

RESUMO

Avaliação da precisão da amostragem sistemática em relação à amostragem aleatória, ambas utilizadas em inventários florestais, com base no erro padrão estimado e tendo como parâmetro de comparação, a área basal. Os dois tipos de amostragem foram aplicados em uma população florestal, 100% inventariada (DAP maior ou igual a 25 cm), constituída de 4 blocos experimentais de 24 hectares cada e distribuídos aleatoriamente sobre uma bacia hidrográfica de aproximadamente 600 hectares. Essa área experimental faz parte do projeto de Manejo Ecológico (Bacia 3). O menor erro padrão estimado foi obtido através da amostragem sistemática, mesmo considerando que na amostragem aleatória foram feitos 5 sorteios diferentes para a tomada das unidades amostrais do inventário simulado.

INTRODUÇÃO

Segundo Bonilla (1975), a realização de um inventário florestal depende, fundamentalmente, de três decisões no seu planejamento: (a) tamanho e forma das unidades amostrais; (b) intensidade de amostragem e (c) tipo de amostragem.

Quanto à decisão do primeiro item, Higuchi et al. (1982) definiu-o para a mesma área estudada. O segundo item normalmente é definido por ocasião do trabalho de inventário florestal propriamente dito, ou seja, depende do conhecimento prévio da variância da área a ser inventariada e da precisão que se pretende estabelecer para o inventário.

E no tocante ao tipo de amostragem, a escolha é normalmente arbitrária, dependendo mais do conhecimento da floresta e de sua extensão do que da precisão ou custo.

Husch et al. (1972) define basicamente dois tipos de amostragem: com probabilidade e sem probabilidade, ou seja, aleatória e sistemática.

Dentro da amostragem aleatória, o mesmo autor a subdivide em inteiramente aleatória e aleatória restrita (amostragens estratificada, multi-estágios, multi-fases e com

(*) Projeto "Manejo Ecológico e Exploração da Floresta Tropical Úmida". Convênio INPA/BID/FINEP.

(**) Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas.

probabilidades variadas).

Do ponto de vista prático, a amostragem sistemática tem sido utilizada sem nenhum problema, tanto em florestas naturais como em florestas plantadas, sendo que a interpretação e análise dos resultados são feitos com base apenas nas fórmulas da amostragem aleatória, segundo Husch (1971) e Bonnor (1978).

Entretanto, quando se pretende analisar os aspectos teóricos da utilização da amostragem sistemática em inventários florestais, as opiniões se dividem, principalmente entre os estatísticos e os florestais.

De um modo geral, todos são unânimes em aceitar que na amostragem sistemática, cada unidade amostral é melhor distribuída espacialmente, isenta de tendência pessoal na sua escolha e, também, menos onerosa na sua alocação, Husch (1971), Sukhatme & Sukhatme (1970) e Spurr (1952).

Freese (1971) considera que quando se utiliza a amostragem sistemática há uma sensação de que uma unidade amostral deliberadamente distribuída numa população será mais representativa do que uma unidade aleatória, possibilitando com isso a obtenção de estimativas mais precisas.

Sobre essas vantagens da amostragem sistemática deve ser considerada ainda a possibilidade de se organizar o controle e a supervisão dos trabalhos de campo, uma vez que as unidades amostrais são distribuídas de acordo com um padrão pré especificado. Esse tipo de organização é fundamental na execução de um inventário florestal, sobretudo pela oportunidade de diminuir os erros não amostrais que para os quais não há fórmulas para as suas estimativas.

Segundo Husch (1971), a amostragem aleatória elimina os erros sistemáticos, ao eleger as unidades amostrais, além de permitir a quantificação do erro amostral, constituindo-se na grande vantagem da amostragem aleatória em relação à amostragem sistemática e, conseqüentemente, no grande trunfo dos estatísticos.

Neste trabalho, o grande objetivo é confrontar os dois tipos de amostragem, para comparar a precisão de cada um, em condições idênticas de cobertura florestal. A comparação é baseada apenas na estimativa do erro padrão tendo em vista que os custos favorecem, a priori, a amostragem sistemática.

METODOLOGIA

A aplicação dos dois tipos de amostragem foi feita sobre os 4 blocos experimentais (B1, B2, B3 e B4) do subprojeto "Ecologia e Manejo Florestal", do projeto de Manejo Ecológico, mais especificamente na área destinada à exploração e posterior manejo florestal, Bacia 3.

Cada bloco experimental é constituído de 6 sub-blocos (SB1, SB2, SB3, SB4, SB5 e SB6) de 4 hectares cada, 200 por 200 metros, os quais correspondem aos tratamentos silviculturais previstos pelo projeto.

Nesses 4 blocos, todas as árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) maior ou

igual a 25 cm foram medidas e observadas durante o seu Inventário Florestal comercial, realizado por Higuchi et al. (s.d.).

Desse Inventário foram obtidas as seguintes estimativas do estoque atual da floresta em estudo: 155 árvores/ha, 19,295 m²/ha e 190,471 m³/ha, respectivamente para Frequência, Área Basal e Volume comercial bruto com casca de madeira.

Segundo Higuchi et al. (s.d.) a cobertura florestal dessa área é extremamente diversificada, com mais de 350 diferentes espécies florestais ocorrentes nos 96 hectares 100% inventariados. Entretanto, as variações quanto às distribuições de Frequência, Área Basal e Volume são relativamente baixas, com o maior coeficiente de variação sendo igual a 18%.

A distribuição das unidades amostrais para a aplicação da metodologia da amostragem aleatória foi feita totalmente ao acaso sobre toda a população considerada, com igual probabilidade.

As unidades amostrais utilizadas foram de 25 por 200 metros, 5000 m², estando, portanto, dentro das dimensões recomendadas por Higuchi et al. (1982).

As unidades amostrais foram distribuídas de modo a coincidir com o centro de cada picada original do Inventário Florestal comercial, Figura 1.

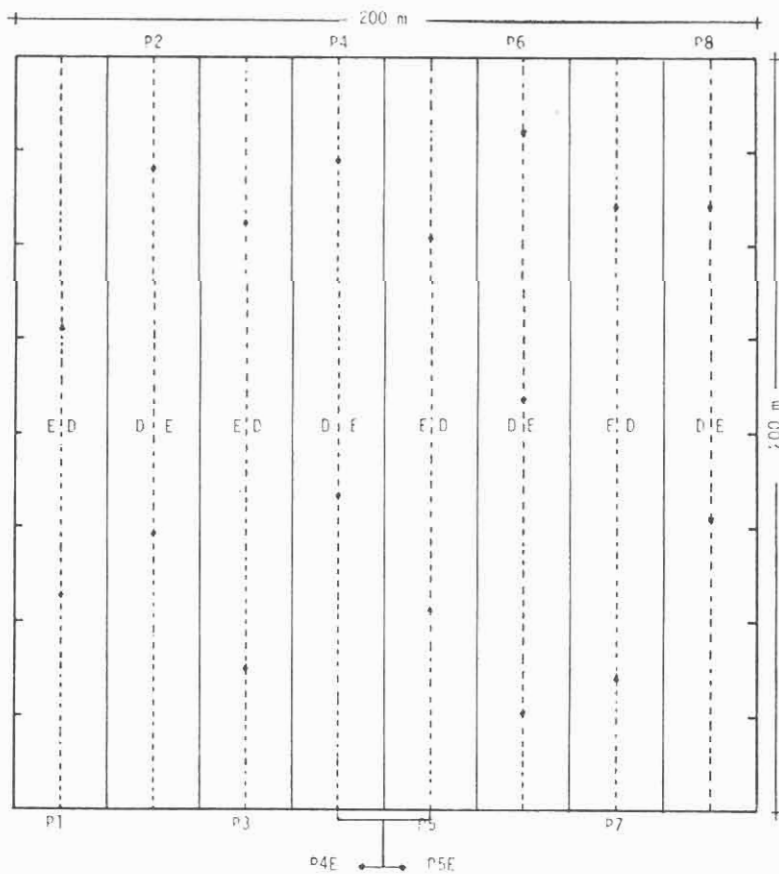


Fig. 1. Representação esquemática de um sub-bloco com suas picadas (P) e direções (E e D).

A amostragem aleatória foi repetida 5 vezes, na tentativa de fortalecer, ainda mais, as suas estimativas para a posterior comparação com a amostragem sistemática. As unidades amostrais tomadas nos 5 sorteios são apresentadas no Quadro 1, havendo coincidência na escolha da mesma unidade amostral apenas em 6 casos.

Quadro 1. Distribuição das unidades amostrais (UA) dentro dos blocos experimentais.

UA	1ºSORTEIO	2ºSORTEIO	3ºSORTEIO	4ºSORTEIO	5ºSORTEIO
01	B1 SB1 P1	B1 SB1 P7	B1 SB2 P4	B1 SB1 P4	B1 SB1 P4
02	SB1 P5	SB2 P5	SB6 P3	SB2 P5	SB3 P3
03	SB2 P3	SB2 P8	SB6 P7	SB3 P4	SB5 P7
04	SB2 P7	SB3 P5	B2 SB2 P3	SB3 P8	B2 SB1 P4
05	SB3 P8	SB5 P5	SB2 P8	SB5 P1	SB2 P5
06	SB4 P2	B2 SB2 P8	SB4 P2	SB6 P1	SB5 P2
07	SB6 P6	SB3 P1	SB4 P4	B2 SB2 P2	SB6 P1
08	SB6 P7	SB3 P8	SB5 P3	SB2 P4	SB6 P5
09	B2 SB2 P5	SB4 P7	SB5 P7	SB3 P1	SB6 P7
10	SB4 P3	SB4 P8	SB6 P4	SB3 P2	B3 SB1 P6
11	B3 SB1 P2	SB5 P1	SB6 P8	SB3 P6	SB3 P7
12	SB2 P6	SB6 P2	B3 SB1 P2	SB4 P1	SB4 P1
13	SB4 P1	SB6 P7	SB3 P4	SB4 P7	SB4 P2
14	SB4 P5	B3 SB1 P5	SB4 P1	SB5 P5	SB6 P5
15	SB4 P6	SB3 P1	SB5 P3	SB6 P4	B4 SB3 P1
16	SB5 P4	SB3 P2	SB5 P5	B3 SB3 P1	SB3 P2
17	SB5 P8	SB4 P5	SB6 P2	SB3 P2	SB3 P5
18	B4 SB1 P3	SB4 P6	SB6 P6	SB6 P4	SB3 P6
19	SB1 P6	SB5 P7	SB6 P8	SB6 P7	SB3 P7
20	SB1 P7	SB6 P2	B4 SB3 P3	B4 SB1 P2	SB4 P5
21	SB2 P3	B4 SB2 P4	SB3 P6	SB1 P6	SB5 P2
22	SB3 P3	SB5 P2	SB4 P2	SB2 P7	SB5 P3
23	SB4 P3	SB5 P3	SB5 P1	SB3 P3	SB5 P6
24	SB5 P3	SB5 P6	SB6 P3	SB4 P2	SB6 P6

B = Bloco; SB = Sub-Bloco e P = Picada.

Na amostragem sistemática as unidades amostrais foram distribuídas segundo um padrão pré estabelecido que foi o centro de cada sub-bloco.

O tamanho da unidade amostral e a intensidade de amostragem foram os mesmos da amostragem aleatória, totalizando 24 unidades amostrais, o que corresponde a uma amostragem de 12,5% da população.

Para a obtenção do centro do sub-bloco foram utilizados o lado esquerdo da Picada

4 (P4E) e o lado esquerdo da Picada 5 (P5E), também representando na Figura 1.

Para a estimativa do erro padrão para a amostragem aleatória foi utilizado o formulário tradicional, considerando a população como finita.

Na amostragem sistemática, além da fórmula da amostragem aleatória, foi também utilizada a fórmula sugerida por Husch *et al.* (1972),

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1} (X_{i+1} - X_i)^2}{2n(n-1)} \times \frac{N-n}{N}}$$

que é a fórmula indicada para quando se utiliza a distribuição das unidades amostrais em faixas, com variação apenas entre faixas. Neste trabalho, a simulação foi adequada para esta fórmula para permitir a coincidência em termos de intensidade de amostragem entre os dois tipos de amostragem confrontados.

Por outro lado, é comum também haver variação em duas direções (entre faixas e entre as unidades amostrais) e neste caso, o mesmo autor recomenda a utilização da seguinte fórmula:

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^{n-1} (X_{(i+1)j} - X_{ij})^2}{2n(n_j-1)} \times \frac{N-n}{N}}$$

onde: M = número total de faixas;

n = número de unidades amostrais em cada faixa;

N = número total de unidades amostrais.

DISCUSSÃO DO RESULTADO

O Quadro 2 apresenta os valores de Área Basal individual de cada uma das 24 unidades amostrais tomadas na simulação dos inventários florestais, quando foram utilizadas as amostragens, aleatória (repetida 5 vezes) e sistemática.

Os Inventários florestais foram simulados tomando 12,5% da população considerada e, por esta razão principalmente, as médias foram estimadas com um limite de erro inferior a 8%, dentro de 95% de chance para acerto na determinação da média verdadeira da população. A média verdadeira dessa população por unidade amostral, em 5000m², segundo Higuchi *et al.* (s.d.) é de 9,648 m². Com base nessa informação, todas as médias estimadas estão dentro do intervalo de confiança permitido.

Quanto às estimativas dos erros padrões de cada amostragem, a amostragem sistemática foi a que apresentou o menor erro, mesmo comparando com a amostragem aleatória em 5 diferentes oportunidades.

Isso em termos relativos significa que a amostragem sistemática foi 40% mais precisa que a amostragem aleatória no 1º sorteio, 52% no 2º sorteio, 27% no 3º Sorteio, 44% no 4º Sorteio e 36% no 5º Sorteio.

E quando foi utilizado o formulário da amostragem aleatória para a estimativa do erro padrão da amostragem sistemática, esta última ainda foi mais precisa em 3 ocasiões, com 2,1%, 11,1% e 4,9%, respectivamente no 1º Sorteio, 2º Sorteio e 4º Sorteio. A amostragem sistemática, neste caso, foi menos precisa que a amostragem aleatória quando com parada com o 3º Sorteio e 5º Sorteio, respectivamente com 7,8% e 0,5%.

Quadro 2. Valores de Área Basal (AB) por unidade Amostral (UA) - em m²/UA.

UA	AS	1ºSORTEIO	2ºSORTEIO	3ºSORTEIO	4ºSORTEIO	5ºSORTEIO
01	10,321	10,280	10,703	10,127	9,165	9,165
02	10,845	9,460	10,913	10,939	10,913	13,391
03	8,303	9,517	11,296	10,822	9,230	8,535
04	8,984	10,216	10,597	10,158	11,793	9,904
05	8,922	11,793	10,792	9,288	8,504	11,363
06	10,664	9,942	9,288	11,551	11,729	10,981
07	8,689	11,804	9,672	11,080	10,461	9,974
08	12,079	10,822	9,654	10,275	10,701	8,797
09	9,471	11,292	13,927	9,578	9,672	8,423
10	11,859	10,068	11,501	7,842	8,513	7,456
11	10,127	8,551	12,540	9,950	8,749	6,387
12	7,864	6,975	9,156	8,551	13,372	5,105
13	7,136	5,105	8,423	6,496	13,927	7,342
14	7,150	5,921	7,604	5,105	9,304	6,040
15	5,817	6,512	6,080	8,157	7,842	11,255
16	5,360	6,510	6,743	6,618	6,080	9,767
17	7,485	6,789	5,921	6,559	6,743	8,232
18	4,539	10,350	6,512	6,405	6,966	11,754
19	9,886	6,068	5,653	6,352	6,034	10,120
20	9,097	11,143	6,559	8,892	9,934	11,452
21	8,628	11,493	10,103	11,754	6,068	10,696
22	11,449	8,892	10,696	9,590	9,514	10,158
23	11,261	9,085	10,158	9,185	8,892	11,197
24	10,097	10,158	11,197	8,033	9,590	10,397
Σ	216,027	218,746	225,688	213,307	223,696	227,891
\bar{X}	9,001	9,114	9,404	8,888	9,321	9,495
s_x	0,283	0,395	0,430	0,359	0,406	0,385

AS = Amostragem Sistemática.

CONCLUSÃO

A amostragem sistemática confirmou também para as condições da floresta da Bacia 3, que é mais precisa que a amostragem aleatória, quando se pretende fazer inventários florestais comerciais por amostragem.

Isto significa que, além de permitir menos erros não amostrais em consequência de uma distribuição mais ordenada das unidades amostrais, a amostragem sistemática também apresenta o menor erro amostral e, por esta razão, é mais precisa que a amostragem aleatória.

Considerando apenas essas simulações, vale também afirmar que para a amostragem sistemática, a intensidade de amostragem poderia ser em torno de 40% menor que para a amostragem aleatória, o que daria, em consequência, custos de medição e de locomoção entre unidades amostrais também 40% menores.

E, como dentro da equação de custo de um Inventário Florestal, essas duas variáveis são de grande peso, tendo em vista que a terceira e última variável da equação, custo de administração (custo fixo), será igual para ambas amostragens, não resta dúvida quanto à economicidade em se utilizar a amostragem sistemática em vez da amostragem aleatória.

Essa conclusão vem de encontro com as expectativas de técnicos que trabalham com inventários florestais e, de certa forma, vêm também endossar trabalhos feitos anteriormente na região amazônica.

Nessa região, a carência de acesso, em todos aspectos, normalmente exerce papel importante na tomada de unidades amostrais e, mesmo dando igual probabilidade a todas as unidades potenciais da floresta, a alocação dessas é difícil e nem sempre no exato lugar onde foi planejado. Sendo assim, se por um lado, ganha-se em vigor na estimativa do erro amostral, perde-se, por outro lado, em custos e precisão do trabalho, sem contar com a oportunidade maior em se fazer uma supervisão/fiscalização mais severa nos trabalhos de campo com a amostragem sistemática.

De qualquer forma, para um Inventário Florestal rápido, barato e preciso, mesmo com o firme propósito em reduzir os erros não amostrais, uma prévia fotointerpretação da cobertura florestal que se pretende inventariar é imprescindível.

SUMMARY

An evaluation was made of the efficiency of systematic sampling in comparison with random sampling, both applied in forest inventory. The representative forest inventory, testing both sampling methods, was carried out at the Forest Management Basin (Bacia 3). Each method sampled 12.5 per cent of the 96 hectare forest area.

The efficiency was evaluated by calculating the standard error in each case. The systematic sampling has been shown to be more efficient than the random sampling in the Bacia 3.

Referências bibliográficas

- Bonilla, J. A. - 1975. El tipo de muestreo y su eficiencia en relevamientos forestales. **Revista Agronómica del Noroeste Argentino**, 12 (3-4): 283-292.
- Bonnor, G. M. - 1978. An evaluation of systematic sampling in Malaysian forest inventories. **Malaysian Forester**, 40 (4): 184-191. (FA 4683).
- Freese, F. - 1971. Elementary Forest Sampling. U.S. Department of Agriculture. Forest Service. **Agriculture Handbook**, 232: 1-91.
- Higuchi, N.; Jardim, F. C. S.; Santos, J.; Barbosa, A. P. - s.d. Bacia 3: Inventário Florestal comercial. **Acta Amazonica**. (no prelo).
- Higuchi, N.; Santos, J.; Jardim, F. C. S. - 1982. Tamanho de parcela amostral para inventários florestais. **Acta Amazonica** 12(1): 91-103.
- Husch, B. - 1971. **Planificación de un Inventario Forestal**. FAO, Roma, 135p.
- Husch, B.; Miller, C. I.; Beers, T. W. - 1972. **Forest mensuration**. New York, The Ronald Press Company. 410p.
- Spurr, S. H. - 1952. **Forest Inventory**. New York, The Ronald Press Company. 576p.
- Sukhatme, P. V. & Sukhatme, B. V. - 1970. **Sampling theory of surveys with application**. Iowa State University Press, Ames, Iowa, U.S.A. 452p.

(aceito para publicação em 07.07.1986)