILHO (1)

Júlio Humberto Jimenez Ossio (2)  
 Francisco Alberto Pino (2)

### RESUMO

Descreve-se o método objetivo de previsão e estimação de safras em levantamentos por amostragem e apresenta-se uma aplicação à produção de milho no Estado de São Paulo, Brasil. Usam-se modelos de regressão para prever a produção de milho baseados em variáveis como o número de plantas, o número de flores femininas, o número de espigas e os efeitos de doenças e do clima. Sugere-se a combinação desta técnica com imagens de satélite.

### OBJECTIVE FORECASTING AND ESTIMATION OF CORN YIELD

#### SUMMARY

The objective method of forecasting and estimation of crops in sample surveys is described and an application to corn yields in the State of São Paulo, Brazil, is presented. Regression models are used to predict corn yield based on variables such as the number of plants, the number of female flowers, the number of ears, and the effects of diseases and climate. The combination of this technique with satellite images is suggested.

## 1 - INTRODUÇÃO

A previsão e a estimação de safras agrícolas no Brasil têm sido feitas de forma ora mais ora menos subjetiva, em grande parte utilizando dados obtidos em nível de município. Algumas instituições ensaiaram levantamentos por amostragem em propriedades agrícolas, STEVENS (12 e 11) e SCHATAN (9). Entretanto, mesmo nos levantamentos em unidades rurais de produção os dados contêm alta dose de subjetividade, pois o que se faz é perguntar ao agricultor que área ele plantou e quanto ele espera colher. Uma forma mais objetiva e precisa de prever e de estimar uma safra consiste em se medir a área plantada e obter dados sobre uma ou mais características da cultura que se correlacionem com a produtividade ou rendimento agrícola, isto é, com a produção por unidade de

área. Numa versão sofisticada, a área plantada de toda uma região, ou de todo um Estado, ou mesmo de todo o país pode ser levantada por sensoriamento remoto, enquanto a produtividade pode ser medida em terra nas unidades amostradas. Embora esse tipo de técnica não seja recente, seu uso no Brasil ainda é incipiente.

Há quatro justificativas principais para se usar métodos subjetivos: a) são menos trabalhosos; b) são mais baratos; c) permitem maior desagregação; e d) é mais fácil manipular os dados. Há três justificativas principais para se usar métodos científicos objetivos: a) a possibilidade de controle dos erros, quando se usam métodos estatísticos; b) a maior precisão; e c) a maior confiabilidade dos resultados. O uso racional dos sistemas de processamento de dados pode reduzir sensivelmente o trabalho nos mé-

(1) Os autores agradecem a colaboração dos Engenheiros Agrônomos Alfredo Saad e Luiz Paulo Toscano, da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral da Secretaria da Agricultura, nos levantamentos de campo e do Pesquisador Científico Antonio Roger Mazzei, do Instituto de Economia Agrícola na elaboração do texto. Recebido em 02/12/88. Liberado para publicação em 26/12/88.

(2) Pesquisador Científico do Instituto de Economia Agrícola.

todos objetivos. Ao invés do custo imediato, é melhor analisar a relação custo-benefício da informação obtida.

Em resumo, a necessidade de estatísticas sérias, confiáveis e precisas conduz aos métodos objetivos de levantamento de dados para previsão e estimativa de safras, o que justifica o presente trabalho. Variações desse tipo de método objetivo foram utilizadas, por exemplo, por HENDRICKS & HUDDLESTON (3 e 4) em algodão; por KELLY (6) e STOUT (13) em citros; por SCHATTAN (8) em café; por ROGERS & MURFIELD (7) em soja; por HUDDLESTON (5) em pêssego e maçã; por WIGTON & KIBLER (15) em avelã e por WARREN (14) em milho.

O objetivo do presente trabalho é descrever e testar um método objetivo de previsão e estimativa de safras, usando amostras dentro das lavouras. Um estudo de caso é apresentado para a cultura do milho.

## 2 – METODOLOGIA

*Mutatis mutandis*, o método pode ser descrito de modo genérico para qualquer cultura. Cada cultura tem suas especificidades que determinam a particularização do método.

### 2.1 – Seleção da Unidade Amostral

Primeiramente selecionam-se aleatoriamente unidades de primeiro estágio, mediante esquemá amostral apropriado. Tais unidades podem ser unidades de produção (propriedade agrícola, imóvel rural, etc.) que cultivem o produto em estudo.

A seguir, dentro das unidades de primeiro estágio, selecionam-se, também aleatoriamente, unidades de segundo estágio (talhões de cultura ou áreas uniformes de cultivo).

Finalmente, selecionam-se, ainda aleatoriamente, as unidades de terceiro estágio (parcelas dentro dos talhões sorteados).

Portanto, as unidades finais de amostragem serão parcelas dentro dos talhões de cultivo. Uma parcela pode conter uma ou mais plantas. Por exemplo, em citricultura, é razoável que a parcela contenha somente uma planta, em café, uma cova, em milho, duas fileiras de plantas de cinco metros de comprimento e assim por diante. Em geral, evita-se tomar plantas das

bordas, por não refletirem a situação média do talhão.

Eventualmente podem-se selecionar, ainda, unidades de quarto estágio (partes da planta selecionada). Para a previsão de safras de citrus, KELLY (6) selecionou galhos das plantas amostradas e SCHATTAN (8), galhos das plantas de café.

### 2.2 – Escolha das Variáveis

É nesse ponto que o método torna-se específico para cada cultura. Escolhem-se para o levantamento variáveis que possam estar correlacionadas com a produção e que possam ser medidas ou contadas antes de se iniciar a colheita. Essa escolha depende de grande conhecimento agrônomo e da biologia da planta, devendo se basear em resultados prévios de pesquisa. Em decorrência da escolha dessas variáveis escolhem-se as épocas de levantamento, dentro do período compreendido entre o plantio e a colheita.

Variáveis auxiliares sobre o estado da cultura, tratos culturais, métodos de cultivo, etc. podem ser levantadas. A variável produção deve ser obtida no último levantamento, mediante a colheita de plantas da parcela e pesando-se o produto obtido. As perdas na colheita devem ser também estimadas.

Os dados obtidos nas unidades amostrais nas épocas apropriadas são utilizados para construir modelos estatísticos preliminares de previsão. Esses modelos serão utilizados nos anos seguintes para prever a produção. Com o passar dos anos e a conseqüente acumulação de dados espera-se que os modelos se tornem suficientemente completos e suas previsões suficientemente precisas, WARREN (14).

### 2.3 – Modelo

Considere-se uma população de  $N$  elementos, à qual se associam  $M+1$  variáveis denotadas pelo vetor  $y$  de dimensão  $N \times 1$  e pela matriz  $X$  de dimensão  $N \times M$ , respectivamente. Suponha-se que  $y_k = P_k / A_k$ , para  $k=1, \dots, N$ , onde  $P$  represente a produção da cultura,  $A$  a respectiva área e, portanto,  $y$  a produtividade ou rendimento agrícola. Suponha-se, ainda, que as colunas de  $X$  representem variáveis das quais dependa o rendimento da cultura e

que, finalmente, o rendimento possa ser representado pelo seguinte modelo implícito:

$$Q(\mathbf{y}, \mathbf{X}, \mathbf{e}, \boldsymbol{\beta}) = 0, \quad (1)$$

onde  $\boldsymbol{\beta}$  é um vetor  $M \times 1$  de parâmetros desconhecidos, enquanto  $\mathbf{e}$  é uma matriz ou vetor de erros aleatórios.

Quando a matriz  $\mathbf{X}$  ou a matriz  $\mathbf{e}$  incluir termos defasados no tempo, a predição de  $\mathbf{y}$  baseada no modelo (1) será uma previsão, caso contrário, será uma estimativa. As variáveis que compõem a matriz  $\mathbf{X}$  são selecionadas conforme a cultura. Eventualmente, podem-se obter diferentes modelos estimados para diferentes estratos da população, por exemplo, para diferentes regiões. Há diversas alternativas para a forma do modelo. Por exemplo, no caso de previsão pode-se usar algum modelo da análise de séries temporais. Na literatura é usual se encontrar modelos de regressão do tipo:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X} \boldsymbol{\beta} + \mathbf{e} \quad (2)$$

#### 2.4 - Estimação

Considerem-se, agora, duas amostras independentes de elementos da população,  $S_1$  e  $S_2$ , onde  $S_1$  contém informações sobre os vetores  $\mathbf{P}$  e  $\mathbf{A}$  e sobre a matriz  $\mathbf{X}$ , enquanto  $S_2$  contém informações apenas sobre o vetor  $\mathbf{A}$  e a matriz  $\mathbf{X}$ . Usa-se  $S_1$  para obter a predição  $\hat{\mathbf{P}}$  de  $\mathbf{P}$  e  $S_2$  para obter a predição  $\hat{\mathbf{P}}$  de  $\mathbf{P}$ .

Chame-se de  $\mathbf{y}_j$  o vetor de rendimentos dos elementos de  $S_j$  e  $\mathbf{X}_j$  a matriz das variáveis de  $\mathbf{X}$  correspondentes aos elementos de  $S_j$  para  $j = 1, 2$ . Então  $\hat{\mathbf{P}}$  é obtida por algum procedimento de estimação dado para o modelo implícito

$$Q(\mathbf{y}_1, \mathbf{X}_1, \hat{\mathbf{e}}_1, \hat{\boldsymbol{\beta}}_1) = 0 \quad (3)$$

Sob a suposição de que o modelo esteja corretamente especificado, a predição  $\hat{\mathbf{y}}$  obtida de

$$Q(\hat{\mathbf{y}}_2, \mathbf{X}_2, \hat{\mathbf{e}}_2, \boldsymbol{\beta}) = 0 \quad (4)$$

é não viesada. Da amostra  $S_2$ ,

$$\hat{\mathbf{P}}_k = \mathbf{A}_k \cdot \hat{\mathbf{y}}_k, \text{ para } k \in S_2, \quad (5)$$

onde  $\hat{\mathbf{y}}_k$  é obtido em (4). Se as amostras forem independentes, então  $\mathbf{A}_k$  e  $\hat{\mathbf{y}}_k$  serão não correlacionados e  $\hat{\mathbf{P}}_k$  será não viesada.

A extensão para o restante da população será feita por algum procedimento usual em amostragem

de populações finitas. Como exemplo, se for adequado o modelo (2) com erros não correlacionados de média nula e variância constante, a estimativa de mínimos quadrados será dada por

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}_1 = [(\mathbf{X}_1)' (\mathbf{X}_1)]^{-1} (\mathbf{X}_1)' \mathbf{y}_1 \quad (6)$$

e a predição na amostra  $S_2$  será dada por

$$\hat{\mathbf{y}}_2 = \mathbf{X}_2 \hat{\boldsymbol{\beta}}_1. \quad (7)$$

### 3 - APLICAÇÃO: O CASO DO MILHO

Cada cultura tem suas características próprias que determinam a particularização do método e a escolha das variáveis que serão utilizadas na previsão da produção e na estimativa da colheita. A cultura escolhida no presente trabalho, em consequência da disponibilidade de dados, foi a do milho, cujas características de cultivo e exigências climáticas passa-se a descrever.

#### 3.1. - Desenvolvimento da Cultura

O milho é uma cultura anual, das mais importantes do Brasil; sua semeadura ocorre principalmente nos meses de outubro e novembro, enquanto sua colheita inicia-se em abril, prolongando-se até maio e junho e, à vezes, até julho; é, portanto, uma cultura de pouco mais de seis meses de ciclo vegetativo dos quais, os dois primeiros são de desenvolvimento da planta, especialmente o segundo, em que se dá o crescimento mais rápido. O florescimento dos híbridos e variedades sintéticas de milho cultivados no Estado de São Paulo dá-se após 60 dias da germinação, iniciando-se com o aparecimento das inflorescências masculinas ou "pendões". Transcorridos 5 a 6 dias começam a despontar as inflorescências femininas (o milho é uma planta pro-andra) em número de duas ou três por planta, inicialmente denominadas "orelhas", passando a denominar-se "bonecas", quando se dá o aparecimento dos estigmas ou "cabelos", estando então aptas para receber ("receptivas") o pólen que já está sendo produzido pelos "pendões"; esse estágio ocorre cerca de 70 dias após a germinação.

Realizada a fecundação dos óvulos, que terá como consequência a formação dos grãos de milho, os estigmas murcham, tomando uma coloração parda, e finalmente secam quando a espiga já está formada, mostrando-se grossas e firmes, quando pressionadas;

nesse estágio, que ocorre transcorridos aproximadamente 20 dias após a polinização, os grãos de milho apresentam 50% de umidade e, quando pressionados com a unha, soltam um líquido leitoso, razão pela qual é denominado de estado "leitoso". Nesse estágio do desenvolvimento a espiga está completamente formada, não aumenta mais de tamanho, iniciando-se o período de maturação dos grãos que dura de 30 a 40 dias; como as espigas já adquiriram o tamanho definitivo, a sua medição reflete o tamanho que elas terão na época da colheita.

### 3.2 – Condições Climáticas

A cultura do milho é de origem sul-americana e está amplamente difundida por todo o continente, existindo variedades perfeitamente adaptadas ao clima frio ou temperado da Cordilheira dos Andes, assim como variedades do tipo amazônico, adaptadas ao clima quente e úmido da região; essencialmente, porém, é uma cultura de clima sub-tropical muito sensível às variações de temperatura e de umidade, especialmente durante a floração.

Durante o período vegetativo, a temperatura influi no grau e na rapidez de desenvolvimento das plantas, especialmente durante o segundo mês do cultivo (30 dias após a germinação). O aparecimento dos primeiros "pendões" ou inflorescências masculinas pode retardar em alguns dias sob temperaturas baixas, ou adiantar sob altas. A temperatura ideal nesse período situa-se em torno dos 32°C. Temperaturas extremas, abaixo de 10°C ou acima de 40°C ou 42°C, prejudicam o desenvolvimento normal da cultura.

As temperaturas altas são particularmente prejudiciais na falta de umidade, especialmente na época da floração. Temperaturas superiores a 42°C, em condições de estiagem intensa, podem causar o aborto dos grãos de pólen; por outro lado, chuvas intensas e muito pesadas podem encharcar os grãos de pólen, impedindo ou dificultando sua disseminação pelo vento; em ambos os casos o resultado final, na colheita, poderá ser a presença de espigas com granação deficiente ou, em situações extremas, sem granação.

O segundo fator climático importante na cultura do milho é, portanto, a precipitação pluviométrica durante o período vegetativo das

plantas. A precipitação ideal durante o período está entre 460 e 600mm, sendo que uma precipitação inferior a 200mm anuais torna necessária a irrigação da cultura.

As plantações de milho perdem muita água por evaporação da água contida no solo quando as plantas ainda estão pequenas (nos primeiros 30 dias), e por transpiração através da superfície foliar que, no caso do milho, é muito grande, quando as plantas estão adultas. Por esse motivo, a quantidade de chuva durante o período vegetativo das plantas não é indicador suficiente de suprimento de água adequado à cultura, uma vez que a perda de água por evapotranspiração é tanto maior e mais rápida quanto mais alta for a temperatura ambiente, e se essa perda não for repostada, por precipitações pluviométricas ou por irrigação, os danos causados ao desenvolvimento normal das plantas serão inevitáveis.

Pelo que ficou exposto, a temperatura e a umidade ambiente são dois fatores intimamente ligados na sua influência sobre a produção, sendo que as altas temperaturas são sempre mais danosas na falta de umidade suficiente. Por esses motivos, além da quantidade, a distribuição das chuvas durante o período vegetativo das culturas é de extrema importância. No caso do milho, as exigências tornam-se maiores a partir do segundo mês de cultivo, 30 a 40 dias após a emergência das plantas, por ser o período em que se inicia o seu desenvolvimento mais intenso, sendo que o período mais crítico está entre 15 dias antes e 15 dias depois do aparecimento dos "pendões", ou seja, durante a floração.

Ao se levar em conta que o plantio do milho no Estado de São Paulo processa-se em outubro e novembro e que em março e abril já está definida a produção, tendo pouca influência as variações climáticas, pode-se concluir que o período de maior sensibilidade a suprimento de água e condições de temperatura, no caso do milho, está entre os meses de dezembro e março, conforme verificaram SILVA et alii (10) ou seja, nos períodos de maior desenvolvimento e de floração das plantas. A distribuição ideal da precipitação pluviométrica necessária para o milho é 33% (150 a 200mm) nos meses de plantio (outubro e novembro); 42% (200 a 250mm) durante o pleno desenvolvimento e durante a floração (dezembro e janeiro); e 25% (110 a

150mm) durante a formação e maturação das espigas (fevereiro e março). Durante a colheita (abril em diante) as chuvas são desnecessárias e até prejudiciais quando excessivas.

### 3.3 – Características do Solo

A cultura do milho exige solos de fertilidade pelo menos média, de boa consistência e, sobretudo, permeáveis, pois, não suporta solos encharcados. A adubação correta e a aplicação de corretivos e adubação verde, assim como a rotação de culturas, são práticas aconselháveis para uma boa produção.

### 3.4 – Condições de Sanidade

Não existem problemas muito sérios de sanidade da cultura do milho, não chegando a maioria das pragas e doenças a comprometer a produção. Apenas algumas pragas, como *Elasmopalpus sp.* podem ter alguma gravidade em condições de estiagem e altas temperaturas; desaparecendo essas condições a praga também desaparece ou torna-se insignificante.

### 3.5 – Densidade de Plantio

Um dos fatores mais importantes para uma boa produção, na cultura do milho, é a densidade ou número de plantas por unidade de área. Densidade excessiva tem como resultado plantas raquíticas e espigas pequenas; plantas muito distanciadas entre si significa aproveitamento inadequado e baixa produção por área, além de maior evaporação de água do solo.

O número ideal de plantas, em solos de boa fertilidade, é de 40 a 50 mil por hectare. Para conseguir tal densidade, a técnica recomenda semear o milho em sulcos distanciados um metro um do outro, com 20cm entre as plantas, ou seja, 4 a 5 plantas por metro de sulco.

### 3.6 – Variáveis Relevantes e Dimensionamento das Parcelas

Todas essas condições, apontadas como necessárias para a produção do milho, refletem-se no estado da cultura nas suas diferentes fases; em outras palavras, se o plantio for reali-

zado em boas condições de solo e de clima, na densidade recomendada pela boa técnica e se as condições climáticas se mantiverem favoráveis ao desenvolvimento da cultura, as plantas deverão mostrar-se sadias e bem desenvolvidas, o número e o tamanho das espigas, assim como sua granação, serão ótimos, prometendo boa produção; caso contrário, as plantas apresentar-se-ão pouco desenvolvidas, a cultura em geral terá mau aspecto, a granação será deficiente e, por conseguinte, os resultados não serão bons, caindo a produção proporcionalmente às condições da cultura.

Portanto, realizando observações periódicas em parcelas de amostragem dentro da cultura e efetuando contagem do número de plantas e do número de espigas em formação ou já formadas, medição nas espigas formadas e apreciações da granação, será possível antecipar estimativas da produção que será obtida, tanto mais precisas quanto mais próxima estiver a colheita. No caso do milho, essas parcelas dentro da cultura deverão constar de duas fileiras de plantas, ou sulcos, de 5 metros de comprimento, distanciadas de um metro uma da outra, de modo que cada parcela amostral representará 10m<sup>2</sup>, facilitando a conversão dos dados para um hectare.

### 3.7 – Esquema de Levantamento

Nos primeiros 40 dias após a germinação, a cultura ainda não está definida, sendo, portanto, prematuro fazer qualquer previsão da produção com base em observações diretas na lavoura. A partir da segunda metade do segundo mês de cultivo, porém, já podem ser realizadas observações mensais nas parcelas de amostragem. Nas lavouras semeadas em outubro, a primeira visita ao campo deverá ser feita em dezembro, para demarcação das parcelas e primeira contagem do número de plantas. Nas lavouras semeadas em novembro, essa visita será realizada em janeiro.

A segunda visita, destinada à contagem do número de inflorescências femininas ("orelhas" ou "bonecas"), deverá ser realizada em janeiro ou fevereiro. A terceira visita, para contagem do número de espigas receptivas e/ou em formação, em fevereiro ou março. No caso de serem encontradas espigas em estado "leitoso", deverão ser efetuadas as medições do compri-

mento das espigas. Finalmente, em abril, quando é iniciada a colheita das lavouras semeadas no início de outubro, deverão ser colhidas as parcelas amostrais, contadas e pesadas as espigas e os grãos.

A produção total obtida no talhão amostrado deverá também ser registrada para fins de controle e comparação com a produção estimada.

Nas lavouras semeadas em novembro, a visita ao campo em março proporciona informações sobre o número de espigas já formadas, nas quais deverão ser feitas medições, e a colheita das parcelas amostrais e do talhão amostrado é feita em maio.

### 3.8 - Fonte dos Dados

Os dados provêm de dois levantamentos distintos. O primeiro, realizado pelo primeiro autor deste trabalho no município de São José do Rio Preto, no ano agrícola 1969/70, em 24 propriedades produtoras de milho (quadro 1). O segundo, realizado no município de Jardinópolis, no ano agrícola 1976/77, em 26 propriedades produtoras de milho, que serviu de levantamento em terra num projeto de sensoriamento remoto desenvolvido naquele município pelo Instituto de Pesquisas Espaciais e Secretaria da Agricultura (quadro 2). O tamanho da amostra, o sorteio e a cultura escolhida atendiam a necessidades daquele projeto.

Em cada propriedade sorteada, selecionou-se aleatoriamente um talhão de milho e aplicou-se um questionário para obter informações gerais como área do talhão, produção esperada, data do plantio, cultura anterior na mesma área, adubação empregada e tipo de cultura (solteira ou consorciada). Em cada talhão, localizaram-se aleatoriamente duas parcelas ou unidades de observação periódica, cada uma com duas fileiras de plantas e 5 metros de comprimento (10m<sup>2</sup>), aplicando-se um questionário a cada 30 dias (janeiro, fevereiro, março e abril).

### 3.9 - Variáveis e Modelos

Utilizaram-se modelos de regressão linear múltipla, estimados por mínimos quadrados, trabalhando-se ao nível de significância de 5%.

Em São José do Rio Preto utilizaram-se as seguintes variáveis: número de espigas na par-

QUADRO 1. - Área Plantada com Milho nas Unidades Amostradas, Município de São José do Rio Preto, Estado de São Paulo, 1969/70

Unidade	Área (ha)	Unidade	Área (ha)
1	2,42	13	26,62
2	7,26	14	29,04
3	7,26	15	29,04
4	7,26	16	31,46
5	9,68	17	33,80
6	10,89	18	41,14
7	12,10	19	60,50
8	12,10	20	76,23
9	12,20	21	77,42
10	24,20	22	89,54
11	24,20	23	162,14
12	24,20	24	297,66

Fonte: Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo.

cela, número de plantas na parcela, produção de milho na parcela (kg), produtividade de milho na parcela (kg/ha), número de plantas com espigas na parcela, peso médio das espigas colhidas na parcela (g), peso médio dos grãos de uma espiga colhidos na parcela (g), peso seco médio dos grãos de uma espiga colhidos na parcela (g) e comprimento médio das espigas na parcela (cm). Especificaram-se os seguintes grupos de modelos de regressão linear simples:

- a) número de espigas contra número de plantas (equações 1 a 7);
- b) produtividade contra número de espigas (equações 8 a 11);
- c) produção contra número de espigas (equação 12);
- d) produção contra o número de espigas calculado pela equação 6 (equação 13);
- e) número de plantas com espigas contra número de plantas (equação 14);
- f) peso das espigas contra comprimento das espigas (equação 15) e contra comprimento das espigas ao quadrado (equação 16); e
- g) peso dos grãos e peso seco dos grãos contra peso das espigas (equações 17 e 18).

QUADRO 2. – Área e Produção de Milho nas Unidades Amostradas, Município de Jardinópolis, Estado de São Paulo, 1976/77

Unidade	Área total da propriedade (ha)	Área do talhão (ha)	Produção do talhão (t)	
			Esperada	Obtida
1	4,8	2,42	5,4	3,6
2	9,6	2,42	3,6	2,4
3	36,3	1,00	3,0	3,6
4	37,2	1,21	3,0	1,8
5	74,2	36,30	90,0	63,0
6	121,0	43,56	140,4	140,4
7	143,3	1,21	3,6	3,0
8	143,9	19,40	57,6	42,0
9	146,5	48,40	180,0	144,0
10	208,1	33,88	100,8	84,0
11	256,5	60,50	120,0	84,0
12	273,4	72,60	216,0	132,0
13	302,5	60,50	180,0	240,0
14	367,8	15,00	54,0	36,0
15	387,9	12,10	21,0	27,0
16	418,6	0,30	0,3	0,9
17	428,0	12,10	36,0	39,0
18	701,5	48,40	120,0	135,0
19	725,8	29,04	72,0	100,8
20	782,8	6,05	18,0	19,8
21	904,7	7,26	21,6	23,4
22	1.064,8	79,86	257,4	257,4
23	1.200,3	9,68	24,0	24,0
24	1.232,6	43,50	162,0	135,0
25	1.268,7	20,00	90,0	72,0
26	1.326,5	26,40	72,6	72,6

Fonte: Instituto de Pesquisas Espaciais e Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo.

Em Jardinópolis, utilizaram-se as seguintes variáveis: produtividade de milho na parcela (kg/ha), peso médio dos grãos por espiga colhidos na parcela (g), número de espigas na parcela, condições da cultura (0 = suja ou invadida pelo mato, 1 = limpa), sanidade da cultura (0 = sadia, 1 = com pragas ou doenças), número de plantas na parcela, número de flores femininas na parcela, número de espigas receptivas na parcela, número de espigas formadas na parcela, cultura anterior (0 = milho, 1 = outras), peso médio das espigas colhidas na parcela (g) e

comprimento médio das espigas na parcela (cm). Especificaram-se os seguintes grupos de modelos de regressão:

a) produtividade e peso dos grãos contra condições da cultura, sanidade da cultura, número de plantas, número de flores femininas, número de espigas receptivas, número de espigas formadas e cultura anterior ou parte dessas variáveis (equações lineares 1 a 6);

b) número de espigas contra condições da

cultura, número de plantas e número de espigas formadas, ou parte dessas variáveis (equações lineares 7 a 9);

c) peso dos grãos contra peso e/ou comprimento das espigas, segundo modelos linear, potência e exponencial (equações 10 a 12); e

d) peso dos grãos contra número de espigas, segundo modelos linear, potência e exponencial (equações 13 a 15).

O modelo linear é da forma  $y = a + b x$ , o modelo potência é da forma  $y = a \cdot x^b$ , e o modelo exponencial é da forma  $y = a \cdot b^x$ .

#### 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das equações ajustadas aos dados dos levantamentos de São José do Rio Preto e de Jardinópolis são apresentados somente para aquelas com coeficientes significativos (quadros 3 a 7).

Constatou-se a relação linear entre o número de espigas e o número de plantas, com coeficiente de determinação de cerca de 60% em São José do Rio Preto e de cerca de 40% em Jardinópolis. Naturalmente, o número de espigas depende também de outros fatores, como condições da cultura, variedade e espaçamento. O peso das espigas pode ser parcialmente determinado por seu comprimento, com coeficiente de determinação de cerca de 50% em São José do Rio Preto.

Em São José do Rio Preto, o peso dos

QUADRO 3. - Principais Características Estatísticas de Equações de Regressão do Número de Espigas em Função do Número de Plantas, Município de São José do Rio Preto, Estado de São Paulo, 1969/70.

Número da equação e variável dependente	Constante	Coeficiente de regressão do número de plantas <sup>(1)</sup>				Teste F	Coeficiente de determinação (R <sup>2</sup> )
		Janeiro	Janeiro (ao quadrado)	Fevereiro	Abril		
1 - Número de espigas (jan.)	4,11	0,97 (5,81)	-	-	-	33,79	0,61
2 - Número de espigas (fev.)	4,06	-	-	0,97 (5,87)	-	34,40	0,61
3 - Número de espigas (fev.)	4,06	0,97 (5,87)	-	-	-	34,40	0,61
4 - Número de espigas (mar.)	4,35	-	-	0,95 (6,88)	-	47,37	0,68
5 - Número de espigas (abr.)	4,13	-	-	-	0,93 (6,09)	37,12	0,63
6 - Número de espigas (abr.)	5,33	0,89 (5,80)	-	-	-	33,68	0,60
7 - Número de espigas (abr.)	22,16	-	0,01 (6,06)	-	-	36,67	0,63

(<sup>1</sup>) Os valores entre parênteses são as respectivas estatísticas t de Student.



QUADRO 4. - Principais Características Estatísticas de Equações de Regressão de Produção de Milho em Função do Número de Espigas, Município de São José do Rio Preto, Estado de São Paulo, 1969/70

Número da equação e variável dependente	Constante	Coeficiente de regressão do número de espigas (1)				Teste F	Coeficiente de determinação (R <sup>2</sup> )	
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril			
					Observado			Estimado(2)
8 - Produtividade (kg/ha)	-976,88	123,15 (6,68)	-	-	-	44,69	0,67	
9 - Produtividade (kg/ha)	-980,15	-	123,37 (6,66)	-	-	44,33	0,67	
10 - Produtividade (kg/ha)	-1241,87	-	-	131,42 (6,41)	-	41,13	0,65	
11 - Produtividade (kg/ha)	-1057,87	-	-	-	130,08 (6,22)	38,74	0,64	
12 - Produção na parcela (kg)	-1,52	-	-	-	0,14 (6,14)	-	0,60	
13 - Produção na parcela (kg)	-0,45	-	-	-	-	0,11 (2,72)	0,23	

(1) Os valores entre parênteses são as respectivas estatísticas t de Student.

(2) Estimado através de regressão nº 6 (quadro 3).

QUADRO 5. - Principais Características Estatísticas de Outras Equações de Regressão de Milho, Município de São José do Rio Preto, Estado de São Paulo, 1969/70

Número da equação e variável dependente	Constante	Coeficiente de regressão das variáveis independentes (1)				Teste F	Coeficiente de determinação (R <sup>2</sup> )
		Número de plantas em janeiro	Comprimento das espigas em abril	Comprimento das espigas em abril (ao quadrado)	Peso das espigas em abril		
14 - Nº plantas com espigas (abr.)	- 1,85	0,99 (16,46)	-	-	-	271,03	0,92
15 - Peso das espigas (abr.)	-37,34	-	9,19 (4,86)	-	-	23,59	0,52
16 - Peso das espigas (abr.)	24,92	-	-	0,33 (5,00)	-	25,01	0,53
17 - Peso dos grãos (abr.)	74,29	-	-	-	1,59 (4,01)	16,09	0,42
18 - Peso seco de grãos (abr.)	68,16	-	-	-	1,43 (5,62)	31,58	0,59

(1) Os valores entre parênteses são as respectivas estatísticas t de Student.

QUADRO 6. – principais Características Estatísticas de Equações de Regressão de Variáveis Diversas de Milho, Município de Jardinópolis, Estado de São Paulo, 1976/77

Número da equação e variável dependente	Mês previsto	Coeficiente de regressão das variáveis independentes no mês previsto( <sup>1</sup> )								Teste F	Coeficiente de Durbin-Watson	Coeficiente de determinação (R <sup>2</sup> )
		Constante	Condições da cultura	Sanidade da cultura	Número de plantas	Número de flores femininas	Número de espigas receptivas	Número de espigas formadas	Cultura anterior			
1 – Produtividade (kg/ha)	jan.	3131,89	1132,91 (3,16)	-955,10 (2,70)	-	-	54,47 (2,19)	-	-	6,97	1,05	0,30
2 – Produtividade (kg/ha)	fev.	2853,98	-	-760,92 (2,08)	-	-	86,46 (2,88)	51,15 (4,08)	-	10,07	1,61	0,39
3 – Produtividade (kg/ha)	mar.	-875,82	878,76 (2,79)	-1054,45 (2,05)	-39,36 (1,87)	-	-	148,56 (6,46)	555,47 (1,81)	16,86	1,03	0,65
4 – Peso dos grãos (g)	jan.	1484,01	1117,73 (3,09)	-719,45 (2,13)	34,69 (1,74)	-	46,91 (2,01)	-	650,20 (1,75)	5,91	1,24	0,39
5 – Peso dos grãos (g)	fev.	2823,13	-	-963,94 (3,04)	-	99,47 (3,19)	-	53,75 (4,62)	-	12,86	1,42	0,45
6 – Peso dos grãos (g)	mar.	-1012,08	862,15 (3,13)	-929,67 (2,06)	-43,45 (2,36)	-	-	155,10 (7,71)	525,95 (1,95)	22,22	1,09	0,71
7 – N <sup>o</sup> de espigas	jan.	7,21	4,63 (2,34)	-	0,63 (5,92)	-	-	-	-	17,53	1,98	0,42
8 – N <sup>o</sup> de espigas (2)	fev.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9 – N <sup>o</sup> de espigas	mar.	-3,27	3,15 (3,25)	-	-	-	-	1,02 (17,97)	-	165,46	2,43	0,87

( <sup>1</sup> ) Os valores entre parênteses são as respectivas estatísticas t de Student.

( <sup>2</sup> ) Equação não obtida.

QUADRO 7. – Principais Características Estatísticas de Equações de Regressão do Peso dos Grãos de Milho em Função de Aspectos Distintos das Espigas, Município de Jardinópolis, Estado de São Paulo, 1976/77

Número da equação e Modelo variável dependente	Coeficiente de regressão das variáveis independentes( <sup>1</sup> )					Teste F	Coeficiente de determinação (R <sup>2</sup> )
	Constante	Peso das espigas	Comprimento das espigas	Número de espigas			
10 – Peso dos grãos (g) linear	71,93	0,64 (27,14)	-	-	-	73,65	0,94
11 – Peso dos grãos (g) potência	0,59	1,01 (41,61)	-	-	-	1731,20	0,97
12 – Peso dos grãos (g) exponencial	377,40	1,00 (9,78)	1,05 (3,66)	-	-	147,37	0,86
13 – Peso dos grãos (g) linear	-757,65	-	-	125,61 (8,16)	-	66,59	0,57
14 – Peso dos grãos (g) potência	14,28	-	-	1,55 (7,89)	-	62,27	0,55
15 – Peso dos grãos (g) exponencial	589,00	-	-	1,05 (7,26)	-	52,75	0,51

( <sup>1</sup> ) Os valores entre parênteses são as respectivas estatísticas t de Student.

grãos apresentou certa relação linear com o peso das espigas, com coeficiente de determinação de cerca de 40%. A relação eleva-se para cerca de 60% quando se considera o peso seco dos grãos. Em Jardinópolis, a relação entre o peso dos grãos e o peso das espigas mostrou-se alta, com coeficiente de determinação acima de 90%. Já a relação com o número de espigas mostrou-se apenas razoável, com coeficiente de determinação de 50-60%.

A previsão do peso dos grãos por meio do número de plantas, número de flores femininas, número de espigas, condições e sanidade da cultura e cultura anterior mostrou tendência natural a melhorar quando se aproxima da época de colheita, com coeficiente de determinação de 40-70% em Jardinópolis.

A previsão da produtividade mostrou-se, de modo geral, pobre em Jardinópolis, ainda que melhorando com a aproximação da colheita, com coeficiente de determinação de 30-65%. Na maior parte dos casos, os modelos de previsão obtidos para Jardinópolis apresentaram autocorrelação nos resíduos, medida pelo teste de Durbin-Watson (quadro 6). Já em São José do Rio Preto ela mostrou-se razoável desde janeiro, com coeficiente de determinação de 65-70%,

mesmo com modelo simples, usando como variável independente somente o número de espigas.

O modelo 6 permite prever, com base em contagens do número de plantas, realizadas em dezembro nas parcelas da amostra nos talhões semeados em outubro, e no mês de janeiro, nos talhões semeados em novembro, o número de espigas que, possivelmente, estarão presentes na parcela na época da colheita (quadro 3). Por outro lado, com base no número de espigas assim previsto, é possível fazer a previsão de produção aplicando o modelo 13 (quadro 4). Portanto, 40 dias após o plantio, já é possível fazer uma previsão preliminar da colheita a ser obtida, com base em dados e observações objetivas. À medida que se dá o aparecimento das espigas, principalmente espigas receptivas, e espigas em formação e formadas, as previsões tornam-se cada vez mais próximas das observadas na colheita (modelos 1 a 6 do quadro 6).

De um modo geral, as produções previstas segundo os diversos modelos de equação apresentam valores superiores à produção real obtida nos talhões amostrados; a explicação está no fato de que a produção prevista, seja em função do número de plantas na parcela ou, em estágio

mais adiantado, com base no número de espigas formadas, ou em formação, refere-se ao total da produção teórica da parcela, sem levar em conta as perdas sofridas, na prática, durante a colheita. HENDRICKS (2) chegou a conclusões parecidas, em trabalho desenvolvido no Iowa State College, no sentido de estabelecer as diferenças entre as estimativas de produção por hectare, baseadas em pesagens de pequenas amostras da cultura do milho pouco antes da colheita e as estimativas subjetivas dos agricultores, que serviam de base para os dados oficiais de produção. Suas conclusões levaram a estabelecer que as produções fornecidas pelos agricultores representavam 81,5% da produção estimada por métodos objetivos. Há, portanto, necessidade de uma amostragem após a colheita a fim de estimar as perdas ocorridas, pela contagem de espigas e pesagem dos grãos que ficaram na lavoura.

## 5 - CONCLUSÕES

Conclui-se que, para a aplicação efetiva do método em milho, será necessário:

- a) construir modelos baseados em amostras maiores;
- b) especificar melhor no modelo (ou estratificar na amostra) variáveis como variedade plantada, espaçamento e densidade de cultivo nas fileiras e região; e
- c) especificar melhor variáveis ambientais, como clima.

Mesmo assim, o refinamento dos modelos só se fará com o passar do tempo e a obtenção contínua de dados.

A obtenção de estatísticas agrícolas por métodos cada vez mais objetivos é não apenas uma possibilidade mas uma necessidade. A previsão e a estimação precisas e obtidas em prazo curto das safras agrícolas podem vir a ser importante instrumental tecnológico nos países em desenvolvimento. Um sistema de previsão e estimação de safras nos anos 90 deveria incluir o procedimento aqui descrito para as principais culturas, combinado com o sensoriamento remoto, BATTESE et alii (1). Finalizando, ressalte-se a importância da pesquisa científica para a construção de tal sistema.

## LITERATURA CITADA

1. BATTESE, G. E., HARTER, R. M., FULLER, W. A. An error-component model for prediction of county crop areas using survey and satellite data. *Journal of the American Statistical Association*, Washington, **83** (401):28-36, Mar. 1988.
2. HENDRICKS, W. A. *Validity of objective estimates of corn yield*, Washington, U.S. Dept. of Agriculture, 1954.
3. ——— & HUDDLESTON, H. F. A foundation for objective forecast of cotton yields. *Agricultural Economics Research*, Washington, **7** (4):108-111, Oct. 1955.
4. ——— & ———. Objective forecast of cotton yield. *Agricultural Economics Research*, Washington, **9**(1):20-25, Jan. 1957.
5. HUDDLESTON, H. F. Use of photography in sampling for number of fruit per tree. *Agricultural Economics Research*, Washington, **23** (3):63-67, July 1971.
6. KELLY, B. W. Objective methods for forecasting Florida citrus production. *Estatística*, Washington, **16** (58):56-64, 1958.
7. ROGERS, C. E. & MURFIELD, D. E. Validation of objective method of estimating soybean yield. *Agricultural Economics Research*, Washington, **17** (3):90-91, July 1955.
8. SCHATTAN, S. Pesquisa de um método objetivo para a previsão da produção de café. *Agricultura em São Paulo*, SP, **11** (3/4):1-43, mar./abr. 1964.
9. ———. Aprimoramento das estatísticas agrícolas no Brasil. *Agricultura em São Paulo*, SP, **18** (9/10):69-84, set./out. 1971.
10. SILVA, G. L. S. P., VICENTE, J. R., CASER, D. V. Efeitos das condições do tempo sobre a produtividade do milho no Estado de São Paulo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, **22** (3):225-231, mar. 1987.
11. STEVENS, W. L. *Estimativa e previsão de safras através de um levantamento por amostragem*. São Paulo, Secretaria da Agricultura, Departamento da Produção Vegetal, Div. de Econ. Rural, 1951. (Estudos de Economia Rural)
12. ———. *Levantamento por amostragem da safra*

- de café*. São Paulo, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras/USP, 1955.
13. STOUT, R. Estimating citrus production by use of frame count survey. *Journal of Farm Economics*, Ithaca, **44**(4):1037-1049, Nov. 1962.
14. WARREN, F. B. *Corn yield validation studies, 1953-83*. Washington, U. S: Dept. of Agriculture, 1985. (Statistical Research Service Staff Report, YRB-7).
15. WIGTON, W. H. & KIBLER, W. E. New methods for filbert objective yield estimation. *Agricultural Economics Research*, Washington, **24** (2):37-46, Apr. 1972.