

EFICIÊNCIA DE INVENTÁRIO FLORESTAL COM AMOSTRAGEM PONTO DE BITTERLICH E CONGLOMERADO EM LINHA EM PLANTAÇÃO DE *Pinus taeda*

João Paulo Druszcz¹, Nelson Yoshihiro Nakajima², Sylvio Péllico Netto²,
Sebastião do Amaral Machado², Anabel Aparecida de Mello³, Artur Padão Garcia Campos⁴

¹Eng. Florestal, Doutorando em Engenharia Florestal, UFPR, Curitiba, PR, Brasil -jppaulorz@yahoo.com.br

²Eng. Florestal, Dr., Depto. de Ciências Florestais, UFPR, Curitiba, PR, Brasil -nelson.nakajima@ufpr.br;
sylviopelliconetto@gmail.com;samachado@ufpr.br

³Eng^a Florestal, Dr^a., Depto. de Ciências Florestais, UFS, São Cristóvão, SE, Brasil -anabel_mello@yahoo.com.br

⁴Eng. Florestal, Consultor na STCP Engenharia, Curitiba, PR, Brasil -arturpcampos@hotmail.com

Recebido para publicação: 23/12/2011 – Aceito para publicação: 14/08/2012

Resumo

Este estudo foi conduzido em três diferentes condições de plantios de *Pinus taeda* L., sem desbastes, com 10, 9 e 7 anos de idade, 2.000 árvores por hectare e diferentes inclinações no terreno, localizados no estado do Paraná. O objetivo foi avaliar a eficiência do inventário utilizando-se a amostragem de área variável ponto de Bitterlich e de área fixa com conglomerado em linha, através da análise do comportamento quanto às precisões e eficiências relativas na estimativa das seguintes variáveis: diâmetro médio (cm), número de árvores por ha, área basal (m²/ha) e volume total (m³/ha). Para isso, utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com 40 unidades amostrais para o método ponto de Bitterlich (PB) e 10 unidades para o método de área fixa com conglomerado em linha (CL), sendo este composto por 4 subunidades. Concluiu-se que, para as variáveis diâmetro médio (cm) e número de árvores por ha, indica-se a utilização do método de área fixa com conglomerado em linha (CL), já que a eficiência para a obtenção dessas variáveis é maior. Já para as variáveis área basal (m²/ha) e volume (m³/ha), indica-se a utilização do método de área variável ponto de Bitterlich (PB), tendo em vista a maior eficiência no levantamento dessas variáveis.

Palavras-chave: Eficiência relativa; precisão; métodos de amostragem.

Abstract

Forest inventory efficiency with Bitterlich sampling method and line cluster sampling in Pinus taeda stands. This study was carried out in three different stands of *Pinus taeda* L., unthinned and aged 10,9 and 7 years. The stands have 2.000 trees per hectare and are located in Parana State. The aim was to evaluate the costs of inventories using Bitterlich Sampling and the sampling method with Line Cluster to analyze the accuracies behavior and relative efficiencies for estimation of the following variables: average diameter at breast height, number of trees, basal area and total volume per hectare. In order to that, it was taken a sample of 40 units to the PB method and 10 units for the CL method, which is composed of four subunits, and it was used the randomized block design. It was concluded that for the variable diameter (cm) and number of trees per ha it is indicated the use of the plot sampling with Cluster Line, since the efficiency to obtain these variables is greater. For the variables basal area per ha (m²) and total volume (m³) it is indicated the use of Bitterlich sampling method (PB), since the efficiency is greater in the survey of these variables.

Keywords: Relative efficiency; accuracy; sampling methods.

INTRODUÇÃO

A necessidade de saber a quantidade e qualidade dos estoques florestais e sua predição faz com que as empresas busquem informações através de inventários florestais, os quais são feitos com o uso das técnicas de amostragem. A obtenção dessas informações apresenta custos que aumentam com o grau de detalhamento, precisão requerida e eficiência da forma como as variáveis são obtidas, entre outras informações.

É comum dizer que, em qualquer aplicação de amostragem, precisão e custo são duas variáveis intimamente interligadas e que a especificação de uma implica automaticamente a determinação da outra (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

Avery e Burkhart (1983) afirmam que a melhor estrutura de amostragem de um dado problema de estimativa é aquela que estabelece a precisão desejada pelo menor custo. Para eles, isso é feito com o produto entre o quadrado do erro padrão e o tempo (custo = tempo).

Segundo Nakajima *et al.* (1997), a eficiência do método de amostragem selecionado (tipo, forma e tamanho) é influenciada em grande parte pela tipologia florestal, grau de degradação da floresta e pela topografia da área, sendo que a adequação do método de amostragem às condições florestais possibilitará um aumento na precisão nas estimativas das variáveis correntes de interesse e, conseqüentemente, uma redução do tempo de execução, o que refletirá na redução de custos, para um mesmo esforço de amostragem.

Sparcks *et al.* (2002) compararam estimativas de número de árvores em três plantios no sudeste de Oklahoma (EUA), usando parcelas circulares e quadradas de tamanho fixo e de tamanho variável. Concluíram que todas as parcelas foram eficientes quanto ao tempo de medição, mas as de área fixa forneceram estimativas mais precisas do número de árvores, independentemente das suas dimensões.

Mauricio *et al.* (2005), em seus estudos em plantios de *Pinus caribaeavar. Hondurensis* Barr. et Golf. no oriente da Venezuela, concluíram que o método de inventário com parcelas de área fixa é levemente mais preciso que o de área variável, principalmente quanto à estimativa da variável número de árvores. Os mesmos autores afirmam que a menor precisão do método de área variável é compensada pela maior velocidade de execução e economia nos custos de inventário.

Nakajima *et al.* (1996a), comparando a precisão de quatro métodos de amostragem usados para estimativa de valores em duas ocasiões para as variáveis número de árvores, área basal e volume em floresta de *Cryptomeria japonica* D. Don, em Kagoshima, Japão, obtiveram resultados que variaram para cada variável estimada. Para o número de árvores por hectare, o método de área fixa com parcela circular foi mais preciso em ambas as ocasiões, seguido pelo método de área fixa com parcela circular concêntrica. Para a área basal e volume por hectare, o método de área fixa com parcela circular concêntrica foi o mais preciso, seguido do método de Bitterlich e do método de área fixa com parcela circular. Eles também afirmam que, quanto à acurácia, o método de área fixa com parcela circular concêntrica foi em geral um pouco superior aos outros, apesar de não haver diferenças significativas entre eles. Entretanto, a seleção do método mais apropriado deve considerar o custo, o qual está diretamente relacionado com o tempo gasto no estabelecimento da parcela e coleta de dados.

Freese (1962) propõe incluir o custo como um indicador para comparar tamanhos de unidades amostrais, tendo ele importante participação no contexto de avaliação da eficiência das unidades amostrais de diferentes tamanhos, podendo-se ainda usar a combinação dos erros amostrais ou dos coeficientes de variação com os respectivos custos de amostragem.

Cesaro *et al.* (1994), em seu estudo, concluíram que o método de seis árvores e o da relascopia mostraram menor eficiência (60% e 80%, respectivamente), quando comparados com o de área fixa.

Moscovich *et al.* (1999), em estudo comparativo entre os métodos de área fixa, Strand, Prodan, quadrantes e Bitterlich para as estimativas do número de árvores, área basal e volume com casca por hectare, concluíram que o método mais eficiente foi o de Strand para todas as variáveis estimadas.

Péllico Netto e Brena (1997) relatam que, se o objetivo for comparar vários tamanhos simultaneamente, pode-se calcular o inverso dos produtos dos quadrados dos coeficientes de variação pelos respectivos custos e compará-los entre si.

Nakajima (1997) afirma que, para se comparar diferentes métodos de amostragem, como o de área fixa utilizando diferentes formas nas unidades amostrais, com os de área variável, como os métodos de Bitterliche Strand, deve-se “transformar” os métodos para uma mesma base de comparação, como a padronização do número de árvores por unidade amostral.

O objetivo deste estudo foi comparar a eficiência de inventários florestais realizados com os métodos de amostragem de área variável ponto de Bitterlich (PB) e amostragem de área fixa com conglomerado em linha (CL) para as estimativas correntes das variáveis diâmetro médio, número de árvores, área basal e volume total, por hectare, em plantios de *Pinus taeda* L., através de suas precisões e eficiências relativas. Nesse contexto, parte-se da hipótese de que não existem diferenças significativas estatisticamente entre custos em inventários florestais realizados por ambos os métodos de amostragem, isto é, quaisquer diferenças observadas são devidas exclusivamente aos fatores não controlados ou ao acaso.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área deste estudo está localizada na região de Ponta Grossa, estado do Paraná. As coordenadas geográficas são 24°04'44" de latitude sul e 50°05'49" de longitude oeste. O clima é classificado como Cfb de Köppen, ou seja, clima subtropical úmido, mesotérmico, com verões frescos, geadas severas demasiado frequentes e sem estação seca, sendo a precipitação anual média acima de 1.400mm, com chuvas bem distribuídas durante o ano. A temperatura média anual nos meses mais frios é inferior a 18 °C, enquanto que a média anual dos meses mais quentes é superior a 22°C (BOGNOLA *et al.*, 2002).

Os talhões utilizados neste estudo são de *Pinus taeda* L., sem desbastes, com espaçamentos de 2,00 m por 2,50 m. As unidades amostrais foram alocadas em 3 diferentes talhões, denominados de condições 1, 2 e 3. A condição 1 têm área de efetivo plantio igual a 52,10 ha, idade de 10 anos e topografia com inclinação média de 4°; a condição 2 tem área de efetivo plantio igual a 41,52 ha, idade de 7 anos e topografia com inclinação média de 5,5°; e a condição 3 tem área de efetivo plantio igual a 32,86 ha, idade de 9 anos e topografia com inclinação média de 6,5°. As três condições totalizam uma área de 126,48 ha.

Delineamento experimental utilizado

O delineamento experimental utilizado foi o casualizado em blocos com repetições, isto é, cada condição topográfica/etária foi considerada um bloco e dentro de cada um deles foram sorteados ao acaso 40 pontos amostrais para o método ponto de Bitterlich (PB) e 10 pontos amostrais para o método de área fixa com conglomerado em linhas (CL). Para o controle das condições experimentais, esses pontos amostrais foram utilizados para os dois métodos.

Equações volumétricas e hipsométricas utilizadas

Os volumes e alturas totais das árvores foram estimados por meio das equações a seguir, utilizadas para cada uma das condições, as quais foram geradas com dados deste levantamento.

Condição 1

Equação de volume total, com casca, para árvore individual (modelo Schumacher-Hall)

$$\ln \hat{V}_i = -10.60677097 + 1.957938764 \cdot \ln DAP_i + 1.190197992 \cdot \ln H_i$$

Equação hipsométrica para altura total (modelo de Curtis)

$$\ln \hat{H}_i = 3.484364 + 21.30533 \cdot (1/DAP_i) + 107.0489 \cdot (1/DAP_i^2)$$

Condição 2

Equação de volume total, com casca, para árvore individual (modelo Schumacher-Hall)

$$\ln \hat{V}_i = -9.678855718 + 1.961111183 \cdot \ln DAP_i + 0.825826416 \cdot \ln H_i$$

Equação hipsométrica para altura total (modelo de Ogawa)

$$1/\hat{H}_i = 0.05204485 + 0.800028 \cdot 1/DAP_i$$

Condição 3

Equação de volume total, com casca, para árvore individual (modelo Schumacher-Hall)

$$\ln \hat{V}_i = -9.584241626 + 1.908064397 \cdot \ln DAP_i + 0.863903449 \cdot \ln H_i$$

Equação hipsométrica para altura total (modelo de Trorey)

$$\hat{H}_i = 9.81649817 - 0.06224807 \cdot DAP_i + 0.00778248 \cdot DAP_i^2$$

Método de amostragem ponto de Bitterlich (PB)

Este método consiste no uso do relascópio de Bitterlich para a seleção das árvores. Fazendo-se uma rotação de 360 graus em cada ponto amostral, as árvores são selecionadas com probabilidade

proporcional ao quadrado do seu diâmetro, ou seja, serão selecionadas aquelas cujo diâmetro à altura do peito (DAP) seja igual ou maior à abertura do ângulo de visada do aparelho utilizado. Com base em Machado e Figueiredo Filho (2003), a presença de árvores cuja abertura do ângulo de visada for igual ao DAP gera dúvida quanto a sua seleção ou não e, na prática, para não descaracterizar uma das principais vantagens do método, que é a rapidez da execução do ponto amostral, definiu-se como critério de inclusão apenas 50% das árvores duvidosas, ou seja, metade dessas árvores entra na contagem e a outra metade não.

Neste estudo foi utilizado o fator de área basal dois (FAB 2), porque, com o uso do FAB 3 ou 4, poucas árvores seriam selecionadas por ponto amostral e, conseqüentemente, diminuiria sua precisão. Já com o FAB 1 seriam selecionadas muitas árvores, dificultando o trabalho de campo. A escolha desse fator de área basal é ratificada com as citações em Machado e Figueiredo Filho (2003), no qual Bitterlich (1984) e Silva (1977) relatam que a banda adequada é aquela que conta de 20 a 30 árvores por giro e que, como regra geral, a escolha da banda mais adequada deve ser feita com base na suposta área basal (área basal entre 20 e 40 m²/ha usar Banda 2).

As fórmulas usadas para as estimativas das variáveis foram sugeridas por Nishizawa, citado por Nakajima (1997).

$$dm = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{g_i} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{g_i} \right)}$$

$$N = k \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{g_i} \right)$$

$$G = kn$$

$$V = k \sum_{i=1}^n \left(\frac{v_i}{g_i} \right)$$

Em que: dm = diâmetro médio (cm);

N = número de árvores por hectare;

G = área basal por hectare (m²/ha);

V = volume por hectare (m³/ha);

k = fator de área basal ($k = 2$);

n = número de árvores selecionadas por ponto de amostragem;

d_i = diâmetro da árvore “i” selecionada (cm);

g_i = área transversal da árvore “i” selecionada (m²);

v_i = volume da árvore “i” selecionada (m³).

Método de amostragem com conglomerado em linha (CL)

A amostragem por conglomerados ou grupos é uma variação do método de amostragem de área fixa, em que, ao invés de se utilizarem unidades amostrais individuais, seu arranjo espacial é feito em grupo ou conglomerado de pequenas subunidades. Neste estudo, foram utilizadas subunidades amostrais com diferentes áreas, ou seja, para cada condição foi determinado um raio. Na condição 1, o raio da subunidade amostral foi de 6,75 m, que corresponde a uma área de 143,14 m² ou 0,0143 ha. Para a condição 2, o raio da subunidade amostral foi de 5,65 m, que corresponde a uma área de 100,29 m² ou 0,01 ha. Para a condição 3, o raio da subunidade amostral foi de 5,60 m, que corresponde a uma área de 98,52 m² ou 0,0099 ha. A distância entre os centros das subunidades foi calculada da seguinte forma: uma distância fixa de 10 m entre bordas das subunidades, mais os raios que, para as condições acima mencionadas, geraram uma distância entre os centros das subunidades de 23,50 m, 21,30 m e 21,20 m.

As fórmulas usadas para as estimativas das variáveis foram sugeridas por Queiroz (1998), modificadas por Druszcz (2008).

$$\overline{d}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{n_{ijk}} d_{ijk}}{n_{ijk}}$$

$$dm = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M \overline{d}_{ij}}{nM}$$

$$NA = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M n_{ij}}{n.M} \right) \frac{1}{s}$$

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M \left(\sum_{k=1}^{n_{ijk}} g_{ijk} \right)}{nM} \frac{1}{s}$$

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M \left(\sum_{k=1}^{n_{ijk}} v_{ijk} \right)}{nM} \frac{1}{s}$$

Em que: n = número de unidades primárias ou conglomerados amostrados;

M = número de subunidades que compõem cada conglomerado;

Dm = diâmetro médio do conglomerado (cm);

NA = número de árvores por hectare;

G = área basal por hectare (m²/ha);

V = volume por hectare (m³/ha);

\bar{d}_{ij} = diâmetro médio das árvores selecionadas na subunidade “j” do conglomerado “i”;

n_{ijk} = número de árvores “k” selecionada na subunidade “j” no conglomerado “i”;

g_{ijk} = área basal da árvore “k” selecionada na subunidade “j” no conglomerado “i”;

v_{ijk} = volume da árvore “k” selecionada na subunidade “j” no conglomerado “i”;

s = área da subunidade circular (ha).

Intensidade amostral ou repetições

No presente estudo, cada método foi conduzido em três diferentes condições topográficas e etárias, com uma intensidade amostral de 40 unidades para cada condição no método PB e 10 unidades para o método CL. O processo de amostragem adotado para sorteio das unidades amostrais na área do estudo foi o inteiramente ao acaso.

Com base em Nakajima *et al.* (1997), como o método de amostragem ponto de Bitterlich (PB) é um método de área variável, isto é, não possui uma área definida, e o método com conglomerado em linha (CL) é um método de área fixa, com quatro subunidades, uma forma de transformar os dois diferentes métodos (método de área variável versus método de área fixa) para uma mesma base de comparação foi ajustar o “tamanho” da amostra dos dois métodos de maneira tal que contivesse, aproximadamente, a mesma quantidade de árvores. Os mesmos pontos de amostragem foram mantidos para os dois métodos.

Método da eficiência relativa (ER)

Para o cálculo de eficiência relativa, foram consideradas todas as variáveis estimadas em cada método de amostragem.

Freese, citado por Péllico Netto e Brena (1997), considera os tempos médios de mensuração em cada um dos métodos e os coeficientes de variação obtidos. No caso do presente trabalho, o método que apresentar maior valor de eficiência relativa é o mais eficiente, calculado pela seguinte fórmula:

$$ER = \frac{1}{T_i CV^2}$$

Em que: ER = eficiência relativa;

T_i = tempo de medição da unidade amostral “i”;

CV = coeficiente de variação.

Sendo assim, pode-se, com a eficiência relativa, comparar os métodos e mostrar qual teve melhor desempenho, atendendo ao limite de erro estipulado.

Método de medição

Para estimativa das variáveis diâmetro médio, número de árvores, área basal e volume total, por hectare, foram coletados dados de diâmetro à altura do peito (DAP) e também foram medidas, com o auxílio do hipsômetro de Blume-Leiss, as alturas de 120 árvores ao acaso presentes nas unidades amostrais. Adicionalmente, foi mensurado o tempo de implantação e a medição das parcelas, com o auxílio de um cronômetro digital.

Instrumentos e materiais utilizados na medição

No método PB, utilizou-se o método indireto para a seleção das árvores inclusas na parcela e direto para a medição dos CAPs. Já para o método CL, foram usados os seguintes instrumentos e materiais:

- Para o método de amostragem ponto de Bitterlich (PB): relascópio de Bitterlich para a seleção das árvores da parcela, fita métrica graduada em milímetros para medição das circunferências à altura do peito (CAPs), giz para marcação das árvores medidas, estaca para marcação do ponto amostral, ficha de campo, prancheta, lapiseira e borracha.
- Para o método de amostragem de área fixa com conglomerado em linha (CL): estaca (mesmo ponto amostral do PB), trena para medição do raio da parcela, fita métrica para medição das CAPs, giz, ficha de campo, prancheta, lapiseira e borracha.

Análises estatísticas

Análise estatística para o método de amostragem ponto de Bitterlich (PB)

Para o método de amostragem ponto de Bitterlich (PB), as análises estatísticas foram realizadas por meio das seguintes fórmulas, conforme Péllico Netto e Brena (1997):

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i)}{n}$$

$$s_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

$$s_x = \sqrt{s_x^2}$$

$$s_x^- = \pm \frac{s_x}{\sqrt{n}}$$

$$cv = \frac{s_x}{\bar{x}} 100$$

$$er = \pm \frac{ts_x^-}{\bar{x}} 100$$

$$ic = \bar{x} \pm ts_x^-$$

Em que: \bar{x} = média da variável x;

x_i = valor de cada variável x;

n = número de unidades amostrais;

s^2 = variância;

S = desvio padrão;

s_x^- = erro padrão;

er = erro de amostragem em porcentagem;

t = valor tabelar de Student ($t_{(39;0.05)} = 2,023$);

ic = intervalo de confiança.

Para esse método, a população foi considerada infinita, sendo o erro máximo admissível de 10%, com 95% de probabilidade.

Análise estatística para o método de amostragem com conglomerado em linha (CL)

Para o método de amostragem de área fixa com conglomerado em linha (CL), as análises estatísticas foram realizadas por meio das seguintes fórmulas, conforme Péllico Netto e Brena (1997):

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M X_{ij}}{nM}$$

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^M X_{ij}}{M}$$

$$s_x^2 = s_e^2 + s_d^2$$

$$s_d^2 = MQ_{dentro} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M (X_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n(M-1)}$$

$$s_e^2 = \frac{MQ_{entre} - MQ_{dentro}}{M}$$

em que $MQ_{entre} = \frac{\sum_{i=1}^n M(\bar{x}_i - \bar{x})^2}{n-1}$

$$r = \frac{s_e^2}{s_e^2 + s_d^2}$$

$$s_x^2 = \frac{s_x^2}{nM} [1 + r(M-1)]$$

$$s = \sqrt{s_e^2 + s_d^2}$$

$$cv = \frac{s}{\bar{x}} 100$$

$$s_x^- = \sqrt{s_x^2}$$

$$er = \pm \frac{ts_x^-}{\bar{x}} 100$$

$$ic = \pm ts_x^-$$

Em que: \bar{x} = média da população por subunidade;
 \bar{x}_i = média das subunidades por conglomerado;
 n = número de conglomerados amostrados;
 s_x^2 = variância da população por subunidade;
 s_e^2 = variância entre conglomerados;
 s_d^2 = variância dentro dos conglomerados;
 MQ_{entre} = quadrado médio entre os conglomerados;
 MQ_{dentro} = quadrado médio dentro dos conglomerados;
 r = coeficiente de correlação intra conglomerados;
 s_x^2 = variância da média;
 s = desvio padrão;
 s_x^- = erro padrão;
 cv = coeficiente de variação;
 er = erro de amostragem em porcentagem;
 t = valor tabelar de Student ($t_{(09;0.05)} = 2,262$);
 ic = intervalo de confiança.

Para esse método, a população foi considerada infinita, sendo o erro máximo admissível de 10%, com 95% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Número de árvores amostradas por unidade amostral ou parcela

Foram medidas as CAPs de 4.613 árvores em 150 unidades amostrais instaladas em uma área experimental de 126,48 ha. Na tabela 1, é apresentado o número de árvores amostradas em cada unidade amostral ou parcela, por condição e método.

Tabela 1. Número de árvores por unidade amostral para as três condições.

Table 1. Number of trees by sampling unit for the three conditions.

Unidade amostral	Condição 1		Condição 2		Condição 3	
	PB	CL	PB	CL	PB	CL
1	20	91	17	74	19	74
2	17	94	19	79	17	74
3	18	96	19	77	16	72
4	21	88	19	82	19	73
5	21	100	20	75	16	71
6	20	98	19	75	16	71
7	22	102	18	75	20	72
8	23	88	20	74	18	75
9	22	88	18	70	15	77
10	21	93	16	79	17	80
11	19		18		15	
12	20		20		18	
13	19		17		18	
14	21		18		16	
15	19		19		18	
16	21		15		18	
17	18		16		15	
18	18		20		16	
19	21		18		14	
20	20		18		17	
21	21		21		15	
22	20		19		15	
23	18		15		14	
24	18		17		16	
25	21		16		14	
26	22		18		16	
27	19		17		17	
28	18		15		17	
29	16		18		14	
30	18		17		18	
31	20		20		14	
32	21		17		16	
33	25		20		20	
34	24		17		14	
35	22		18		19	
36	25		18		17	
37	18		16		14	
38	18		16		16	
39	18		17		16	
40	20		17		20	
Soma	803	938	713	760	660	739
Média	20	23	18	19	17	18

O tamanho da amostra dos dois métodos foi ajustado de forma que contivesse, aproximadamente, o mesmo número de árvores. Devido à dificuldade nesse ajuste, observa-se que o número de árvores amostrado pelo CL foi 10,4% maior que o PB, em média.

Estimativa das variáveis pelos métodos PB e CL

Na tabela 2 está apresentado o resumo das estimativas dos valores das variáveis DAP médio (cm), número de árvores por ha, área basal (m²/ha) e volume total (m³/ha) para cada condição.

Tabela 2. Estimativa das variáveis DAP médio, número de árvores, área basal e volume por ha para as três condições.

Table 2. Estimate of the variables DBH average, number of trees, basal area and volume by ha for the three conditions.

Variáveis	Condição 1		Condição 2		Condição 3	
	PB	CL	PB	CL	PB	CL
DAP médio (cm)	17,1	16,5	15,9	16,1	15,2	15,3
Número de árvores/ha	1723	1638	1768	1895	1764	1875
Área basal/ha (m ²)	40,2	36,9	35,7	39,7	33,0	35,7
Volume/ha (m ³)	261,3	235,0	169,9	189,8	176,4	191,2

Análises estatísticas das variáveis estimadas pelos dois métodos

O resumo das análises estatísticas das variáveis DAP médio (cm), número de árvores por ha, área basal (m²/ha) e volume total (m³/ha) está apresentado nas tabelas 3, 4, 5 e 6, respectivamente.

Tabela 3. Análises estatísticas para o DAP médio estimado para as três condições.

Table 3. Statistical analyses for estimating DBH average for the three conditions.

Análise estatística	Condição 1		Condição 2		Condição 3	
	PB	CL	PB	CL	PB	CL
Desvio padrão (cm)	±1,29	±0,96	±1,34	±0,88	±0,91	±0,84
Erro padrão (cm)	±0,20	±0,22	±0,21	±0,21	±0,14	±0,15
Coefficiente de variação (%)	7,58	5,84	8,40	5,47	5,96	5,51
Erro de amostragem (%)	±2,42	±2,75	±2,69	±2,61	±1,90	±2,00
Intervalo de confiança (cm)	±0,41	±0,45	±0,43	±0,42	±0,29	±0,31

Tabela 4. Análises estatísticas para o número de árvores estimado para as três condições.

Table 4. Statistical analyses for estimating number of trees for the three conditions.

Análise estatística	Condição 1		Condição 2		Condição 3	
	PB	CL	PB	CL	PB	CL
Desvio padrão (N/ha)	±306,55	±130,00	±310,71	±204,48	±280,84	±174,34
Erro padrão (N/ha)	±48,47	±28,38	±49,13	±26,54	±44,41	±22,84
Coefficiente de variação (%)	17,79	7,94	17,57	10,79	15,92	9,30
Erro de amostragem (%)	±5,69	±3,50	±5,62	±2,83	±5,09	±2,46
Intervalo de confiança (N/ha)	±98,04	±57,40	± 99,37	±53,68	±89,82	±46,19

Tabela 5. Análises estatísticas para a área basal estimada para as três condições.

Table 5. Statistical analyses for estimating basal area for the three conditions.

Análise estatística	Condição 1		Condição 2		Condição 3	
	PB	CL	PB	CL	PB	CL
Desvio padrão (m ² /ha)	±4,16	±4,84	±3,10	±3,49	±3,62	±4,23
Erro padrão (m ² /ha)	±0,66	±1,20	±0,49	±0,50	±0,57	±0,71
Coefficiente de variação (%)	10,36	13,11	8,70	8,78	10,98	11,84
Erro de amostragem (%)	±3,31	±6,57	±2,78	±2,56	±3,51	±4,01
Intervalo de confiança (m ² /ha)	±1,33	±2,43	±0,99	±1,02	±1,16	±1,43

Tabela 6. Análises estatísticas para o volume estimado para as três condições.

Table 6. Statistical analyses for estimating volume for the three conditions.

Análise estatística	Condição 1		Condição 2		Condição 3	
	PB	CL	PB	CL	PB	CL
Desvio padrão (m ³ /ha)	±31,41	±35,74	±15,48	±18,20	±19,26	±23,61
Erro padrão (m ³ /ha)	±4,97	±8,99	±2,45	±3,06	±3,05	±4,04
Coefficiente de variação (%)	12,02	15,21	9,11	9,59	10,92	12,35
Erro de amostragem (%)	±3,84	±7,74	±2,91	±3,27	±3,49	±4,28
Intervalo de confiança (m ³ /ha)	±10,05	±18,19	±4,95	±6,20	±6,16	±8,17

De acordo com a tabela 3, para a estimativa do diâmetro médio, o menor erro de amostragem foi obtido para o método ponto de Bitterlich (PB). Yoshida (1991), em reflorestamento de cedro japonês (*Cryptomeria japonica* D. Don), obteve a seguinte classificação: método de Strand, parcela circular, parcela circular concêntrica e método de Bitterlich.

Conforme a tabela 4, para a estimativa do número de árvores por hectare, o menor erro de amostragem foi obtido para o método de amostragem de área fixa com conglomerado em linha (CL). Nakajima *et al.* (1995, 1996), nas florestas de Shiragadake, Japão, obtiveram a seguinte classificação (quanto à precisão nas estimativas dessas mesmas variáveis): parcela circular, parcela circular concêntrica e método de Strand.

Conforme as tabelas 5 e 6, para a estimativa de área basal e volume total, por hectare, os menores erros de amostragem foram obtidos para o método de amostragem ponto de Bitterlich (PB), mesmo com a desvantagem de ter amostrado 10,4% menos árvores que o método CL.

Para a área basal, Nakajima *et al.* (1995, 1996), nas florestas de Shiragadake, Japão, obtiveram a seguinte classificação da precisão: método de Bitterlich, parcela circular concêntrica, método de Strand e parcela circular.

Já para o volume, Mahrer e Vollenweider (1983), em reflorestamentos na Suíça, obtiveram a seguinte classificação: parcela circular concêntrica, método de Strand, método de Bitterlich e parcela circular.

Classificação dos métodos PB e CL quanto à precisão

A classificação dos métodos de amostragem na precisão das estimativas das variáveis é apresentada na tabela 7.

Tabela 7. Classificação dos métodos com base no erro de amostragem.

Table 7. Classification of methods based on error of sampling.

Classificação	1º Lugar	2º Lugar
DAP médio (cm)	PB	CL
Número de árvores (N/ha)	CL	PB
Área Basal (m ² /ha)	PB	CL
Volume (m ³ /ha)	PB	CL

A tabela 7 mostra que, para a estimativa do diâmetro médio, área basal e volume, por hectare, o método PB foi superior, e, para o número de árvores, por hectare, o método CL foi melhor.

Comparação da eficiência relativa entre os métodos PB e CL

Para análise da eficiência relativa entre os dois métodos, foram consideradas as três condições simultaneamente.

Classificação dos métodos PB e CL quanto à eficiência relativa

Na análise de variância (ANOVA) da eficiência relativa para as variáveis diâmetro médio e número de árvores por hectare, o teste F para blocos e tratamentos foi não significativo no nível de 5% de probabilidade, aceitando-se a hipótese de nulidade, a qual diz não existirem diferenças estatisticamente significativas entre os blocos e tratamentos, ou seja, os blocos não influem nas estimativas das variáveis analisadas, não se justificando o controle local feito através dos mesmos, como também não existem

diferenças significativas entre os tratamentos. Já para a variável área basal e volume total por hectare, o teste F para blocos e tratamentos foi significativo no nível de 5% de probabilidade, ou seja, tanto os blocos quanto os tratamentos não possuem efeitos semelhantes sobre as variáveis analisadas. Dessa forma, como são apenas dois tratamentos, não se justifica a realização de testes de contraste de médias e dá-se preferência para o método de amostragem com maior eficiência, que neste caso é o método de amostragem de área variável PB.

A tabela 8 mostra que, na estimativa do diâmetro médio e número de árvores, por hectare, o método CL foi mais eficiente, e que na estimativa da área basal e volume total, por hectare, o método PB foi mais eficiente.

Tabela 8. Eficiência relativa comparada para as três condições.

Table 8. Relative compared efficiency for the three conditions.

Método	Tempo médio (minutos)	DAP (cm)		Árvores/ha		Área basal (m ² /ha)		Volume (m ³ /ha)	
		cv%	ER	cv%	ER	cv%	ER	cv%	ER
Condição 1									
PB	93,88	7,58	1,86	17,79	0,34	10,36	0,99	12,02	0,74
CL	141,52	5,84	2,07	7,94	1,12	13,11	0,41	15,21	0,31
Condição 2									
PB	74,36	8,40	1,91	17,57	0,44	8,70	1,78	9,11	1,62
CL	106,05	5,47	3,15	10,79	0,81	8,78	1,22	9,59	1,03
Condição 3									
PB	71,58	5,96	3,94	15,92	0,55	10,98	1,16	10,92	1,17
CL	115,60	5,51	2,85	9,30	1,00	11,84	0,62	12,35	0,57
Média									
PB	79,94	7,31	2,57	17,09	0,44	10,01	1,31	10,68	1,18
CL	121,06	5,61	2,69	9,34	0,98	11,24	0,75	12,38	0,64
Diferença média (valor absoluto)		0,12		0,53		0,56		0,54	

Na análise da variável diâmetro médio (cm), conforme a tabela 8, a diferença média da eficiência relativa entre os métodos é de 0,12 a favor do CL. Isso significa que o CL é 4,5% mais eficiente em média no levantamento dessa variável, sendo que não houve diferença estatisticamente significativa entre as eficiências relativas dos métodos.

Na análise da variável número de árvores por ha, conforme a tabela 8, a diferença média da eficiência relativa entre os métodos é de 0,53 a favor do CL. Isso significa que o referido método é 54,6% mais eficiente, em média, no levantamento dessa variável, sendo que há diferença estatisticamente significativa entre as eficiências relativas dos métodos.

Já na análise da área basal (m²/ha) e volume total (m³/ha), conforme a tabela 8, a diferença média da eficiência relativa entre os métodos foi de 0,56 e 0,54 a favor do PB. Isso significa que o PB é 42,7% e 45,9% mais eficiente, em média, no levantamento dessas variáveis, sendo que há diferença estatisticamente significativa entre as eficiências relativas dos métodos.

CONCLUSÕES

- Para as variáveis diâmetro médio (cm) e número de árvores por ha, indica-se a utilização do método de área fixa com conglomerado em linha (CL), por ser mais preciso e mais eficiente nessas condições.
- Já para as variáveis área basal (m²/ha) e volume total (m³/ha), indica-se a utilização do método de área variável ponto de Bitterlich (PB), que é mais preciso e mais eficiente no levantamento dessas mesmas variáveis nessas condições.

REFERÊNCIAS

AVERY, T. E.; BURKHART, H. **Forest measurements**. New York, McGraw-Hill Book Company, 1983. 331 p.

- BOGNOLA, I.; POTTER, R. O.; CARVALHO, A. P.; FASOLO, P. J.; BHERING, S. B.; MARTORANO, L. G. Caracterização dos solos do município de Carambeí - PR. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, p. 75, 2002.
- CESARO, A.; ENGEL, O. A.; FINGER, C. O. G.; SCHNEIDER, P. R. Comparação dos métodos de amostragem de área fixa, relascopia e de seis árvores, quanto a eficiência, no inventário florestal de um povoamento de *Pinus* sp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 4, n.1, p. 97 - 108, 1994.
- DRUSZCZ, J. P. **Comparação do método de Bitterlich com três variações estruturais do método de área fixa com unidades circulares em plantio de *Pinus taeda* L.** 120 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- FREESE, F. **Elementary forest sampling**. Washington: Forest Service, Agriculture Handbook, n. 232, 1962, 91 p.
- MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba, 2003, p. 309.
- MAHRER, F.; VOLLENWEIDER, C. **National forest inventory**. Swiss Federal Institute of Forestry Research, 1983, 26 p.
- MAURICIO, J.; VINCENT, L.; MORET, A. Y.; QUEVEDO, A. Comparación entre modalidades de muestreo en plantaciones de Pino Caribe en el oriente de Venezuela. **Revista Forestal Venezolana**, Mérida, v. 49, n. 1, p. 17 - 25, 2005.
- MOSCOVICH, F. A.; BRENA, B. A.; LONGHI, S.J. Comparação de diferentes métodos de amostragem, de área fixa e variável, em uma floresta de *Araucaria angustifolia*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 173 - 191, 1999.
- NAKAJIMA, N. Y.; YOSHIDA, S.; IMANAGA, M. Comparison among four ground-survey methods as a continuous forest inventory system for forest management. **J. Jpn. For. Soc.**, Kagoshima, v. 77, n. 6, p. 573 - 580, 1995.
- _____. Comparison of the accuracies of four ground - survey methods used for estimating forest stand values on two occasions. **J. For. Plann.**, Kagoshima, p. 137 - 144, 1996.
- NAKAJIMA, N. Y. **Comparison of four ground - survey methods when used as permanent samples in the continuous forest inventory for forest management**. 91 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – The United Graduate School of Agricultural Sciences, Kagoshima University, Kagoshima, 1997.
- NAKAJIMA, N. Y.; KIRCHNER, F. F.; SANQUETTA, C. R.; POSONSKI, M. **Elaboração de um sistema de amostragem para estimativa de valores correntes e mudança/crescimento em reflorestamento de *Pinus***. Curitiba: CNPq/UFPR, 1998. 33 p. (CNPq – Pesquisa na modalidade recém-doutor). Projeto concluído.
- PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. **Inventário florestal**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1997. 316 p.
- QUEIROZ, W. T. **Técnicas de amostragem em inventário florestal nos trópicos**. Belém. 1998. 147 p.
- SPARKS, J.; MASTERS, R.; PAYTON, M. Comparative evaluation of accuracy and efficiency of six forest sampling methods. **Proc. Okla. Acad. Sci.**, Oklahoma, p.49 - 56, 2002.
- YOSHIDA, S. **Studies on the continuous forest inventory system**: comparison of survey methods on the ground. The Bulletin of the Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Kagoshima, 1991.