



COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE INVENTÁRIO FLORESTAL NA ESTIMATIVA DE VOLUME COMERCIAL EM PLANTIO DE *Eucalyptus* sp.

Jamile Moura de Lima¹, Sayuri Brito Ohaze¹, Luciana Maria de Barros Francez¹,

Deivison Venicio Souza², Fábio de Jesus Batista¹

1. Universidade Federal Rural da Amazônia, Paragominas, PA, Brasil. E-mail: millelima2564@gmail.com; ohazesayuri@gmail.com; luciana.francez@ufra.edu.br; fabio.batista@ufra.edu.br

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

Autora correspondente: Sayuri Brito Ohaze. E-mail: ohazesayuri@gmail.com.

RESUMO

Objetivou-se comparar a eficiência do inventário florestal na estimativa de volume comercial de *Eucalyptus* sp., considerando os métodos, por amostragem aleatória, de área fixa e Prodan. O estudo foi realizado em povoamento com cinco anos, Fazenda Piquiá, Paragominas-PA. O método de área fixa foi aplicado com base em diferentes tamanhos de parcelas, onde foram considerados três tratamentos: 30 (T1), 36 (T2) e 42 árvores (T3) mensuradas em 225 m², 270 m² e 315 m², respectivamente. Cada tratamento teve oito parcelas retangulares. Em Prodan, os pontos-amostrais foram instalados nas extremidades das parcelas de área fixa, sendo quatro pontos por parcela. Foram mensuradas as seis árvores mais próximas em cada ponto, na qual foram avaliadas quatro intensidades amostrais: oito (T4), 16 (T5), 24 (T6) e 32 pontos (T7). Coletou-se as circunferências dos fustes de todas as árvores nas parcelas e os dados de cubagem rigorosa em 25 árvores abatidas. Foram estimadas as variáveis altura comercial (modelo hipsométrico de Curtis) e volume comercial (Schumacher-Hall). As análises foram feitas na linguagem R. Não se encontrou diferenças nas estimativas do volume comercial entre os diferentes tratamentos. Todavia, a precisão do inventário foi superior no método de área fixa, com ênfase ao T2.

Palavras-chave: método de área variável; modelos preditivos; povoamentos florestais

COMPARISON BETWEEN FOREST INVENTORY METHODS IN ESTIMATING COMMERCIAL VOLUME IN *Eucalyptus* sp PLANTING

ABSTRACT

The objective was to compare the efficiency of the forest inventory in estimating the commercial volume of *Eucalyptus* sp., considering the random sampling, fixed area and Prodan methods. The study was carried out in a five-year-old stand, Piquiá farm, Paragominas-PA. The fixed area method was applied based on different plot sizes, where three treatments were considered: 30 (T1), 36 (T2) and 42 trees (T3) measured in 225 m², 270 m² and 315 m², respectively. Each treatment had eight rectangular plots. In Prodan, the sampling points were installed at the ends of the fixed area plots, with four points per plot. The six closest trees were measured at each point, in which four sampling intensities were evaluated: eight (T4), 16 (T5), 24 (T6) and 32 points (T7). Stem circumferences of all trees in the plots and accurate cubage data were collected from 25 felled trees. The variables commercial height (Curtis hypsometric model) and commercial volume (Schumacher-Hall) were estimated. The analyzes were performed in the R language. No differences were found in the estimates of commercial volume between the different treatments. However, the accuracy of the inventory was higher in the fixed area method, with emphasis on T2.

Key words: variable area method; forest stands; predictive models

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



INTRODUÇÃO

No setor florestal, para se ter o conhecimento sobre os recursos existentes em florestas nativas ou plantadas faz-se uso da medição ou da estimativa de atributos quantitativos e qualitativos da floresta, por meio de instrumentos e métodos apropriados (Husch *et al.*, 2003). Dentre estas técnicas de estimativa da produção florestal, destaca-se o inventário florestal. Ele vem como uma base para o manejo das florestas e para o planejamento das empresas florestais (Vibrans *et al.*, 2010).

A maioria dos inventários florestais são realizados com base em procedimentos estatísticos de amostragem. Por isto, tem-se a necessidade de empregar métodos de amostragem, de modo que se obtenha estimativas precisas das variáveis desejadas (Péllico Netto & Brena, 1997). E dentre esses métodos, está o método de Prodan, conhecido como o método das seis árvores, que é um método baseado em distância possui área variável; e o método de área fixa, sendo este o mais conhecido e usual dentre os métodos (Floriano, 2021).

Santos *et al.* (2013) observaram que alguns parâmetros, como variância, erro padrão da média e volume estimado não se diferiram estatisticamente entre os métodos de Prodan e área fixa, onde o método de área fixa se sobressaiu em relação ao de Prodan. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi comparar a eficiência de diferentes métodos de inventário florestal na estimativa de volume comercial de um povoamento de *Eucalyptus* sp., considerando os métodos de área fixa e variável (Prodan).

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado na Fazenda Piquiá, localizada à margem da Rodovia PA 125, Km 42, no município de Paragominas, mesorregião Sudeste do Estado do Pará. A área estabelecida para o experimento foi o talhão 104, que foi mapeado com um receptor GNSS (Global Navigation Satellite System) de navegação da marca Garmin, modelo GPSMAP 78s, com uma área total de 24,8630 ha, e coordenada central 3°18'31" S e 47°10'05" W. O talhão contém um povoamento clonal de *Eucalyptus* sp. (*Eucalyptus brassiana* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden), clone N°2049, com 5 anos de idade, plantado no espaçamento de 2,5m x 3m.

A coleta de dados foi feita por meio dos métodos de amostragem de área fixa e área variável (Prodan). Para evitar o efeito de borda, foi excluído do levantamento 20m de bordadura ao longo do talhão. A alocação das parcelas e/ou pontos amostrais foi sistematizada em grid de amostragem de 100 m por 100 m. O planejamento foi realizado com auxílio do Qgis versão 3.16. Em cada unidade amostral foram mensurados nas árvores a circunferência a 1,30m do solo (C), com ajuda de uma fita centimétrica.

No método de área fixa foram instaladas oito parcelas retangulares. Foram divididos três tratamentos, conforme a seguir: tratamento 1 (T1), medição de até 30 árvores; o tratamento 2 (T2), medição de até 36 árvores; e o tratamento 3 (T3) com a medição de até 42 árvores dentro

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

de uma única parcela. E assim foi feito para as oito parcelas. Quanto ao método de Prodan, os pontos amostrais foram instalados nas quatro extremidades de cada parcela de área fixa, totalizando 32 pontos amostrais. Nesta metodologia foram criados quatro tratamentos, identificados da seguinte forma: tratamento 4 (T4) com a medição de somente um ponto por parcelas, totalizando oito pontos; no tratamento 5 (T5) foram usados dois pontos por parcela, tendo 16 pontos no total; no tratamento 6 (T6) foram considerados três pontos por parcela, sendo o total de 24 pontos; e para o tratamento 7 (T7) foram incluídos os quatro pontos medidos em cada parcela, tendo, então, 32 pontos.

Foram derrubadas 25 árvores-amostras para a cubagem rigorosa ao longo do talhão. A seleção dessas árvores obedeceu a distribuição diamétrica do povoamento, onde foram considerados cinco classes de D, sendo cinco árvores-amostras por classe (centros de classe: 8,75 cm, 11,25 cm, 13,75 cm, 16,25 cm e 18,75 cm). As medidas em cada tora foram tomadas a 0,0 m; 0,3 m; 0,7 m; 1,3 m; 2,0 m e, após esta altura, em intervalos de 2,0 m até o limite da altura comercial. A altura comercial (Hm) foi tomada com ajuda de uma trena de 50 m. Os dados da cubagem rigorosa foram utilizados para o ajuste e validação das equações de altura e volume.

Os dados coletados foram transferidos para o programa Microsoft Excel®, onde foram realizados os cálculos de D (cm), área transversal (m²) de cada indivíduo, número de árvore por hectare e área basal (m² ha⁻¹). A estimativa para a metodologia de Prodan do número de árvore por hectare e área basal por hectare foram obtidas de acordo com Péllico Netto & Brena (1997).

Na estimativa da altura, foram testadas duas relações hipsométricas (Torey & Curtis), com base em técnicas de regressão. As 25 árvores-amostras foram separadas em dados para o ajuste (20 árvores) e validação (cinco árvores) da melhor equação. A escolha da melhor equação foi feita com base no ranqueamento das seguintes estatísticas de precisão: desvio padrão (S); coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2); e critério de informação de Akaike (AIC). Depois da escolha do melhor modelo, foi aplicado o teste Kolmogorov-Smirnov (KS) nos dados da equação escolhida para comparar o quão próximo esses dados estavam da distribuição de probabilidade da validação. Após isso, pode-se aplicar a equação na estimativa das alturas das árvores de todos os tratamentos.

O volume real foi determinado pela aplicação da fórmula de Smalian. Na sequência, os dados foram novamente separados em dados para o ajuste (20 árvores) e validação (cinco árvores). O modelo volumétrico empregado foi o proposto por Schumacher & Hall (1933). Foi avaliado desvio padrão e coeficiente de determinação ajustado. Para a validação, aplicou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov aos dados estimados e observados. Por fim, a equação ajustada foi usada na estimativa do volume comercial para todas as árvores inventariadas.

A comparação dos volumes entre os tratamentos foi feita depois do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. Se normais, a análise comparativa seria feita por meio de teste paramétrico, neste caso, a ANOVA; se não normais, seria feito por meio de teste não paramétrico,

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

o teste U de Mann-Whitney. Na análise comparativa, os dados foram uniformizados para hectare. Toda a análise foi realizada com auxílio da linguagem R (R Core Team, 2022).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos de área fixa (T1, T2 e T3) se sobressaem, em precisão do inventário, aos tratamentos de Prodan (T4, T5, T6 e T7) (Tabela 1). Os tratamentos de Prodan tendem a subestimar a média de volume por hectare quando comparados com as médias de volume dos tratamentos baseados em área fixa. Isto está relacionado ao maior número de árvores nas parcelas em área fixa.

Tabela 1. Precisão do inventário florestal em plantio de *Eucalyptus* sp., por tratamentos, na Fazenda Piquiá, Paragominas-PA

Tratamentos	Área Amostrada (m ²)	Nº de árvores ha ⁻¹	Média de volume (m ³ ha ⁻¹)	S	CV (%)	E (%)	n_campo	n
T1	225	1333,33	250,9028	±20,39	8,13	6,79	8	4
T2	270	1333,33	258,2471	±18,6	7,2	6,02	8	3
T3	315	1333,33	256,3838	±21,19	8,27	6,91	8	4
T4	53,88	1028,27	232,8445	±30,66	13,17	11,01	8	10
T5	52,81	1046,22	239,6045	±60,98	25,45	13,56	16	29
T6	52,59	1050,26	233,3791	±52,42	22,46	9,48	24	22
T7	52,57	1050,03	230,8569	±48,06	20,82	7,51	32	18

Em que: T1= Tratamento 1; T2= Tratamento 2; T3= Tratamento 3; T4= Tratamento 4; T5= Tratamento 5; T6= Tratamento 6; T7= Tratamento 7; S = desvio padrão; CV= coeficiente de variação; E= erro de amostragem; n = número ótimo de unidades de amostra com base no E = 10% e probabilidade de 95%

O modelo hipsométrico que apresentou a menor soma dos escores estatísticos foi o de Curtis ($R^2_{aj} = 0,9348$, $S = 0,0553$ e $AIC = -55,1387$), sendo este o indicado para a estimativa de altura comercial das árvores inventariadas. A validação apresentou um $KS = 0,4$ e $p = 0,87$, atestando a proximidade das alturas comerciais estimadas em relação a distribuição de probabilidade de referência, mostrando assim, que não houve diferença significativa. Machado *et al.* (2008), ao analisarem 13 modelos de relação hipsométrica em *Araucaria angustifolia*, perceberam que o modelo de Curtis obteve a melhor precisão e ajuste para os dados observados.

A equação de Schumacher-Hall (1933) obteve os seguintes resultados: $R^2_{aj} = 0,9854$ e $S = 0,06802$. Sendo assim, os dados se mostraram bem ajustados. A validação do modelo ajustado mostrou que não houve diferença significativa entre os dados, conforme o resultado de $KS = 0,2$ e $p = 1$. Em estudo de Santos *et al.* (2016), após as análises estatísticas de ajuste de três modelos para estimativa de volume por árvores, averiguou-se que o modelo de Schumacher-Hall obteve a melhor precisão entre os valores reais e estimados, em um plantio de *Eucalyptus* sp. aos 5 anos de idade, o mesmo identificado no presente estudo.

O resultado do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov foi de $KS = 0,092$ e $p = 0,3424$, sendo assim, os dados de volume se mostraram normais para todos os tratamentos. Com isso, foi aplicada a ANOVA. O F calculado (0,74) foi menor que o F crítico (2,19), logo, concluiu-se que

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

não houve diferença significativa entre os tratamentos e eles possuem efeitos semelhantes. Moscovich *et al.* (1992) identificaram que, o método de Prodan quando comparado com o de área fixa não teve diferença significativa entre seus tratamentos quanto a volume comercial.

CONCLUSÃO

Os tratamentos avaliados apresentaram semelhanças na estimativa da produção. Todavia, a precisão do inventário foi superior para o método de área fixa comparado ao método de Prodan, especialmente para o tratamento T2, com 36 árvores-amostras por parcela, sendo o mais indicado para a estimativa de produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Floriano, E. P. **Inventário florestal**. Rio Largo: UFAL, 2021. p.23-39.
- Husch, B.; Miller, C. I.; Kershaw, J. **Forest mensuration**. 4.ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003. p.443-456.
- Machado, S. A.; Nascimento, R. G. M.; Augustynczyk, A. L. D.; Silva, L. C. R. S.; Figura, M. A.; Pereira, E. M.; Téó, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 56, p.5-16, 2008. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/58>. Acesso em: 17 Fev. 2023.
- Moscovich, F. A.; Brena, D. A.; Longhi, S. J. Comparação de diferentes métodos de amostragem, de área fixa e variável, em uma floresta de *Araucaria angustifolia*. **Ciência Florestal**, v. 2, n. 1, p.173-191, 1992. <https://doi.org/10.5902/19805098375>.
- Péllico Netto, S; Brena, D. **Inventário florestal**. Curitiba: Os Autores, 1997. p. 14-26.
- 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: 10 Fev. 2023.
- Santos, F. E. V; Araújo, J. M; Andrade, W. C. Comparação dos métodos de amostragem parcela de área fixa e strand em floresta de eucalipto. **Revista Verde**, v. 8, n. 1, p.174-177, 2013. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/1841/1527>. Acesso em: 10 Fev. 2023.
- Santos, J. S.; Mendonça, A. R.; Silva, G. F.; Fraga Filho, C. V. Método de amostragem de Bitterlich: uma alternativa de inventário florestal para pequenas propriedades rurais fomentadas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.11, n.1, p.46-52, 2016. <https://doi.org/10.5039/agraria.v11i1a5358>
- Schumacher, F.X.; Hall, F.S. Logarithmic expression of tree volume. **Journal of Agricultural Research**, v. 47, n. 9, p.719-734, 1933. Disponível em: <https://naldc.nal.usda.gov/download/IND43968352/PDF>. Acesso em: 03 Mar. 2023.
- Vibrans, A. C. Sevgnani, L.; Lingner, D. V.; Gasper, A. L.; Sabbagh, S. Inventário florístico florestal de Santa Catarina (IFFSC): aspectos metodológicos e operacionais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p.291-302, 2010. <https://doi.org/10.4336/2010.pfb.30.64.291>.