

## USO DA FOTOGRAFIA AÉREA COMO SISTEMA DE REFERÊNCIA NA AMOSTRAGEM PARA A PREVISÃO DE SAFRAS (Pesquisa Pilôto no Município de Tietê)

Eng. Agr. Salomão Schattan

### 1 — INTRODUÇÃO

A amostragem probabilística, como qualquer outro instrumento científico, só pode ser utilizada de forma segura quando ao aplicá-la são satisfeitas as condições dentro das quais ela opera.

A definição do “Universo” e da “unidade de amostragem”, bem como a existência de um “sistema de referência” adequado que lhe corresponda são pré-requisitos essenciais à aplicação da amostragem probabilística.

Em nosso caso, o Universo pode ser definido como superfície física do Estado de São Paulo, pois estamos interessados na produção agrícola. Em 1951 quando se iniciaram as pesquisas para introduzir o método de amostragem para a previsão de safras, encontramos uma lista das propriedades rurais de cada Municí-

pio, organizada pela Secretaria da Fazenda com o objetivo de cobrança do Imposto Territorial Rural.

Feitas as verificações necessárias constatou-se que este rol era razoavelmente completo e sem duplicações, tendo sido aceito como “sistema de referência” para a amostragem agrícola no Estado. Sucessivas mudanças na legislação do Imposto Territorial Rural levaram à desorganização do rol. A partir de 1960 ele não mais foi atualizado e em consequência deixou de refletir, gradativamente, a verdadeira divisão fundiária do Estado, perdendo desta forma sua eficiência como “sistema de referência”. Em consequência as estatísticas calculadas foram perdendo em qualidade com consequente elevação do erro de amostragem.

Nestas condições a continuação

do Serviço de Previsão de Safras por Amostragem ficou condicionada ao encontro de um outro "sistema de referência".

Em 1965, quando o problema foi equacionado, já estava claro que o caminho a seguir consistia na utilização da fotografia aérea do Estado a qual havia sido completada há pouco. Entretanto, sua utilização como "sistema de referência" exigia o esclarecimento de algumas questões fundamentais, tais como:

- a) tipo de unidade de amostragem;
- b) método de estimação;
- c) tamanho necessário de amostra.

Para aclarar estas questões foi planejada uma "pesquisa piloto" que foi realizada no Município de Tietê no ano de 1965.

## 2 — FOTOGRAFIA AÉREA DO ESTADO

As companhias que em S. Paulo operavam no ramo da fotografia aérea vinham trabalhando há bastante tempo, porém de forma irregular, fotografando pequenas áreas do Estado ao sabor dos interesses momentâneos.

Tendo ficado patente a utilidade desta nova técnica, surgiu claramente a conveniência de se dispor da cobertura completa de todo Estado. Motivados pelas grandes perspectivas de sua utilização, os técnicos da Secretaria da Agricultura orientaram o acôrdo entre o Governo do Estado e as companhias especializadas, visando

completar a cobertura fotográfica do Estado.

Completado o levantamento aero-fotogramétrico do Estado, o I.A.C. e o I.G.G. da Secretaria da Agricultura receberam o material fotográfico na forma de:

- a) conjunto de 33.000 fotografias de 23x23 cm tiradas em escala de aproximadamente 1:25000. Este conjunto é acompanhado de um foto-índice;
- b) conjunto de 1.504 mosaicos de 60x60 cm resultantes da montagem do primeiro conjunto de fotografias.

Utilizando o conjunto de Mosaicos a Seccão de Foto-interpretção do I.C.A. montou as fotografias aéreas dos Municípios.

Vemos portanto que, além do material original constituído de 33.000 fotografias há o conjunto de mosaicos e o conjunto de fotografias dos Municípios, montados a partir dos mosaicos.

Qualquer um destes conjuntos pode ser utilizado como "sistema de referência" para a amostragem, pois apesar de suas peculiaridades, que serão analisadas, representam adequadamente o universo que desejamos estudar, a saber, a área rural do E. S. Paulo.

## 3 — UNIDADES DE AMOSTRAGEM

3.1 — Podemos usar o conjunto das 33.000 fotografias como "sistema de referência" e locar sôbre sua superfície um conjunto

de pontos sistemáticamente ou ao acaso.

Locados os pontos será necessário definir as unidades de amostragem que lhe correspondam, e em seguida escolher o método de estimação.

Quando a amostragem é de pontos sobre um mapa ou fotografia aérea, costuma-se definir a unidade de amostragem como sendo a unidade econômica (propriedade, estabelecimento, etc.) dentro da qual cai o ponto.

Locados os pontos, definidas as unidades de amostragem, pode-se adotar pelo menos dois métodos de estimação.

- a) expansão direta;
- b) estimativa razão;

Na expansão direta tem-se que levar em conta a probabilidade com que foi escolhida a unidade. É evidente que esta probabilidade é proporcional à superfície ocupada pela unidade no conjunto das fotografias. Dependendo da posição da unidade em relação ao vôo e o momento em que dispara a máquina fotográfica, toda superfície da unidade ou uma parte dela pode estar repetida duas ou mais vezes em fotografias contíguas. Conclue-se portanto que neste caso a probabilidade de inclusão de um estabelecimento na amostra é dada pelo quociente da superfície total que o estabelecimento ocupa nas fotografias (somam-se as superfícies nas diferentes fotografias mesmo que estejam repetidas) pela superfície total das fotografias.

Chamando de  $S_i$  a superfície do estabelecimento  $i$  nas fotografias (sendo  $S_i = S_{i_1} + S_{i_2} + \dots + S_{i_r}$  quando o estabelecimento está repetido no todo ou parte em  $r$  fotografias), a probabilidade de seleção é dada por:

$$P_i = \frac{S_i}{33.000 \times 23 \times 23}$$

O processo acima explicado é de difícil manejo, mas pode ser simplificado se levarmos em conta o fato de que as áreas fotografadas uma, duas ou três vezes (as áreas que estão simultaneamente em duas ou três fotografias) não diferem entre si.

Não há qualquer razão para se supor que o conjunto das superfícies fotografadas uma só vez apresente características diferentes daquelas que foram fotografadas duas vezes, e que por sua vez, estas sejam diferentes das fotografadas três vezes, porque a superposição das fotografias se faz em intervalos regulares.

Desde que se aceite serem iguais as características no conjunto das áreas fotografadas uma ou mais vezes, prova-se que não serão viesadas as estimativas, dos parâmetros da população, feitas através de uma amostra de fotografias.

Desta forma, quando se tratar de superfície uniforme ou de amostra suficientemente grande, torna-se indiferente sortear ao acaso pontos sobre um mosaico resultante da montagem de fotografias, ou retirar amostra dessas mesmas fotografias.

Na estimativa razão, pode-se utilizar tanto a superfície na fotografia, quanto a superfície real do estabelecimento como informação auxiliar.

No primeiro caso, a expansão será feita através da superfície total da fotografia, enquanto que no segundo caso, através da superfície total ocupada pelos estabelecimentos no Estado.

3.2 — O ponto locado ao acaso sobre a fotografia pode definir uma unidade econômica como unidade de amostragem, e esta será a definição necessária quando se deseja conhecer as características econômicas dos estabelecimentos ou as características sociais da população que os habita, pois as informações necessárias só poderão ser obtidas por meio de entrevista com os responsáveis pelas unidades de amostragem.

Entretanto, se desejamos saber algo que pode ser verificado sem o concurso do responsável, como a superfície cultivada com cada um dos diferentes artigos, não será necessário fazer entrevistas podendo-se usar então a técnica do retículo de pontos.

Como sempre, locam-se pontos na fotografia por meio de pares de coordenadas escolhidas ao acaso numa tabela de números aleatórios.

Ao ponto locado na fotografia corresponde um ponto no terreno que é necessário identificar. Na escala de 1:25000 torna-se relativamente fácil esta identificação e o ponto no terreno será a ori-

gem de um sistema de coordenadas, cujos eixos estarão na direção Norte-Sul e Leste-Oeste. No primeiro quadrante (Nordeste) construímos um retículo imaginário de 100 pontos equidistantes 100 metros entre si.

A seguir se determinará o uso da terra em cada um dos pontos do retículo imaginário.

Ao final da inspeção teremos a estimativa da proporção da superfície utilizada em cada cultivo, através da simples soma dos pontos que correspondem ao retículo.

Está claro que o uso desta técnica para a determinação das proporções obriga a aplicação da estimativa razão para o cálculo da superfície total ocupada por cada cultivo.

3.3 — O conjunto de 1504 mosaicos de 60x60 cm resultante da montagem das 33.000 fotografias pode ser utilizado como sistema de referência. Sobre ele poderemos amostrar pontos e definir igualmente unidades econômicas ou retículos de pontos como foi feito para as fotografias originais anteriormente descritas.

O sistema de referência constituído de mosaicos apresenta, sobre fotografias originais, a vantagem de reduzir as duplicações a um mínimo. Para a montagem dos mosaicos dividiu-se o Estado em quadrículas constituídas de 16 (4x4) mosaicos cada. Só há repetição de imagem nos bordos das quadrículas.

Utilizando a área útil dos mosaicos poderemos dividir sua su-

perfície em quadrados de igual área, tomando-se então cada um desses quadrados como uma unidade de amostragem. Também elas poderão servir de base para uma expansão direta ou então o cálculo de totais por meio de estimativa razão.

3.4 — Finalmente, baseados na descrição oficial dos limites dos Municípios, os técnicos da Secção de Foto-interpretção do I.A.C. recortaram e montaram as fotografias dos mosaicos de forma a obter fotografias dos Municípios do Estado.

Está claro, que, o conjunto de fotografias dos Municípios constitui um “sistema de referência” completo e sem duplicações de tôdas as unidades econômicas da agricultura paulista, qualquer que seja a maneira de definir as unidades de amostragem.

#### 4 — LEVANTAMENTO DO MUNICÍPIO DE TIETÊ

##### 4.1 — MÉTODOS DE ESTIMAÇÃO PARA AS DIFERENTES UNIDADES DE AMOSTRAGEM

No estudo feito em Tietê utilizamos a fotografias aérea do Município obtida pela montagem dos mosaicos.

Foram utilizados para efeito de comparação três tipos de unidade de amostragem a saber:

a) pontos ao acaso locados por meio de coordenadas, cada

um dos quais define uma propriedade agrícola;

b) pontos ao acaso locados por meio de coordenadas, cada um dos quais define um retículo de pontos no terreno;

c) quadrados de cinco centímetros de lado. Para criar estas unidades de amostragem cobrimos a fotografia do Município com uma rêde de linhas paralelas, distando tanto as linhas horizontais como as verticais cinco centímetros entre si.

##### 4.2 — AMOSTRAGEM COM PROBABILIDADE PROPORCIONAL AO TAMANHO DA UNIDADE

Sobre a fotografia aérea do Município de Tietê foram locados 25 pontos ao acaso. Definimos nossa unidade de amostragem como sendo a propriedade agrícola dentro da qual caiu o ponto.

Estimaremos a superfície cultivada, a superfície em pastagens, a superfície em matas e a superfície ocupada, com outras terras através do “método de estimativa razão”. Usaremos a superfície total da unidade de amostragem como variável auxiliar, porque se conhece a área total ocupada pelas propriedades agrícolas no Município.

A estimativa razão na população é dada pelo quociente dos totais da variável em estudo e da variável auxiliar na amostra.

Em cada uma das 25 unidades correspondentes aos 25 pontos locados na fotografia, a razão entre a superfície cultivada e a superfície total é dada por:

$$\begin{aligned}
 r_1 &= \frac{y_1}{x_1} \\
 r_2 &= \frac{y_2}{x_2} \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 r_{25} &= \frac{y_{25}}{x_{25}}
 \end{aligned}
 \qquad
 \bar{r} = \frac{\sum r_i}{25}$$

em que  $y$  é a superfície utilizada e  $x$  é a superfície total da propriedade.

A estimativa da superfície total cultivada na propriedade é dada por:

$$T_y = \bar{r} T_x$$

onde  $T_x$  é a superfície geodésica do Município menos a área urbana e a superfície ocupada por estradas e rios, situados fora dos limites das propriedades.

A estimativa da variância é função da variância da razão  $r$ . Chamando  $S^2_r$  à estimativa da variância de  $r$  temos:

$$S^2_{(r)} = \frac{\sum_i^n (r_i - \bar{r})^2}{n - 1} \quad \therefore \quad S^2_{(\bar{r})} = \frac{S^2(r)}{n}$$

$$S^2_{(T_y)} = \frac{(T_x)^2}{n} \quad S^2_{(r)} = (T_x)^2 S^2_{(\bar{r})}$$

A partir destas fórmulas calculamos o quadro 1.

QUADRO 1. — Resultados dos Cálculos Estatísticos da Amostra nas Fotografias Aéreas com Unidade Sorteada com Probabilidade Proporcional ao Tamanho, 1965

Estimativa	Cultivo	Pastagem	Mata	Outras Terras
Razão $r$ % .....	32,78	57,04	7,75	2,43
Total $T_y$ .....	6136	10677	1451	455
Variância $S^2(\bar{r})$ .....	0,00292038	0,00012116	0,00012116	0,00008138
Variância $S^2(T_y)$ .....	1023249,20	1077103,04	42452,00	28514,11
Coefficiente de Variação C.V.	80,26	47,61	69,55	181,89

#### 4.3 — DETERMINAÇÃO DA «RAZÃO» ATRAVÉS DE RETÍCULO DE PONTOS NO SOLO

Conforme foi dito anteriormente a técnica do retículo de pontos é uma forma simplificada de se estimar a proporção da área total ocupada com determinado uso.

A unidade de amostragem é um quadrado de 500 metros ou 1000 metros de lado cujo vértice de origem é o ponto locado na fotografia. O quadrado é definido de forma a ficar no primeiro quadrante do sistema de coordenadas dado pelas direções N-S, E-O.

Em lugar de se proceder à medição da área ocupada com cada uso do solo, estima-se esta área através da proporção de pontos do retículo que cai neste uso. Assim, se a metade dos pontos do retículo cai sobre o pasto, estima-se que a metade da área do quadrado está ocupada com pasto e assim por diante.

Neste caso, como no anterior, a variância de  $\bar{r}$  depende dos  $r$  determinados nos retículos no solo, e o método de estimação do total terá que ser a “estimativa razão”.

Com o auxílio dos 23 pontos trabalhados foram calculadas as estimativas do quadro 2.

QUADRO 2. — Resultados Estatísticos dos Cálculos Feitos com Estimativa Razão, 1965

Estimativa	Cultivo	Pastagem	Mata	Outras Terras
Razão $r$ % .....	30,61	47,13	13,74	8,52
Total $T(y)$ .....	5730	8822	2572	1595
Variância $S^2(r)$ .....	0,0734	0,0735	0,0346	0,0064
Coefficiente de Variação C.V.	88,50	57,50	135,80	93,90

4.3.1 — A terceira unidade de amostragem que utilizamos foi o quadrado de cinco centímetros de lado desenhado sobre a fotografia do Município.

A fotografia do Município de Tietê foi dividida em 248 quadrados, 25 dos quais foram sorteados ao acaso.

Tentamos neste caso dois métodos de estimação:

- a) expansão direta baseada no número total de quadrados em que foi dividido o Município.
- b) estimativa razão.

Na expansão direta foram obtidos os resultados que constam no quadro 3.

QUADRO 3. — Resultados Estatísticos dos Cálculos tendo como Unidade de Amostra Quadrículas de Cinco Centímetros de Lado, 1965 (1)

Estimativa	Cultivo	Pastagem	Mata	Outras Terras
Total $T_{(y)}$ (1) .....	7200	13270	1800	633
Porcentagem .....	32,59	57,94	7,86	2,76
Variância $S_{(Ty)}^2$ % .....	118,60	100,00	132,20	148,00
Coeficiente de Variação				
C.V. % .....	23,72	20,00	26,45	29,60

(1) Cálculos feitos pelo Eng.º Agr.º Milton Nogueira de Camargo.

A estimativa 2b. feita utilizando a superfície total das explorações como informação suplementar deve, na estimativa dos erros de amostragem levar em conta a correlação existente entre a variá-

vel estudada e a variável suplementar.

A estimativa da variância de r foi feita utilizando a seguinte fórmula:

$$S_{(r)}^2 = \frac{1 - \bar{r}^2}{n} \left( \frac{S^2(y)}{\bar{y}^2} - \frac{2 \text{ cov } (xy)}{\bar{x} \bar{y}} + \frac{S^2(x)}{\bar{x}^2} \right)$$

que não é uma expressão exata mas é suficientemente aproximada para nossa necessidade.



QUADRO 4. — Resultados Estatísticos da Amostragem nas Fotografias Aéreas Usando Estimativa Razão, 1965

Estimativa	Cultivo	Pastagem	Mata	Terras Outras
Razão r% .....	31,44	57,95	7,84	2,77
Total T <sub>(r)</sub> (1) .....	5.885	10.848	1.468	518
S <sup>2</sup> <sub>r</sub> .....	0,00266	0,00196	0,000256	0,00007536
S <sub>r</sub> .....	0,075	0,070	0,080	0,026
C. V. ....	23,85	12,08	102,05	92,05

(1) A área geodésica do Município, calculada pelo I.G.G.. é de 453 km<sup>2</sup> ou seja 18.719 alqueires.

QUADRO 5. — Coeficientes de Variação para os Diferentes Métodos de Estimacão e Unidades de Amostragem, 1965

Método	Coeficiente de Variação %				
	Cultivo	Pasto	Matas	Outras	
Amostragem com probabilidade proporcional ao tamanho. Estatística razão	47,61	80,26	69,55	181,82	
Amostragem de Quadrículas	Expansão direta	100,00	118,6	132,2	148,0
	Estimativa razão	12,08	23,85	102,05	92,05
Reticulo de pontos		57,5	88,5	135,8	93,9

Com o auxilio dos coeficientes de variação relacionados no quadro 5 foram calculados para cada um dos métodos de amostragem, os números de unidades de amostragem necessários para que

as estimativas dos diferentes itens fôsem feitas com êrro padrão não superior a 5%. Os resultados estão dados no quadro seguinte.

QUADRO 6. — Número de Unidade de Amostragem Necessários para Obter Estimativas com Êrro de Amostragem de 5%

Unidade de amostragem X Método		Número de Unidades de Amostragem			
		Para Estimação de			
		Área culti- vada	Área em pasto	Área em mata	Área em outras terras
Estabelecimentos p.p.t. Estimativa razão		258	91	193	1325
Quadrículas de 5 cm x 5 cm	Expansão direta	563	400	700	876
	Estimativa razão	23	6	416	339
Retículos de pontos		313	132	738	353

O quadro 6 deve ser refeito levando em conta que cada quadrícula representa em média um conglomerado (cluster) de 2,84

propriedades. Multiplicando por 2,84 o número de quadrículas necessárias à estimativa dos totais com o êrro desejado temos: (vide quadro 7).

QUADRO 7. — Número Corrigido de Unidades de Amostragem Necessário para Obter Estimativas com Êrro de Amostragem de 5%

Unidade de amostragem X Método		Número de Unidades de Amostragem			
		Para Estimação de			
		Área culti- vada	Área em pasto	Área em mata	Área em outras terras
Estabelecimentos probabilidade proporcional à área total — Estimativa razão		258	91	193	1325
Quadrículas de 5 cm x 5 cm	Expansão direta	1598	1136	1988	2488
	Estimativa razão	65	17	1181	963
Retículo de pontos		331	132	738	353

## 5 — CONCLUSÕES

1 — O retículo de pontos é uma unidade de amostragem bastante eficiente e tem a vantagem de ser objetiva e independente de informações do responsável pela exploração. Tem porém a limitação de só poder ser utilizado para a determinação de áreas em conjugação com método objetivo (pesagem e medição) na determinação da produção.

Todos os demais problemas de informações econômicas sobre as explorações não podem, evidentemente, ser obtidos diretamente.

2 — A quadrícula como unidade de amostragem, com expan-

são direta é que apresenta a pior performance.

3 — A quadrícula como unidade de amostragem, com estimativa razão parece apresentar vantagem sobre a seleção de propriedades com probabilidade proporcional ao tamanho e estimativa razão.

Se se houvesse introduzido o custo na análise é provável que a vantagem fôsse ainda maior, pois o fato de as propriedades se apresentarem em conglomerados quando a unidade de amostragem é a quadrícula, leva à redução da distância percorrida e do tempo gasto na localização, por propriedade visitada.