

EFICIÊNCIA DE DUAS VARIAÇÕES ESTRUTURAIS DO MÉTODO DE AMOSTRAGEM DE ÁREA FIXA EM PLANTAÇÕES DE *Pinus taeda*

João Paulo Druszc¹, Nelson Yoshihiro Nakajima², Sylvio Péllico Netto²,
Sebastião do Amaral Machado², Nelson Carlos Rosot, Rogério Bamberg⁴

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

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

⁴Eng. Florestal, Mestrando em Engenharia Florestal, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - rogeriobamberg@yahoo.com.br

Recebido para publicação: 20/11/2012 – Aceito para publicação: 12/09/2013

Resumo

Este estudo foi conduzido em três diferentes condições de plantações 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 florestal, utilizando-se a amostragem de área fixa com a estrutura de parcela circular (PC) e conglomerado em cruz (CC), através da análise do comportamento quanto às precisões e eficiências relativas nas estimativas 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 a PC e 10 unidades para o CC, sendo este composto por 4 subunidades circulares. Concluiu-se que, para as variáveis diâmetro médio (cm), número de árvores (N/ha), área basal (m²/ha) e volume total (m³/ha), indica-se a utilização do método de área fixa com PC, tendo em vista a maior eficiência no levantamento dessas variáveis.

Palavras-chave: Eficiência relativa; precisão; reflorestamento.

Abstract

Structural efficiency of two variations of method of sampling of fixed area in plantations of Pinus taeda. 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 efficiency of inventories using circular plot (PC) and cross cluster (CC) by analyses of behavior towards accuracies and relative efficiencies for estimation of the following variables: average diameter at breast height, number of trees, basal area and total volume per hectare. For this study, it was taken a sample of 40 units to the PC structure and 10 units for the CC structure, which is composed of four circular subunits, and it was used the randomized block design. It was concluded that for the variable diameter (cm), number of trees (ha), basal area (m²/ha) and total volume (m³/ha) it is indicated the use of PC, since its greater efficiency in the survey of these variables.

Keywords: Relative efficiency; accuracy; reforestation.

INTRODUÇÃO

O inventário florestal é a ferramenta básica para a obtenção fidedigna de informações necessárias ao planejamento da produção e manejo florestal em empreendimentos de base florestal e, apesar de inovações tecnológicas, como, por exemplo, a tecnologia LiDAR (light detection and ranging), as técnicas de amostragem em campo para a coleta de informações quantitativas e qualitativas dos estoques florestais, por enquanto, dificilmente serão abolidas. Porém, para a obtenção dessas informações, há um custo, que aumenta quanto mais detalhes, nível de precisão e velocidade são requeridos.

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.

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 os pesquisadores Péllico Netto e Brena (1997), em qualquer aplicação de amostragem, a precisão e custo são duas variáveis intimamente interligadas, e a especificação de uma implica automaticamente a determinação da outra. 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 compararem diferentes métodos de amostragem, como o de área fixa, utilizando-se diferentes formas nas unidades amostrais, com os de área variável, como os métodos de Bitterlich e Strand, deve-se “transformar” os métodos para uma mesma base de comparação, como a padronização do número de árvores por unidade amostral. Segundo Nakajima (1998), a eficiência dos diferentes métodos de amostragem (tipo, forma e tamanho das parcelas) varia de acordo com o tipo florestal (florestas plantadas ou naturais), com as condições da floresta e com a topografia da região de estudo, entre outros aspectos. Ainda conforme Nakajima (1997), a adequação do método de amostragem para as condições da topografia e da floresta possibilitará um aumento na precisão, para um mesmo esforço de amostragem, nas estimativas das variáveis de interesse e, conseqüentemente, uma redução do tempo de execução, o que refletirá na redução de custos.

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 caribaea* Barr. et Golf. na parte oriental 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.

Druszcz *et al.* (2010), no estudo da comparação entre o método de amostragem de Bitterlich e o de área fixa com parcela circular, na obtenção das variáveis diâmetro médio, número de árvores, área basal e volume, por hectare, conduzido em plantios de *Pinus taeda* L. no estado do Paraná, concluíram que, para as condições pesquisadas, o método de área fixa com parcela circular foi mais preciso e eficiente na obtenção das variáveis *diâmetro médio* e *número de árvores por hectare*; e, para a obtenção das variáveis *área basal* e *volume*, por hectare, o método de Bitterlich.

Nakajima *et al.* (2011) estudaram a precisão do método de amostragem em linha e com parcela circular concêntrica em plantios de *Pinus elliottii* Engelm., no sul do estado de São Paulo, para as variáveis diâmetro médio, número de árvores, área basal e volume, por hectare, e concluíram que, para as condições estudadas, o método de amostragem em linha foi superior.

Druszcz *et al.* (2012), no estudo da precisão e eficiência dos métodos de amostragem de área variável de Bitterlich e de área fixa com conglomerado em cruz, conduzido em plantios de *Pinus taeda* L. localizados no estado do Paraná, verificaram que, para as condições pesquisadas, o método de Bitterlich foi mais preciso e eficiente na obtenção das variáveis *diâmetro médio*, *área basal* e *volume*, por hectare, e o método de área fixa com conglomerado em cruz foi mais preciso e eficiente na obtenção da variável *número de árvores*. Druszcz *et al.* (2012), em estudo da eficiência em inventário florestal, utilizando a amostragem ponto de Bitterlich e conglomerado em linha, conduzido em plantios de *Pinus taeda* L. localizados no estado do Paraná, concluíram que, para as condições pesquisadas, o método de área fixa com conglomerado em linha foi mais preciso e eficiente na obtenção das variáveis *diâmetro médio* e *número de árvores*, por hectare, e para as variáveis *área basal* e *volume*, por hectare, o método de Bitterlich foi mais preciso e eficiente.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi comparar a eficiência de duas variações estruturais do método de área fixa, ou seja, parcela circular (PC) versus conglomerado em cruz (CC), em inventário florestal para as estimativas correntes das variáveis diâmetro médio (cm), número de árvores (N/ha), área basal (m²/ha) e volume total (m³/ha), em plantações 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 a eficiência em inventários florestais realizados por ambas as variações estruturais, 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 1.400 mm, 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 tem área de efetivo plantio igual a 52,10 ha, idade de 10 anos e topografia com 4° de inclinação média; a condição 2 tem área de efetivo plantio igual a 41,52 ha, idade de 7 anos e topografia com 5,5° de inclinação média; e a condição 3 tem área de efetivo plantio igual a 32,86 ha, idade de 9 anos e topografia com 6,5° de inclinação média. As três condições totalizam uma área de 126,48 ha.

Delineamento experimental utilizado

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados 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 de área fixa com parcela circular (PC) e 10 pontos amostrais para o método de área fixa com conglomerado em cruz (CC). Para o controle das condições experimentais, esses pontos amostrais foram utilizados para os dois métodos.

Equações volumétrica e hipsométrica utilizadas

Os volumes e alturas totais das árvores foram estimados por meio das seguintes equações 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):

$$\ln \hat{V}_i = -10,60677 + 1,95794 \cdot \ln DAP_i + 1,19020 \cdot \ln H_i$$

Equação hipsométrica para altura total (Modelo de Curtis):

$$\ln \hat{H}_i = 3,48436 + 21,30533 \cdot (1/DAP_i) + 107,04890 \cdot (1/DAP_i^2)$$

Condição 2

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

$$\ln \hat{V}_i = -9,67886 + 1,96111 \cdot \ln DAP_i + 0,82583 \cdot \ln H_i$$

Equação hipsométrica para altura total (Modelo de Ogawa):

$$1/\hat{H}_i = 0,052045 + 0,80003 \cdot 1/DAP_i$$

Condição 3

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

$$\ln \hat{V}_i = -9,58424 + 1,90806 \cdot \ln DAP_i + 0,86390 \cdot \ln H_i$$

Equação hipsométrica para altura total (Modelo de Trorey):

$$\hat{H}_i = 9,81650 - 0,06225 \cdot DAP_i + 0,00778 \cdot DAP_i^2$$

Método de área fixa com parcela circular (PC)

Segundo Sanquetta *et al.* (2009), as unidades circulares ainda são menos utilizadas no Brasil que as retangulares e quadradas, porém seu uso vem sendo cada vez mais frequente em inventários florestais. Na condição 1, o raio da unidade 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 unidade amostral foi de 5,65 m, que corresponde a uma área de 100,29 m² ou 0,01 ha, e, para a condição 3, o raio da unidade amostral foi de 5,60 m, que corresponde a uma área de 98,52 m² ou 0,0099 ha. As fórmulas usadas para as estimativas das variáveis foram sugeridas por Nishizawa (1972).

$$dm = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \qquad N = \frac{n}{a}$$

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n g_i}{a} \qquad V = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{a}$$

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);

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).

a = área da parcela circular (ha).

Método de área fixa com conglomerado em cruz (CC)

As unidades de amostra em conglomerados são casos especiais de unidades amostrais de área fixa circulares, quadradas ou retangulares, em que se reúne um grupo de subunidades para compor uma unidade principal denominada conglomerado ou *cluster*, em inglês (SANQUETTA *et al.*, 2009). 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, e 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).

$$\overline{d}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{n_{jk}} d_{ijk}}{n_{ijk}} \qquad dm = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M \overline{d}_{ij}}{nM}$$

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

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

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 estrutura foi conduzida em três diferentes condições topográficas/etárias, com uma intensidade amostral de 40 unidades para cada condição para a estrutura com PC e 10 unidades para a estrutura com CC. O processo de amostragem adotado para sorteio das unidades amostrais na área do estudo foi o inteiramente ao acaso.

Método da eficiência relativa (ER)

Para o cálculo de eficiência relativa, foram consideradas todas as variáveis estimadas em ambas as estruturas do método de área fixa.

Freese (1962) considera os tempos médios de mensuração em cada uma das estruturas e os coeficientes de variação obtidos. No caso do presente trabalho, a estrutura que apresentar maior valor de eficiência relativa é a mais eficiente, calculada 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 eficiência relativa, comparar as duas estruturas do método de área fixa e mostrar qual delas teve melhor desempenho, atendendo ao limite de erro estipulado.

Método de medição

Para estimativa das variáveis diâmetro médio (cm), número de árvores por (N/ha), área basal (m²/ha) e volume total (m³/ha), 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

As medições das árvores inclusas nas parcelas foram feitas pelo método direto, tanto para a PC quanto para o CC, com o uso dos seguintes instrumentos e materiais: estaca para marcação do ponto

amostral, trena para medição do raio da parcela e/ou raio das subunidades, fita métrica graduada em milímetros para medição das circunferências à altura do peito (CAPs) e material para anotação.

Análises estatísticas

Análise estatística para a estrutura com parcela circular (PC)

Para a amostragem utilizando a PC, 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 esta estrutura, a população foi considerada infinita, sendo o erro máximo admissível de 10% e a probabilidade baseada em 95%.

Análise estatística para a estrutura com conglomerado em cruz (CC)

Para a amostragem utilizando o CC, as análises estatísticas foram realizadas por meio das seguintes fórmulas, sugeridas por Péllico Netto e Brena (1997):

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

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

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

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

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

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;
 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;
 QM_{entre} = quadrado médio entre os conglomerados;
 QM_{dentro} = quadrado médio dentro das subunidades dentro dos conglomerados;
 r = coeficiente de correlação intraconglomerados;
 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 esta estrutura, 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 4.830 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 estrutura.

O tamanho da amostra das duas estruturas foi o mesmo, porém observa-se que o número de árvores amostrado pela PC foi 1,7% maior que pelo CC, em média.

Estimativa das variáveis pelas estruturas PC e CC

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

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	
	PC	CC	PC	CC	PC	CC
1	23	93	18	75	20	70
2	22	95	20	77	18	77
3	22	85	19	71	19	72
4	22	92	20	81	18	78
5	22	94	20	73	18	66
6	24	86	21	78	18	70
7	22	92	20	79	17	69
8	24	90	18	73	18	75
9	24	102	19	67	18	81
10	23	87	19	74	18	73
11	23		19		16	
12	25		19		19	
13	21		16		18	
14	20		21		20	
15	22		21		18	
16	24		20		20	
17	22		17		17	
18	24		23		18	
19	23		19		16	
20	24		20		18	
21	25		19		19	
22	25		18		19	
23	23		19		17	
24	23		23		18	
25	26		19		19	
26	24		18		19	
27	24		18		18	
28	25		16		19	
29	22		16		18	
30	24		19		19	
31	21		22		18	
32	23		20		19	
33	25		21		18	
34	25		21		20	
35	22		19		20	
36	23		18		20	
37	25		19		18	
38	22		19		17	
39	23		22		19	
40	21		17		20	
Soma	927	916	772	748	736	731
Média	23	23	19	19	18	18

Tabela 2. Estimativa das variáveis DAP médio (cm), número de árvores (N/ha), área basal (m²/ha) e volume total (m³/ha) para as três condições.

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

Variáveis	Condição 1		Condição 2		Condição 3	
	PC	CC	PC	CC	PC	CC
DAP médio (cm)	16,6	16,5	16,0	16,0	15,3	15,1
Número de árvores/ha	1619	1600	1924	1865	1868	1855
Área basal/ha (m ²)	36,94	36,24	40,15	38,90	35,90	34,76
Volume/ha (m ³)	237,24	231,87	191,96	185,78	192,56	185,88

Análises estatísticas das variáveis estimadas pelas duas estruturas

Os resumos das análises estatísticas das variáveis DAP médio (cm), número de árvores (N/ha), área basal (m²/ha) e volume total (m³/ha), estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3. Análises estatísticas para o DAP médio (cm), número de árvores (N/ha), área basal (m²/ha) e volume total (m³/ha) estimado para as três condições.

Table 3. Statistical analyses for estimating mean DBH, number of trees, basal area and volume for the three conditions.

DAP médio (cm)	Condição 1		Condição 2		Condição 3	
	PC	CC	PC	CC	PC	CC
Desvio padrão (cm)	±0,89	±1,02	±0,96	±0,93	±0,87	±0,89
Erro padrão (cm)	±0,14	±0,26	±0,15	±0,24	±0,14	±0,22
Coefficiente de variação (%)	5,34	6,17	5,98	5,83	5,65	5,91
Erro de amostragem (%)	±1,71	±3,20	±1,91	±3,08	±1,81	±2,89
Intervalo de confiança (cm)	±0,28	±0,53	±0,31	±0,49	±0,28	±0,44
Número de árvores/ha	Condição 1		Condição 2		Condição 3	
	PC	CC	PC	CC	PC	CC
Desvio padrão (N/ha)	±97,38	±133,12	±170,78	±182,96	±107,32	±203,85
Erro padrão (N/ha)	±15,40	±27,70	±27,00	±32,57	±16,97	±37,15
Coefficiente de variação (%)	6,01	8,32	8,87	9,81	5,75	10,99
Erro de amostragem (%)	±1,92	±3,50	±2,84	±3,53	±1,84	±4,05
Intervalo de confiança (N/ha)	±31,14	±56,03	± 54,62	±65,87	±34,32	±75,14
Área basal (m ² /ha)	Condição 1		Condição 2		Condição 3	
	PC	CC	PC	CC	PC	CC
Desvio padrão (m ² /ha)	±3,54	±5,24	±5,02	±4,22	±4,05	±4,03
Erro padrão (m ² /ha)	±0,56	±1,36	±0,79	±0,76	±0,64	±0,74
Coefficiente de variação (%)	9,60	14,47	12,51	10,84	11,27	11,59
Erro de amostragem (%)	±3,07	±7,57	±4,00	±3,94	±3,61	±4,28
Intervalo de confiança (m ² /ha)	±1,13	±2,74	±1,61	±1,53	±1,29	±1,49
Volume total (m ³ /ha)	Condição 1		Condição 2		Condição 3	
	PC	CC	PC	CC	PC	CC
Desvio padrão (m ³ /ha)	±26,93	±38,43	±26,67	±22,37	±23,05	±22,23
Erro padrão (m ³ /ha)	±4,26	±10,04	±4,22	±4,35	±3,64	±4,20
Coefficiente de variação (%)	11,35	16,58	13,89	12,04	11,97	11,96
Erro de amostragem (%)	±3,63	±8,76	±4,44	±4,73	±3,83	±4,57
Intervalo de confiança (m ³ /ha)	±8,61	±20,32	±8,53	±8,79	±7,37	±8,50

De acordo com a tabela 3, para a estimativa do diâmetro médio (cm), o menor erro de amostragem foi obtido para a parcela circular (PC). 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 3, para a estimativa do número de árvores (N/ha), o menor erro de amostragem foi obtido para o método de amostragem de área fixa com parcela circular (PC). 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 a tabela 3, para a estimativa de área basal (m²/ha) e volume total (m³/ha), os menores erros de amostragem foram obtidos para o método de amostragem de área fixa com parcela circular (PC), sendo que, para a variável área basal, na condição 2, foi a única vez em que o método de área fixa com conglomerado em cruz foi superior.

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.

A superioridade da precisão do método de amostragem de área fixa com parcela circular (PC) não se deve ao fato de amostrar 1,7% mais árvores em média em relação ao conglomerado em cruz (CC), mas, sim, pelo fato de o grau de liberdade utilizado nos cálculos estatísticos do conglomerado em cruz (CC) ser menor, ou seja, para a PC foram utilizados 39 graus de liberdade e para o CC foram utilizados 9 graus.

Classificação da estrutura PC e CC quanto à precisão

A classificação das estruturas na precisão das estimativas das variáveis é apresentada na tabela 4.

Tabela 4. Classificação das estruturas com base no erro de amostragem.

Table 4. Classification of structures based on error of sampling.

Classificação	1º Lugar	2º Lugar
DAP médio (cm)	PC	CC
Número de árvores (N/ha)	PC	CC
Área basal (m ² /ha)	PC	CC
Volume total (m ³ /ha)	PC	CC

A tabela 4 mostra que para a estimativa de todas as variáveis correntes avaliadas – diâmetro médio (cm), número de árvores (N/ha), área basal (m²/ha) e volume total (m³/ha) – a PC foi superior.

Comparação da eficiência relativa entre as estruturas com PC e CC

Para a análise da eficiência relativa entre as estruturas com parcela circular (PC) e conglomerado em cruz (CC), foram consideradas as três condições simultaneamente.

Classificação das estruturas com PC e CC quanto à eficiência relativa

Na análise de variância (ANOVA) da eficiência relativa para a variável diâmetro médio (cm), o teste F para blocos foi não significativo, ou seja, os blocos não influem na estimativa da variável analisada, não se justificando o controle local feito através dos mesmos. Em relação aos tratamentos, houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade, ou seja, os tratamentos não possuem efeitos semelhantes sobre a variável analisada. Sendo assim, dá-se preferência para a estrutura mais eficiente, que é a PC.

Já para as variáveis número de árvores (N/ha), área basal (m²/ha) e volume total (m³/ha), o teste F para blocos e tratamentos não foi significativo ao nível de 5% de probabilidade, ou seja, tanto os blocos quanto os tratamentos possuem efeitos semelhantes sobre as variáveis analisadas. Dessa forma, como são apenas dois tratamentos, dá-se preferência para a estrutura com maior eficiência, que neste caso é a PC.

A tabela 5 mostra que, na estimativa do diâmetro médio (cm), número de árvores (N/ha), área basal (m²/ha) e volume total (m³/ha), a estrutura com PC foi mais eficiente que o CC.

Na análise da variável diâmetro médio (cm), conforme a tabela 5, a diferença média da eficiência

relativa entre as estruturas é de 1,60 a favor da PC. Isso significa que a PC é 39,7% mais eficiente em média no levantamento dessa variável, sendo que há diferença estatisticamente significativa entre as eficiências relativas das estruturas.

Tabela 5. Eficiência relativa comparada para as três condições.

Table 5. Relative compared efficiency for the three conditions.

Método	Tempo (minutos)	DAP (cm)		Árvores/ha		Área basal (m ² /ha)		Volume (m ³ /ha)	
		cv%	ER	cv%	ER	cv%	ER	cv%	ER
Condição 1									
PC	103,36	5,34	3,39	6,01	2,67	9,60	1,05	11,35	0,75
CC	141,33	6,17	1,86	8,32	1,02	14,47	0,34	16,58	0,26
Condição 2									
PC	67,12	5,98	4,17	8,87	1,89	12,51	0,95	13,89	0,77
CC	103,11	5,83	2,85	9,81	1,01	10,84	0,83	12,04	0,67
Condição 3									
PC	69,4	5,65	4,51	5,75	4,36	11,27	1,13	11,97	1,01
CC	111,6	5,91	2,57	10,99	0,74	11,59	0,67	11,96	0,63
Média									
PC	79,96	5,66	4,02	6,88	2,97	11,13	1,04	12,40	0,84
CC	118,68	5,97	2,43	9,71	0,92	12,30	0,61	13,53	0,52
Diferença média (valor absoluto)		1,60		2,05		0,43		0,32	

Já na análise do número de árvores (N/ha), área basal (m²/ha) e volume total (m³/ha), conforme a tabela 5, a diferença média da eficiência relativa entre as estruturas foi de 2,05, 0,43 e 0,32 em favor da PC. Isso significa que a PC é 68,9%, 41,2% e 38,3% mais eficiente, em média, no levantamento dessas variáveis, sendo que não há diferença estatisticamente significativa entre as eficiências relativas das estruturas.

CONCLUSÃO

- Para todas as variáveis – diâmetro médio (cm), número de árvores (N/ha), área basal (m²/ha) e volume total (m³/ha) –, indica-se a utilização do método de área fixa com parcela circular (PC), por ser mais preciso e eficiente no levantamento dessas variáveis, nestas 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.

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.

DRUSZCZ, J. P.; NAKAJIMA, Y. N.; PÉLLICO NETTO, S.; YOSHTANI JÚNIOR, M. Comparação entre os métodos de amostragem de Bitterlich e de área fixa com parcela circular em plantação de *Pinus taeda*. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 739 - 754, 2010.

DRUSZCZ, J. P.; NAKAJIMA, Y. N.; PÉLLICO NETTO, S.; MACHADO, S. A. Custos de inventário florestal com amostragem de Bitterlich (PNA) e conglomerado em cruz (CC) em plantação de *Pinus taeda* L. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 94, p. 231 - 239, 2012.

DRUSZCZ, J. P.; NAKAJIMA, Y. N.; PÉLLICO NETTO, S.; MACHADO, S. A.; MELLO, A. A.; CAMPOS, A. P. G. Eficiência de inventário florestal com amostragem ponto de Bitterlich e conglomerado em linha em plantação de *Pinus taeda*. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 3, p. 527 - 538, 2012.

FREESE, F. **Elementary forest sampling**. Washington: Forest Service, Agriculture Handbook n. 232, 1962, 91 p.

MAHRER, F.; VOLLENWEIDER, C. **National forest inventory**. Swiss: Swiss Federal Institute of Forestry Research, 1983, 26 p.

MAURICIO, J.; VINCENT, L.; MORET, A. Y.; QUEVEDO, A. Comparación entre modalidades de muestreo em plantaciones de Pino Caribe en el oriente de Venezuela. **Revista Forestal Venezolana**, Mérida, v. 49, n. 1, p. 17 - 25, 2005.

NAKAJIMA, Y. N.; PÉLLICO NETTO, S.; DRUSZCZ, J. P.; YOSHTANI JÚNIOR, M. Comparação da precisão entre os métodos de amostragem linha e parcela circular concêntrica em povoamentos de *Pinus elliottii*. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 131 - 139, 2011.

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.

NISHIZAWA, M. **Forest mensuration**. Tokyo: Nourinshuppan, 1972.

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.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; DALLA CÔRTE, A.; FERNANDES, L. A. V. **Inventários florestais: planejamento e execução**. 2. ed. Curitiba, 2009, 271 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 41, p. 7 - 12, 1991.