



EFICIÊNCIA DE DIFERENTES PROCESSOS DE AMOSTRAGEM NO INVENTÁRIO FLORESTAL DE UMA FLORESTA DE TERRA FIRME NA AMAZÔNIA PARAENSE

Elce Lima Castro¹, Fernanda Kelly Ribeiro Gonçalves Leite¹, Fabio de Jesus Batista¹ ,
Deivison Venicio Souza² , Mateus Sabadi Schuh³ 

1 Universidade Federal Rural da Amazônia, Paragominas, PA, Brasil. E-mail: elce.castro19@gmail.com; fernkelly076@gmail.com; fabio.batista@ufra.edu.br

2 Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil. E-mail: deivisonvs@ufpa.br

3 Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: mateuschuh@gmail.com

Autora correspondente: Fernanda Kelly Ribeiro Gonçalves Leite. E-mail: fernkelly076@gmail.com.

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho analisar o inventário florestal realizado em 8.637 ha de uma floresta de Terra Firme, Paragominas-PA, comparando a eficiência dos procedimentos de amostragem simples ao acaso, conglomerado sem estratificação e conglomerado com pós-estratificação, na estimativa da produção florestal. Para análise dos dados foram instaladas de forma aleatória 47 unidades primárias, constituída por quatro subunidades 0,25 ha cada. Com base nos processos de amostragem, foram considerados quatro tratamentos: T1 - simples ao acaso (por unidade primária); T2 - simples ao acaso (por subunidade); T3 - conglomerado; e T4 - conglomerado com pós-estratificado. A definição do melhor tratamento foi com base no ranking das seguintes estatísticas: desvio padrão; precisão do inventário para a probabilidade (p) de 95%; suficiência da amostragem para o erro pré-definido de 10% e $p = 95\%$; e o custo total, em reais, da unidade de amostra (UA). O desvio padrão variou de $\pm 4,77$ a $\pm 46,64$ e o erro de amostragem teve pouca variação (4,59% a 6,76%). Já a suficiência amostral apresentou grande variação entre os tratamentos (14 a 42 UAs). O ranking evidenciou que o melhor tratamento foi o T4. Assim, conclui-se que a amostragem por conglomerado com pós-estratificação foi mais eficiente.

Palavras-chaves: Análise multivariada; Paragominas; pós-estratificação

EFFICIENCY OF DIFFERENT SAMPLING PROCESSES IN THE FOREST INVENTORY OF A FIRMLAND FOREST IN THE PARAENSE AMAZON, BRAZIL

ABSTRACT

The objective of this work was to analyze the forest inventory carried out in 8,637 ha of a Terra Firme forest, Paragominas-PA, Brazil, comparing the efficiency of simple random sampling procedures, conglomerate without stratification and conglomerate with post-stratification, in estimating forest production. For data analysis, 47 primary units randomly installed, consisting of four subunits of 0.25 ha each. Based on the sampling processes, four treatments were considered: T1 - simple at random (per primary unit); T2 - simple at random (by subunit); T3 - conglomerate; and T4 - conglomerate with post-stratified. The definition of the best treatment based on the ranking of the following statistics: standard deviation; inventory accuracy for probability (p) of 95%; sampling sufficiency for the predefined error of 10% and $p = 95\%$; and the total cost, in reais, of the sample unit (UA). The standard deviation ranged from ± 4.77 to ± 46.64 and the sampling error had little variation (4.59% to 6.76%). The sample sufficiency showed a great variation between treatments (14 to 42 AUs). The ranking showed that the best treatment was T4. Thus, it concluded that cluster sampling with post-stratification was more efficient.

Key words: *Multivariate analysis; Paragominas; post-stratification*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



INTRODUÇÃO

Há diferentes tipos de inventários florestais, classificados em função dos objetivos, da abrangência, da forma de obtenção dos dados em campo, da abordagem da população no tempo e do grau de detalhamento dos resultados (Pellico Netto & Brena, 1997).

O inventário é uma ferramenta que pode garantir o sucesso de um negócio quando o objetivo de um produtor é estabelecer um sistema de manejo florestal que vise rendimentos sustentáveis. Para tanto, o sistema de amostragem utilizado nos inventários florestais deve permitir que os dados coletados nas unidades amostrais forneçam uma estimativa adequada da população em estudo por meio de cálculos estatísticos (Veiga, 1984). Assim, dentre os processos de amostragem com igual probabilidade de seleção das unidades de amostra, destacam-se: amostragem casual simples, amostragem casual estratificada, amostragem multiestágio e amostragem multifase (Soares *et al.*, 2012).

Conforme Péllico Netto & Brena (1997), a pós-estratificação é a divisão de estratos efetuada após a coleta de dados, podendo ser identificada sua variabilidade e delimitação. Segundo os mesmos autores, a análise de variância (ANOVA) identifica se existe diferença significativa entre as médias dos estratos e caso ocorra diferença, a amostragem estratificada trará vantagens no que se refere a custo e precisão do inventário, quando comparada a amostragem simples ao acaso.

As florestas da Amazônia são complexas. É evidente a necessidade de dados e métodos que nos permitam aproximar sua compreensão para que possamos encontrar melhor abordagem para o desenvolvimento sustentável. A estatística e inventários florestais, sem dúvida são as ferramentas que temos para isso (Queiroz, 2021).

Objetivou-se analisar o inventário florestal realizado em uma floresta de Terra Firme, comparando a eficiência dos procedimentos de amostragem simples ao acaso, conglomerado sem estratificação e conglomerado com pós-estratificação, na estimativa da produção florestal.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na fazenda Caculé, área pertencente ao Grupo Keilla (FLORESTAL), localizada na Rodovia 010, Km 1.564, Zona Rural de Paragominas-PA. A área objeto deste levantamento possui 8.637ha. Foi distribuído um *grid* de coordenadas geográficas equidistantes 700 m, onde foram aleatorizados 47 pontos amostrais. Em cada ponto foi realizada a alocação de uma unidade primárias (conglomerado) em formato de Cruz de Malta, constituída de quatro unidades secundárias (subunidades) retangulares de 10 m x 250 m, orientadas na direção dos pontos cardeais e numeradas de 1 a 4. Todas as Unidades de Amostras (UA's) tiveram sua coordenada geográfica central coletadas por um receptor GNSS (Global Navigation Satellite System) de navegação da marca Garmin, modelo GPSMAP 64sc, e foram demarcadas com piquetes de madeira nas extremidades para facilitar a visualização dos limites das subunidades

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

em campo. A intensidade amostral do levantamento foi obtida pela razão entre a dimensão da área de estudo (8.637,00 ha) pela quantidade de UAs (47), que resultou em 183,7660 ha.

Para análise dos dados foram considerados os tratamentos: T1 – Processo de amostragem simples ao acaso, onde a UA foi o conglomerado (47 UAs); T2 – Processo de amostragem simples ao acaso por subunidade (188 UAs); T3 – Processo de amostragem por conglomerado (47 UAs); e T4 – Processo de amostragem por conglomerado com pós-estratificação (47 UAs). A quantidade de UAs do T2 corresponde ao nº de subunidades (4) x nº de conglomerados (47). Inicialmente, foi realizada a análise descritiva da população, em seguida, foi calculada a precisão dos inventários e, por fim, definida a estimativa da produção, com base na análise proposta por Péllico Netto e Brena (1997), Soares *et al.* (2012) e Sanquetta *et al.* (2023). Diferentemente dos demais tratamentos, o T4 exigiu uma análise prévia dos dados devido à necessidade de identificar os possíveis estratos existentes, com base nas seguintes variáveis: V/ha (m³), V max (m³), D max (cm), G (m²) e hc_max (m). Posteriormente, foi feita a análise de cluster não supervisionado e construído o agrupamento hierárquico, de acordo Ferreira *et al.* (2020). Depois de definir os estratos, efetuou-se a separação das UA's para realização da análise do IF, seguindo a metodologia da amostragem estratificada.

O cálculo de custo foi realizado de acordo com a metodologia de Péllico Netto & Brena (1997). O custo fixo existe em todo processo de amostragem e é representado pelos custos de administração, planejamento, processamento de dados, análise de resultados e elaboração de relatório, já o custo variável é o custo de levantamento sendo constituído por dois componentes básicos: custo médio de deslocamento entre unidades e custo médio de medição das unidades. Para cálculo dos custos as variáveis de referência foram: tempo (60 dias no total, sendo 45 dias de trabalho em campo e 15 dias no escritório); distância (o deslocamento de ida e volta até a área de estudo foi de 600 km somado à distância média de 20 km percorridos por dia); e o ano base de 2021.

A definição do melhor processo de amostragem foi realizada com base no ranking das estatísticas de precisão, isto é, atribuiu-se pesos, os quais foram ordenados de acordo com a sua eficiência, sendo atribuído o peso 1 para mais eficiente e assim sucessivamente. Foram consideradas as seguintes estatísticas: desvio padrão; precisão do inventário para a probabilidade (p) de 95%; suficiência da amostragem para o erro pré-definido de 10% e p = 95%; e o custo total da amostragem.

A preparação do banco de dados contou com o auxílio do programa Microsoft EXCEL®. Todas as análises estatísticas foram realizadas em linguagem R, versão 4.2 (R Core Team, 2022). Os pacotes trabalhados foram: corrplot, FactoMineR, ggplot2, factoextra, dendextend e gg dendro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

A correlação entre as variáveis utilizadas na análise multivariada demonstrou que apenas a máxima altura comercial foi inversamente proporcional, enquanto todas as demais foram positivamente correlacionadas. Oliveira *et al.* (2005) encontraram resultados semelhantes, onde houve correlação positiva entre a área basal por hectare com as variáveis do volume. A quantidade ideal de número de clusters, cuja heterogeneidade entre estratos foi validada pela análise de variância (anova), foi igual a quatro. A amostragem simples ao acaso por subunidade (T2) e a pós-estratificada (T4) apresentaram os menores erros de amostragem e ao mesmo tempo valores próximos entre si, já os tratamentos T1 e T3 registraram os maiores erros (Tabela 1). Barbosa *et al.* (2017), encontraram resultados semelhantes para 58 unidades de amostras, onde a amostragem pós-estratificada foi um dos melhores processos sendo a amostragem simples ao acaso o pior. Todos os tratamentos obtiveram erros de amostragem abaixo de 10%, o que é aceitável segundo Sanquetta *et al.* (2023), e valores relativamente próximos entre si. Essa estatística é gerada a partir de duas variáveis aleatórias (média e erro do inventário) e promove impacto nas estimativas de produção para mais ou menos caso haja flutuações consideradas (Alvarenga, 2012).

Tabela 1. Análise estatística das estimativas por diferentes processos de amostragem e pós-estratificação para os 47 pontos amostrais lançados no inventário florestal em floresta de TerraFirme na Fazenda Caculé, Paragominas-PA

C	T1	T2	T3 ¹	T4
Área Total (A) ha	8637	8637	8637	8637
Área UA (ha)	1	0,25 ¹	1	1
N	8637	34548	8637	8637
Unidades primárias (n)	47	-	47	47
Unidades secundárias (M)	-	188	4	-
r	-	-	0,36	-
Suficiência amostral	23	42	20	14
Erro%	6,75	4,59	6,76	4,95

¹ - neste tratamento a UA corresponde as subunidades; r - coeficiente de correlação intraconglomerado.

A instalação de 47 UAs (área de abrangência de 183,77 ha por UA), em 60 dias trabalhados, custou o valor total de R\$ 68.329,17. O pagamento da mão de obra respondeu por 53,81% dos custos totais das atividades em campo, ou seja, R\$ 36.768,42, sendo a linha de despesa mais representativa. Os demais custos, em ordem decrescente de participação, foram: veículo e combustível com 23,80% (R\$ 16.260,00); alimentação 12,04% (R\$ 8.225,00); e materiais e equipamentos 10,36% (R\$ 7.075,75).

Resultados semelhantes foram encontrados por Andrade *et al.* (2015), onde foram instaladas 204 parcelas na zona de manejo florestal não madeireiro da Floresta Nacional dos Tapajós, com intensidade de amostra de 153 ha por UA, cujo custo foi de R\$ 96.796,04. A mão de obra correspondeu a 79,94% do valor total (R\$ 77.375,00). Os demais custos foram com alimentação da equipe em campo (R\$ 13.858,22), medicamentos (R\$ 1.148,32) e material de consumo (R\$ 4.414,50). Para melhor entendimento da distribuição dos custos por unidade de amostra, calculou-se separadamente os custos fixos e variáveis, sendo o valor total por UA de R\$ 1.453,81. Deste montante, foi extraído o custo variável por UA de R\$ 520,96. Com os custos fixos e variáveis já

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

calculados foram obtidos os custos totais por tratamentos, desta forma, os tratamentos com menor e maior custo, considerando o erro de 10% e a probabilidade de 95% para a suficiência amostral, foram T4 (R\$ 20.353,37) e T2 (R\$61.060,11), respectivamente.

Observou-se que o processo de amostragem pós-estratificado (T4) foi o melhor colocado entre os tratamentos, apresentando o melhor resultado no ranqueamento (seis). Em contrapartida, o processo de amostragem simples ao acaso por conglomerado (T1) foi o que apresentou os piores resultados com soma de 13 pontos e os processos de amostragem simples ao acaso por subunidade (T2) e amostragem por conglomerado (T3) foram intermediários, somando 9 e 12 pontos.

Resultados semelhantes foram encontrados por Barbosa *et al.* (2017), onde no procedimento de pós-estratificação os dados foram inferiores aos demais processos, mostrando-se uma alternativa eficiente para a obtenção de estimativas precisas. Quando a estratificação é usada de forma eficaz, resulta em variância menor para valores médios e estimados do que uma amostra aleatória simples de extensão semelhante. Logo, pode-se dizer que o princípio da estratificação é diminuir a variância da média e a variância do total, em relação com suas similares da amostra simples ao acaso (Queiroz, 2012).

CONCLUSÃO

O processo de amostragem pós-estratificado, com distribuição das UAs em conglomerado foi o mais eficiente, sendo indicado para o inventário florestal com extensões de áreas e tipologias florestais semelhantes ao presente estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarenga, L. H. V. **Imagens de alta resolução e geoestatística na estratificação da fisionomia cerrado para inventários florestais**. 2012. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br:80/handle/123456789/13797>. Acesso em: 19 Mar. 2023.
- Andrade, D. F.; Gama, J. R. V.; Melo, L. O.; Ruschel, A. R. Inventário florestal de grandes áreas na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Amazônia, Brasil. **Biota Amazônia**, v. 5, n. 1, p. 109-115, 2015. <https://doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v5n1p109-115>.
- Barbosa, G. P.; Nogueira, G. S.; Oliveira, M. L. R. De; Machado, E. L. M.; Castro, R. V. O.; Dutra, G. C. Pós-estratificação em inventário florestal da vegetação arborea-arbustiva. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 155, p. 445-453, 2017. <https://doi.org/10.18671/scifor.v45n115.03>.
- Ferreira, R. R. M.; Paim, F. A. P.; Rodrigues, V. G. S.; Castro, G. S. A. **Análise de cluster não supervisionado em R: agrupamento hierárquico**. Campinas: Embrapa Territorial, 2020. 43p. (Embrapa Territorial. Documentos 133). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/217667/1/5360.pdf>. Acesso em: 15 Mar. 2023.
- Oliveira, M. L. R.; Soares, C. P. B.; Souza, C. P. B.; Leite, H. G. Equações de volume de povoamento para fragmentos florestais naturais do município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 29, n. 2, p. 213-225, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000200005>.
- Péllico Netto, S.; Brena, D. A. **Inventário florestal**. Curitiba: Os Autores, 1997. 316 p.
- Queiroz, W. T. **Amostragem em inventário florestal**. Belém UFRA, 2012. 441p.
- Queiroz, W. T. **Análise multivariada em inventário florestal contínuo**. 1.ed. Belo Horizonte: Poisson, 2021. 2071p. <https://doi.org/10.36229/978-65-5866-134-4>.
- R Core Team. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 20 Dez. 2022.
- Sanquetta, C. R.; Corte, A. P. D.; Rodrigues, A. L.; Watzlawick, L. F.; **Inventários florestais: planejamento e execução**. 4.ed. Curitiba: Multi Graphic, 2023. 409p.

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

Soares, C. P. B.; Paula Neto. F.; Souza, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2012. 272 p. Disponível em <http://www.mensuracaoflorestal.com.br/capitulo-3-teoria-de-amostragem>. Acesso em: 22 Abr. 2022.

Veiga, R. A. A. **Dendrometria e inventário florestal**. Botucatu: FEPAF, 1984. 108p. (Boletim didático, 1).