

# ESTUDO DO MÉTODO DE PRODAN PARA ESTIMATIVA DA ÁREA BASAL EM UM POVOAMENTO FLORESTAL EQUIÂNEO

**Carlos Alberto Martinelli de Souza<sup>1</sup>; André Quintão de Almeida<sup>2</sup>; Rone Batista de Oliveira<sup>3</sup>; Alexandre Candido Xavier<sup>4</sup>; Julião Soares de Souza Lima<sup>5</sup>**

<sup>1,2</sup>CCA-UFES/Eng Florestal, [camartinelli5@gmail.com](mailto:camartinelli5@gmail.com), [aqa@gmail.com](mailto:aqa@gmail.com)

<sup>3-5</sup>CCA-UFES/Eng Rural, [ronebatista@hotmail.com](mailto:ronebatista@hotmail.com), [alexandre@cca.ufes.br](mailto:alexandre@cca.ufes.br), [juliao@cca.ufes.br](mailto:juliao@cca.ufes.br)

**Resumo** - A seringueira (*Hevea brasiliensis*) é uma das espécies alternativas que podem ser usadas para o suprimento de madeira, pois após o período em que seu uso principal é a produção de látex, esta pode ser aproveitada para processamento mecânico e energia. A importância dos inventários florestais está no fato de informarem sobre os recursos florestais existentes em uma determinada área. A realização dos inventários está vinculada à teoria da amostragem, as populações florestais são geralmente extensas, uma abordagem de 100% dos seus indivíduos se torna difícil e onerosa. O objetivo deste trabalho foi analisar a estimativa de área basal (G, m<sup>2</sup>/ha) de uma plantação de seringueira pela metodologia PRODAN. As medidas das áreas basais foram tomadas em um plantio estabelecido no município de Viana- ES. Pode-se citar como resultado: i) houve uma queda do coeficiente de variação (CV) da estimativa de área basal (G m<sup>2</sup>/ha) na medida em que se aumentou *n*-árvores e o número de unidades amostrais; ii) 6 unidades amostrais com 9-árvores foi a melhor combinação para se obter um CV = 10% da estimativa da AB.

**Palavras-chave:** amostragem; manejo florestal; mensuração, simulação.

**Área do Conhecimento:** Ciências Agrárias

## Introdução

O atual estágio de desenvolvimento tecnológico do Brasil exige planejamentos cada vez mais eficientes, visando suprir setores industriais com diferentes matérias-primas. A madeira, principal produto das florestas, é utilizada como matéria-prima em diferentes segmentos da indústria brasileira, podendo-se destacar a produção de papel e celulose, a indústria siderúrgica e o setor moveleiro. Com isso, o consumo é elevado e a exploração irracional ao longo dos anos diminuiu consideravelmente a disponibilidade das florestas naturais, o que torna necessário, o aumento dos reflorestamentos visando suprir a carência dessa matéria prima. A seringueira *Hevea brasiliensis* pertencente à família das **Euphorbiaceae**, é uma das opções que podem ser usadas para o suprimento de madeira, pois após o período em que seu uso principal é a produção de látex, esta pode ser aproveitada para fornecimento de madeira para processamento mecânico e energia.

A quantificação dos estoques que se tem nos povoamentos florestais é de fundamental importância para avaliação da produção madeireira e para obterem-se informações que permitam elaborar um adequado plano de manejo, visando atender as parcelas do mercado que lidam com tal matéria prima. Daí a importância dos inventários, pois eles visam informar sobre os recursos florestais existentes em uma determinada

área, sendo imprescindíveis às práticas de manejo.

O inventário florestal é um ramo da ciência florestal que trata dos métodos para se obterem informações a respeito da cobertura vegetal, tais como: volume e crescimento das árvores, qualidade e quantidade das espécies distribuídas em florestas naturais ou implantadas. Essas informações servem de base para a organização de planos de exploração e formulação de uma política florestal regional ou nacional.

A realização de inventários florestais está vinculada intimamente à teoria de amostragem. As populações florestais são geralmente extensas e uma abordagem exaustiva ou de 100% dos seus indivíduos se torna extremamente difícil e onerosa.

Diante do exposto, objetivo deste trabalho é o de analisar a estimativa de área basal (m<sup>2</sup>/ha) de uma plantação de seringueira pela metodologia PRODAN, só que com o número a ser medido por unidade amostral (*n*-árvores) variando de 2-árvores a 12-árvores. Para tanto utilizou-se dados da área basal coletadas em campo de todas as árvores de um talhão de seringueira e simulação da AB deste plantio por meio computacional.

## Materiais e Métodos

As medidas das circunferências à altura do peito (CAP) foram tomadas em maio de 2006 em plantio de seringueira estabelecido na fazenda

Tira-teima localizado aproximadamente em 20° 23'23,84" S e 40°29'28" W', no município de Viana no Estado do Espírito Santo. O plantio do povoamento ocorreu no ano de 1967 e tem os clones fx v25 e fx 2261. A área total da plantação foi de 2,15 ha, com espaçamento de 3 m entre árvores e 6 m entre as linhas de plantio. O talhão possui um total de 989 árvores, as medidas foram tomadas com o auxílio de uma trena, sendo anotadas as suas respectivas coordenadas locais, na unidade de metro (Figura 1). Algumas falhas na plantação foram observadas em campo, sendo as mesmas anotadas. A área basal (m<sup>2</sup>) de cada árvore, foi calculada considerando o tronco de forma circular.

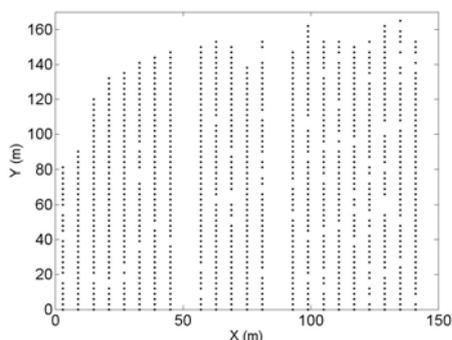


Figura 1 – Disposição espacial das árvores de seringueira na área de estudo.

Calculada a área basal de cada árvore, foi feita uma avaliação para verificar se houve ocorrência de regiões dentro do talhão com diferentes padrões de AB, o que acarretaria numa possível estratificação da área para locação das unidades amostrais. Para tanto, foi realizada uma análise com abordagem geoestatística, que visa fazer a avaliação da dependência espacial dos dados para posterior mapeamento espacial da variável biofísica estudada. Foi utilizado o software GS+ (Robertson, 1998), que adota o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a menor soma de quadrados dos resíduos para escolha do modelo teórico que melhor se ajusta ao semivariograma experimental.

Para a simulação da área basal por hectare (AB, m<sup>2</sup>/ha) foi utilizada a metodologia proposta por PRODAN (1968) citado por MOSCOVICH (2000). O estimador da AB ( $\hat{G}$ ) usa uma relação entre a área basal dentro de um círculo onde seu raio é à distância do centro da unidade amostral até  $n$ -árvore mais próxima. A Figura 2 exemplifica a metodologia considerando a medida com 6-árvores, conforme proposta original.

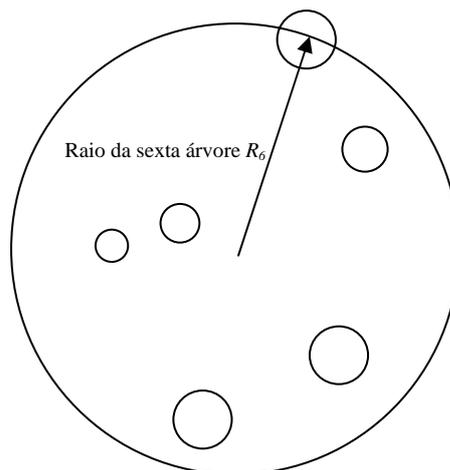


Figura 2 – Configuração de uma unidade amostral onde o raio circular é determinado pela distância entre o centro da unidade amostral à sexta árvore mais próxima.

Matematicamente, generalizando a metodologia de PRODAN para a estimativa da AB em uma unidade amostral com  $n$ -árvore, tem-se:

$$\hat{G}_i = \frac{2500}{R_n^2} \left( \sum_{j=1}^{n-1} d_{ji}^2 + \frac{d_{ni}^2}{2} \right)$$

em que:  $i=1, 2, \dots, m$ , sendo  $m$  o índice da unidade amostral onde a área basal está sendo estimada;  $j=1, 2, \dots, n$ , sendo  $n$  a  $n$ -árvore;  $d_j$  é o diâmetro medido de cada árvore mais próxima, em metros;  $R_n$  é o raio da  $n$ -árvore até o centro da unidade amostral (metros), dado por:

$R_n = a_n + 0,5d_n$ , em que:  $a_n$  é a distância do centro da unidade amostral até a  $n$ -árvore (metros). Tem-se então AB estimada de  $m$  unidades amostrais dada por:

$$\bar{G} = \frac{\sum_{i=1}^m \hat{G}_i}{m}$$

Na simulação, foi desenvolvida uma rotina computacional onde as posições das unidades amostrais foram determinadas sistematicamente em intervalos de  $\Delta x$  metros e metros dentro do talhão. Um total de 2.916 combinações de espaçamentos distintos de foram utilizados para as unidades amostrais. O espaçamento entre as diferentes combinações era aumentado de 2 m a mais entre em cada passo. Não foram utilizadas unidades amostrais que não estivessem a pelo menos 12 m da borda do talhão. Para cada uma das 2.916 combinações de espaçamento, o ponto inicial da sistematização era gerado aleatoriamente. Com o espaçamento em  $\Delta x$  e  $\Delta y$ , as posições das unidades amostrais eram estabelecidas, sendo então encontradas as  $n$ -árvores e calculada a AB. Este processo, para cada uma das 2.916 combinações, se repetiu 100 vezes, o que resultou em 100 diferentes posições das unidades amostrais dentro do talhão, logo 100

medidas de AB para um mesmo número de unidades amostrais e mesmo espaçamento entre as unidades amostrais. Vale salientar que para se avaliar o número de árvores a serem medidas por unidade amostral ( $n$ -árvores) considerou-se também, no cálculo da AB, diferentes  $n$ -árvores, variando de 2 a 12-árvores. Esta simulação teve um custo computacional de aproximadamente 10 horas utilizando computador com "clock" de 1.86GHz, 1024 MB de memória RAM e 2048 KB de "cache".

Na análise dos dados, foi feito uso de relações entre os CVs e o número de unidades amostrais para  $n$ -árvores utilizadas no cálculo da AB. As relações foram ajustadas ao modelo potencial:

$Y = aX^b$ , em que:  $Y$  é o CV;  $X$  é o número de unidades amostrais;  $a$  e  $b$  são os parâmetros a serem calculados. Os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e significância estatística (valor- $p$ ) são apresentados.

## Resultados e Discussão

Quanto à análise da variabilidade espacial da área basal baseada na geoestatística, verificou-se que não houve dependência espacial, resultado do modelo do semivariograma de efeito pepita puro (Figura 5). Desta forma, a média da AB explica o comportamento dos dados para distância de amostragem maior que a menor distância entre as árvores utilizada no experimento. Conforme Eguchi et al. (2002), a ausência de dependência espacial determina que a única estatística aplicável para avaliação destes atributos é a estatística clássica. Logo a estratificação da área de plantio não é aplicável para o talhão analisado neste trabalho.

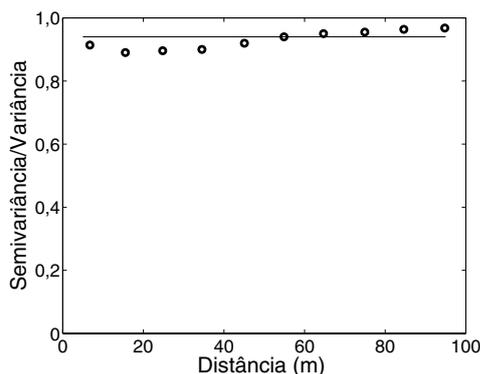


Figura 3 – Semivariograma da área basal de seringueira na plantação em estudo.

Na Figura 4 é mostrado o comportamento do CV para AB em relação as  $n$ -árvores no cálculo da AB. Não se está levando em consideração o número de unidades amostrais para cálculo da AB. Fica claro que na medida em que se aumentou  $n$ -árvores, houve uma queda do CV de forma potencial negativa, em que 42% da variação

do CV foi explicada por  $n$ -árvores. A partir de 8-árvores verificou-se que os valores de CV são similares, ou seja, não sendo notado grandes diminuições do CV da AB quando se aumenta  $n$ -árvores.

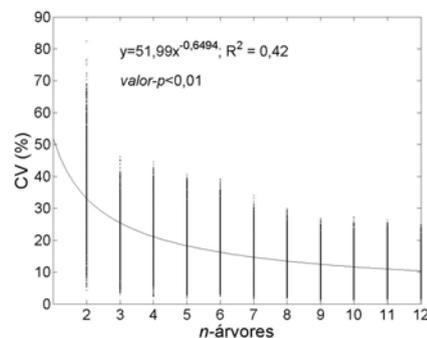


Figura 4 – Relação entre os CVs da AB calculados de  $n$ -árvores.

No Quadro 1 são apresentados os modelos de regressão dos CVs com o número de unidades amostrais, considerando de 2- a 12-árvores. Todas as relações foram significativas (valor- $p < 0,01$ ), onde pelo menos 52% da variação do CV foi explicada pelo número de unidades amostrais. Também é apresentado neste quadro o número de unidades amostrais a serem locadas e o número total de árvores a serem medidas para se obter um CV de 10% na estimativa de AB. Este resultado é conseguido invertendo os modelos de regressões encontrados. O maior e o menor número de unidades amostrais a serem medidas para se ter um CV de 10% de AB foi de 147 e 5, para 2- e 12-árvores, respectivamente, resultando na medição em campo de um total de 294 ( $147 \times 2$ ) e 60 ( $12 \times 5$ ) árvores. De forma geral, a partir de 7-árvores, resultou em valores semelhantes do número total de árvores a serem medidas em campo para se obter AB com 10% de CV. O menor número de árvores a serem medidas para se obter um CV de 10% foi de 54 árvores, combinação de 6 unidades amostrais e 9-árvores. Para 3-árvores resultou em um número total de árvores menor do que 4-árvores, tal resultado pode estar associado à distribuição uniforme das árvores do talhão. Neste trabalho não é analisado o custo de se medir as unidades amostrais com diferentes  $n$ -árvores. Logo, os números de unidades amostrais e o  $n$ -árvores sugeridos aqui não resultará, necessariamente, no levantamento mais eficiente, no que diz respeito aos custos. Sugere-se que posteriormente se faça um estudo levando-se em consideração o custo de operação em campo para se levantar parcelas com  $n$ -árvores. Lynch e Rusydi (1999), por exemplo, quando analisando a eficiência do levantamento em relação a  $n$ -árvores, encontrou 5-árvores como o mais eficiente para estimar volume e número de árvores uma plantação de teca.

Quadro 1 – Resultado geral das relações entre o CV e o número de unidades amostrais, segundo  $n$ -árvores.

N° de árvores por UA	Modelo	R <sup>2</sup>	N° de UA p/ um CV=10%	Total de árvores para um CV=10%
2	60,36x <sup>-0,36</sup>	0,58	147	294
3	35,98x <sup>-0,41</sup>	0,69	22	66
4	35,82x <sup>-0,39</sup>	0,52	27	108
5	33,61x <sup>-0,41</sup>	0,53	19	95
6	32,07x <sup>-0,43</sup>	0,59	15	90
7	26,87x <sup>-0,47</sup>	0,61	8	56
8	25,07x <sup>-0,48</sup>	0,66	7	56
9	22,84x <sup>-0,46</sup>	0,62	6	54
10	22,98x <sup>-0,46</sup>	0,62	6	60
11	22,72x <sup>-0,45</sup>	0,58	6	66
12	22,34x <sup>-0,47</sup>	0,61	5	60

### Conclusão

Neste trabalho foi desenvolvida uma metodologia robusta para se avaliar amostragem na estimativa da área basal de um povoamento de seringueira, segundo a metodologia de PRODAN, todavia com diferentes números de árvores a serem medidas por unidade amostral ( $n$ -árvores). Também foi considerado diferentes números de unidades amostrais para a estimativa da área basal.

Para o plantio de seringueira estudado, na medida em que se aumentou o número de unidades amostrais e o  $n$ -árvores, observou-se uma queda, do tipo potencial negativa, para o CV da área basal estimada. Quando se analisou o menor número de árvores a serem medidas em campo para se obter um CV de 10% na estimativa da área basal, encontrou-se o número de 6 unidades amostrais e 9-árvores.

Fica claro que o número de unidades e  $n$ -árvores sugeridos neste trabalho não deverá ser aplicado a outros plantios, uma vez que pode haver variabilidade espacial e de manejo distinto da plantação estudada, como por exemplo, espaçamento entre árvores diferentes, não uniforme, etc. Pretende-se aplicar esta metodologia para diferentes espécies florestais e variáveis biofísicas, como volume e altura de árvores.

### Referências

EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L.; OLIVEIRA, M.S. Variabilidade espacial da textura e da densidade de partículas em um solo aluvial no município de Lavras-MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.242-246,2006

LYNCH, T. B.; RUSYDI, R. Distance sampling for forest inventory in Indonesian teak plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 113, p. 215-221, 1999.

MOSCOVICH, F. A; BRENA, D. A. Comparación de los métodos de muestreo de área fija, bitterlich, prodan, strand y cuadrantes, en su eficiencia relativa aplicados a un bosque nativo de *Araucaria angustifolia*. **Décimas Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales** - Facultad de Ciencias Forestales -UNaM- EEA Montecarlo - INTAEI dorado, Misiones, Argentina, 2000.

ROBERTSON, G. P. **GS+ Geostatistics for the environmental sciences: GS+ User's Guide**. Plainwell, Gamma Design Software, 1998. 152p.

