

**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*.**

**RELATIVE EFFICIENCY COMPARISON IN THE USE OF FIXED AREA,
BITTERLICH, PRODAN, STAND AND QUADRANTS METHODS IN SAMPLING
Araucaria angustifolia NATIVE FOREST.**

**Fabio A. Moscovich¹
Doádi A. Brena²**

¹ Ing. Forestal, M.Sc., Investigador. EEA INTA Montecarlo. (3384) Montecarlo, Misiones, Argentina. Tel. y FAX ++54 (3751) 480057/480512. E-mail: fmoscovich@ceel.com.ar.

² Ing. Forestal, Dr., Profesor Adjunto del Departamento de Ciencias Forestales. Centro de Ciencias Rurales. Universidad Federal de Santa Maria. Santa Maria. Rio Grande do Sul Brasil. E-mail: brena@ccr.ufsm.br

SUMMARY

In a native forest of *Araucaria angustifolia* belonging to the National Forest of San Francisco de Paula (RS-BR), was carried out a comparison of four methods of sampling of variable area (Strand, Prodan, Quadrants and Bitterlich) with a method of Fixed Area in order to determine the efficiency of each one to estimate the quantitative parameters (volume, number of trees by hectare, basal area) and the qualitative (number of species) of the population. The inventory was carried in one hectare considering all the trees with circumference to the height of the chest (CAP) ≥ 30 cm, identifying them, and measuring their total and commercial heights. The adopted method of Fixed Area was that of the Strips of 100 m long for 10 m wide (10 contiguous strips). The Prodan, Bitterlich and Quadrants methods were carried out on 25 sampling points distributed 20 m systematically each, and for the method of Strand were 30 lines of sampling of 15,7 m long selected. For analysis of the variance it was proved that the methods did not present significant differences in the estimate of the volume, basal area and number of trees by hectare. There were significant differences in the number of species, and the Fixed Area method presented larger stocking. The Relative Efficiency was calculated based in the timing and the variation coefficients thus the Strand method was the best to estimate all the parameters, whereas the Quadrants method under estimate all of them.

Keys words: Sampling methods, Forest Inventory, Native Forest of Araucaria.

RESUMEN

En un bosque nativo de *Araucaria angustifolia* perteneciente a la Floresta Nacional de San Francisco de Paula (RS-BR), se realizó la comparación de cuatro métodos de muestreo de área variable (Strand, Prodan, Cuadrantes y Bitterlich) con un método de Área Fija para determinar la eficiencia de cada uno de ellos en la estimación de parámetros cuantitativos (volumen, número de árboles por hectárea, área basal) y cualitativos (número de especies) de la población. Se realizó el inventario de una hectárea considerando todos los árboles con circunferencia a la altura del pecho (CAP) ≥ 30 cm, identificándolos y midiendo sus alturas total y comercial. El método de Área Fija adoptado fue el de Fajas de 100 m de largo por 10 m de ancho (10 fajas contiguas). Para los métodos de Prodan, Bitterlich y Cuadrantes se realizaron 25 puntos de muestreo distribuidos sistemáticamente a cada 20 m, y del método de Strand fueron realizadas 30 líneas de muestreo de 15,7 m largo. Por análisis de la variancia se

comprobó que los métodos no presentaron diferencias significativas en la estimación del volumen, área basal y número de árboles por hectárea. Se encontraron diferencias significativas en el número de especies, siendo el método de Área Fija el que presentó mayor media. Con los tiempos tomados y los coeficientes de variación encontrados se calculó la Eficiencia Relativa, verificándose que el método de Strand fue siempre superior a los demás métodos en la estimación de todos los parámetros y que el método de Cuadrantes, fue siempre inferior en la estimativa de todos los parámetros.

Palabras clave: Métodos de muestreo, Inventario Forestal, Bosque Nativo de Araucaria.

INTRODUCCIÓN

Las estimativas de los parámetros de una población son obtenidas a través de la medición de un conjunto de unidades de muestreo tomado como representativo de la población de origen.

El uso de parcelas de área fija es lo más utilizado en los inventarios forestales, siendo que la probabilidad de selección de los árboles, está relacionado directamente al área de la parcela y a la frecuencia de los individuos que están dentro de ella (PÉLLICO NETTO y BRENA, 1997). Esta situación cambia cuando se trabaja con parcelas de superficies variables, donde la probabilidad de selección de los árboles es proporcional al área basal o a la distancia de los árboles respecto a un punto o línea determinada (SOUZA, *et al.*, 1981).

El tamaño y la forma de las parcelas de Área Fija, bien como el método de muestreo de Área Variable que sean empleados, influirán en la eficiencia de un inventario forestal, reflejándose, esto, en el nivel de precisión alcanzado, y por la exactitud de los valores que están siendo estimados, además de tener una influencia directa sobre los costos del inventario.

El objetivo del presente trabajo es el de comparar los métodos de Strand, de Prodan, de Bitterlich y de los Cuadrantes, con el método de Área Fija cuando están aplicados en un Bosque Nativo de *Araucaria angustifolia*.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Método de Área Fija

La selección de los individuos, en este método, se realiza de forma proporcional al área de la unidad de muestreo y, además, por la frecuencia de los individuos que están dentro de ella. Las variaciones en la forma y el tamaño de las unidades de muestreo constituyen las variables fundamentales para evaluar la aplicación práctica de éste método (PÉLLICO NETTO y BRENA, 1997). La forma y el tamaño de las unidades de muestreo están definidas, generalmente, por la practicidad y operatividad de su demarcación y localización en el campo, que por cualquier otra argumentación.

Según ROBLES (1978), en términos generales se puede afirmar que unidades de muestreo angostas y largas son más convenientes desde el punto de vista de la heterogeneidad del suelo. En definitiva, la forma de la unidad dependerá del objetivo del estudio.

Método de Strand

El Método de la Línea o Método de Strand, es una aplicación de la técnica de conteo angular (LOETSCH, *et al.*, 1973). Strand, focaliza en este método, fundamentalmente, el criterio probabilístico de la selección de los individuos, que forman parte de la unidad de muestreo, proporcional al diámetro, para hacer las estimativas del área basal y del número de árboles por unidad de superficie, y proporcional a la altura total de los individuos, para obtener el volumen y el número de árboles. El levantamiento de los datos se realiza sobre

líneas, de 5π de largo; dentro del bosque usando el relascopio de Bitterlich para seleccionar los individuos que forman parte de la muestra.

Método de Prodan

Considera la medición de seis (6) árboles y la distancia desde el punto de muestreo al centro del sexto árbol como referencia de la unidad de muestreo. En estas condiciones, la inclusión de un árbol en el muestreo es proporcional a su distancia al punto de muestreo (PRODAN, 1968).

Método de los Cuadrantes

Este procedimiento pertenece a la clase de métodos de distancias, debido a que la probabilidad de selección de los individuos es proporcional a la distancia desde el árbol al centro de la unidad de muestreo. La unidad de muestreo está definida por un punto, este punto representa el centro de cuatro cuadrantes. Dentro de cada cuadrante se selecciona el árbol más cercano al punto (MARTINS, 1993).

Método de Bitterlich

Los estudios de relascopio tuvieron inicio con Bitterlich en 1931 (LOETSCH *et al.*, 1973; HUSCH *et al.*, 1982). El método se basa en el postulado de Bitterlich que dice que (FINGER, 1992): “el número de árboles de un rodal, cuyos diámetros a la altura del pecho (DAP) a partir de un punto fijo aparecen superior a un valor angular *alfa* constante, es proporcional al área basal en metros cuadrados por hectárea”. El método consiste en contar los árboles, realizando un giro de 360° , cuyos diámetros sean iguales o mayores que una abertura angular equivalente a $\left(\sin \frac{q}{2}\right)$, donde (*q*) es un ángulo fijo, cuyo vértice es el punto central de la unidad de muestreo. La selección de los árboles se realiza con probabilidad al área basal, o al cuadrado del diámetro y la frecuencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en una unidad de muestreo permanente de 1 hectárea, instalada en el año 1995 en la Floresta Nacional (FLONA) de São Francisco de Paula, en la región fisiográfica del Planalto de las Araucarias (FONTANA, 1994), al nordeste del Estado de Rio Grande do Sul (Brasil). La vegetación natural de la FLONA de São Francisco de Paula pertenece al tipo fitogeográfico “Bosque de Araucaria o Pino Brasileiro” (RAMBO, 1956; KLEIN, 1960; LINDMAN y FERRI, 1974; IBDF/FATEC, 1989;).

Los métodos de muestreo (Área Fija, Strand, Prodan, Bitterlich y Cuadrantes) fueron aplicados sobre la parcela permanente, de modo de cubrirla con el máximo número potencial de unidades de muestreo en cada método, evitando que se produzcan superposiciones entre unidades de un mismo método. Con estos criterios, la parcela permanente quedó cubierta por 10 unidades correspondientes al método de Área Fija; 25 unidades de los métodos de Prodan, Bitterlich y Cuadrantes (en este caso los puntos de muestreo fueron comunes a los tres métodos); y 30 unidades del método de Strand.

El volumen comercial de los árboles medidos, en los métodos de Área Fija, Prodan, Cuadrantes y Bitterlich fueron calculados a través de las ecuaciones desarrolladas por IBDF/FATEC (1983), para el inventario de los Bosques Nativos de Rio Grande do Sul.

Para el cálculo de los volúmenes, en el método de Strand, se estimaron dos factores de forma medios derivados de las ecuaciones de volúmenes anteriormente presentadas, un factor para Araucaria y otro para las demás especies, cuyos valores fueron 0,500 y 0,4244 respectivamente.

El método de Área Fija aplicado fue el de fajas, con 10 de metros de ancho y 100 metros de largo. Este método fue considerado como padrón para realizar la comparación con los parámetros obtenidos con los demás métodos.

Las parcelas del método de Strand fueron instaladas colocando una cinta métrica como base de la unidad de muestreo. El largo (L) de la línea fue de 15,7 m ($L = 5\pi$). La selección de los individuos con criterio proporcional al diámetro, se realizó usando un “factor de área basal” (FAB) igual a 4 en el relascope de Bitterlich; en la selección con criterio a la altura se seleccionaron los árboles cuya distancia a la línea fuese igual o menor que la mitad de su altura total.

Para aplicar el método de Prodan se distribuyeron los puntos de muestreo a cada 20 m. En cada punto se seleccionaron los seis árboles mas cercanos al mismo. La distancia del punto central al sexto árbol se realizó con cinta métrica.

En el método de los Cuadrantes se seleccionó el árbol más cercano al centro de la parcela en cada cuadrante y se midió la distancia de cada árbol con cinta métrica.

Para el método de Bitterlich, los árboles fueron seleccionados realizando un giro de 360° en el punto de muestreo empleándose un relascope de Bitterlich usando el factor de área basal (FAB) igual a 4.

En todos los métodos los datos fueron tomados de la siguiente manera: Identificación botánica de los individuos, CAP (circunferencia a la altura del pecho) con cinta métrica, precisión de milímetros de todos los árboles con $CAP \geq 30$ cm. Alturas total y comercial con Blume-Leiss, con precisión de 0,5 m. Los tiempos, desde la instalación de cada unidad de muestreo hasta el fin de la toma de datos en cada una de ellas, fueron tomados con cronometro electrónico.

La comparación en la eficiencia en la estimación de cada uno de los parámetros, de todos los métodos, fue realizada a través del cálculo de la Eficiencia Relativa (ER) por medio de la siguiente ecuación (SILVA MENDES, 1998):

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

donde: ER = eficiencia relativa; T_x = tiempo de instalación y medición; CV = coeficiente de variación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el relevamiento hecho en la unidad de muestreo de una hectárea, fueron medidos un total de 890 árboles con $CAP \geq 30$ cm, de los cuales fueron identificados 53 especies, pertenecientes a 42 géneros y 30 familias botánicas, además de los árboles muertos que también hacen parte del presente estudio.

De acuerdo con el análisis fitosociológico realizado se observó que la especie con mayor densidad fue *Araucaria angustifolia* (Pino-Paraná) con 353 árboles/ha (39,66% del total de árboles muestreados), siguiendo en orden decreciente: *Ilex brevicuspis* (Caúna) con 59 árboles/ha (6,63%); *Blepharocalyx salicifolius* (Murta) con 58 árboles/ha (6,52%); *Luehea divaricata* (Azota-cavallo) con 46 árboles/ha (5,17%); *Ilex paraguariensis* (Yerba-mate) y *Campomaneisa xanthocarpa* (Guabiroba) con 22 árboles/ha (2,47%); y *Banara Parvifolia* (Guasatunga) y *Sebastiania commersoniana* (Branquillo) con 19 árboles/ha (2,13%) cada una. Es un Bosque de *Araucaria* típico, donde *Araucaria angustifolia* es la especie predominante del estrato superior.

En la Tabla 1 se pueden observar, de modo comparativo, el número (en porcentaje) de las principales especies muestreadas por los diferentes métodos, tomando como parámetro el método de Área Fija. Se observa que los mismos tienen una distribución semejante, con un

gran porcentaje de ocurrencia de *Araucaria angustifolia* y una poca representación de las otras especies.

Tabla 1: Densidad relativa de las 9 especies mas importantes encontradas en los métodos de muestreo en estudio.

Especies (Nombre Científico)	Métodos / Densidad Relativa (%)				
	Área Fija	Prodan	Bitterlich	Cuadrantes	Strand
<i>Araucaria angustifolia</i>	39,66	36,67	72,71	42,00	51,53
<i>Ilex brevicuspis</i>	6,63	4,67	4,01	8,00	3,43
<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	6,52	2,67	2,67	3,00	5,91
Muertas, No Identificadas	6,40	6,67	2,34	4,00	4,77
<i>Luehea divaricata</i>	5,17	6,00	2,01	4,00	4,20
<i>Campomaneisa xanthocarpa</i>	2,47	2,00	0,33	1,00	1,72
<i>Ilex paraguariensis</i>	2,47	2,67	2,67	3,00	2,48
<i>Banara Parvifolia</i>	2,13	5,33	0,33	4,00	1,33
<i>Sebastiania commersoniana</i>	2,13	0,67	0,00	1,00	1,91

En la Tabla 2 se pueden observar los resultados de las estimativas para el volumen comercial medio con corteza por hectárea, área basal por hectárea, número de árboles medio estimado por hectárea, tiempos medios de medición, número medio de especies botánicas identificadas, error padrón y coeficiente de variación para todos los métodos empleados.

Tabla 2: Estimativas de los distintos parámetros por método.

Parámetros	Métodos				
	Área Fija	Prodan	Bitterlich	Cuadrantes	Strand
Vol. Com. ($m^3 \cdot ha^{-1}$)	411,11	299,55	375,00	517,18	539,60
cv%	12,97	49,84	34,11	107,51	42,52
$s_{\bar{x}}\%$	4,10	9,96	6,82	21,50	0,90
Área Basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$)	53,16	46,58	48,00	63,65	48,30
cv%	12,32	55,55	31,18	103,65	38,47
$s_{\bar{x}}\%$	3,89	11,03	6,22	20,72	7,01
N/ha	889,20	811,56	983,80	1.126,00	878,00
cv%	9,03	40,68	45,93	78,03	51,80
$s_{\bar{x}}\%$	2,85	8,13	9,18	15,60	5,45
Tiempo medio	4h 45' 59s	16' 47s	33' 17s	12' 47s	4' 40s
Núm. especies / parcela	20,00	3,92	3,52	3,00	4,90
Núm. total de especies	53	32	23	28	37

Vol.Com. = volumen comercial con corteza; Cv% = coeficiente de variación porcentual; N/ha = número de árboles por hectárea; $s_{\bar{x}}\%$ = error estandar de la estimativa en porcentaje.

Los resultados del análisis de la variancia del volumen comercial con corteza, área basal, número de árboles y número de especies; por hectárea, mostraron que no existen diferencias estadísticas significativas entre los métodos en estudio al 1% de nivel de error. Si se observó diferencia significativa en la estimación del número de especies encontradas, mostrando al método de Área Fija como superior al resto de los métodos empleados.

Comparando los resultados con respecto al método de Área Fija; los métodos de Strand y cuadrantes sobreestimaron el valor de volumen comercial en un 31,26% y 25,81% respectivamente.

Respecto a la estimativa del área basal por hectárea, el método de los Cuadrantes fue el único que sobre estimó este valor, con relación al obtenido por el método de Área Fija (+19,73%), el resto de los métodos subestimaron este parámetro; el método de Strand fue el que más se aproximó al valor paramétrico.

En la estimación del número de árboles por hectárea, los métodos de Cuadrantes y de Bitterlich sobreestimaron este valor. El método de Strand fue el mejor estimador de este parámetro.

Ahora, en la estimativa del número de especies, se encontraron diferencias significativas, al nivel de 1% de error, entre los métodos bajo estudio. Aplicando el Test de comparación de Medias de Tukey, se verificó que la mayor media fue la obtenida por el método de Área Fija y la menor media por el método de los Cuadrantes. Las medias de los métodos de Strand, Prodan y Bitterlich no presentan diferencias estadísticas significativas. Esto demuestra que cada faja del método de Área Fija muestrea mas especies que cada una de las unidades de muestreo de los otros métodos, situación esperada debido a la mayor superficie de muestreo de una faja con relación a los punto o líneas de los otros métodos.

Considerando el total de especies muestreadas, por el total de unidades de cada uno de los métodos, se verificó que el método de Strand fue el que muestreo mayor número de especies (69,81% del total de especies existentes en el área en estudio), seguido por los métodos de Prodan (60,38%), de los Cuadrantes (52,83) y de Bitterlich (43,40%).

En la Tabla 3 se observan los valores correspondientes a la eficiencia relativa (ER) calculada para cada uno de los métodos de muestreo estudiados y para los diferentes parámetros considerados. Se observa que, en todos los casos, el método de Strand fue el que presentó mayor eficiencia. Este resultado está ligado a su principal ventaja que es la no-medición de alturas. Esto lleva a la realización de levantamientos muy rápidos, pues solo es preciso el conteo de los árboles seleccionados con proporcionalidad a su diámetro y su altura, identificación de la especie y la medición del DAP. El método de los Cuadrantes siempre ocupó el último lugar en eficiencia, resultando el menos eficiente en su aplicación en función de los costos y de los valores obtenidos por sus estimativas.

Tabla 3: Eficiencia relativa (ER) y coeficiente de variación porcentual (cv%) para cada método.

Métodos	Tiempo Medio (h)	Vol. Comercial (m ³ .ha ⁻¹)		Área Basal (m ² .ha ⁻¹)		Número de árboles/ha	
		cv (%)	ER	cv (%)	ER	cv (%)	ER
Área Fija	4,7663	12,9692	12,4736	12,3229	6,6879	9,0339	25,7080
Cuadrantes	0,2130	107,5127	4,0616	103,6501	4,3699	78,0301	7,7107
Prodan	0,2797	49,8405	14,3927	55,5554	11,5839	40,6763	21,6085
Strand	0,0778	42,5259	71,0744	38,4725	86,8400	51,7969	47,9085
Bitterlich	0,5547	34,1145	15,4904	31,1805	18,5428	45,9326	8,5448

CONCLUSIONES

Fueron encontradas, en el área bajo estudio, 53 especies, distribuidas en 42 géneros y 30 familias botánicas, indicando la existencia de una gran diversidad florística. Las especies *Araucaria angustifolia*, *Ilex brevicuspis*, *Blepharocalyx salicifolius*, *Luehea divaricata*, *Ilex paraguariensis*, *Campomanesia xanthocarpa*, *Banara parvifolia* y *Sebastiania commersoniana* fueron las mas características del área estudiada.

Los métodos en estudio no presentaron diferencias significativas para las estimativas de volumen comercial con corteza, área basal y número de árboles por hectárea. El método de

Bitterlich fue el que mas se aproximó al valor real del volumen por hectárea; el método de Strand fue el que mas se aproximó al valor real del área basal y número de árboles por hectárea.

Para los resultados de número de especies se encontraron diferencias significativas. El método de Área Fija presentó mayor media. Entre los métodos de Strand, de Prodan, de Bitterlich y de los Cuadrantes no fueron encontradas diferencias significativas. Comparando estos métodos con el método de Área Fija (como parámetro), el método de Strand muestreó el mayor número de especies, seguido, en orden decreciente, por los métodos de Prodan, Cuadrantes y Bitterlich.

El método de Strand fue el que ofreció la mejor eficiencia relativa en la estimación de todos los parámetros. En contraposición, el método de los Cuadrantes, fue el que presentó la menor eficiencia relativa en todos los parámetros.

De acuerdo con este estudio, y dependiendo de los objetivos del inventario, el método de Strand puede ser utilizado para la realización de inventarios forestales en este tipo de bosques, debido a que presentó el mejor conjunto de resultados, tanto cuantitativos como cualitativos, en menor tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

- FINGER, C.A.G. **Fundamentos de biometría florestal**. Santa Maria: UFSM CEPEF/FATEC, 1993. 269 p.
- FONTANA, C.S. **História natural de *Heteroxolmis dominicana* (VIEILLOT, 1823) (AVES TYRANNIDAE) com ênfase na relação com *Xanthopsar flavus* (GMELIN, 1788) (AVES ICTERIDAE), no nordeste do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: PUCRS. Disertación de Maestrado 1994. 120 p..
- HUSCH, F.; MILLER, C.I.; BREES, T.W. **Forest mensuration**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 1982. 402 p.
- IBDF/FATEC **Inventário florestal nacional**: Florestas nativas do Rio Grande do Sul. Brasília: Ed. Gráfica Brasileira Ltda., 1983. 345 p.
- IBDF/FATEC **Plano de manejo para a Floresta Nacional de São Francisco de Paula – RS**. Santa Maria: Ministério do Interior. 1989. 217 p.
- KLEIN, R.M. O aspecto dinâmico do Pinheiro Brasileiro. *Sellowia*, Itajaí, v.12, n.12, p.17-48, 1960.
- LINDMAN, C.A.M.; FERRI, M.G. **A vegetação do Rio Grande do Sul**. Belo Horizonte: Itatiaia, 1974. 377 p.
- LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K.E. **Forest inventory**. 2^a ed. Munich: BLV Verlagsgesellschaft, 1973. 469 p.
- MARTINS, F.R. **Estrutura de uma Floresta Mesófila**. Campinas: UNICAMP. 1991. 246 p.
- PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D.A. **Inventário florestal**. Curitiba: UFP – UFSM, 1997. 316 p.
- PRODAN, M. **Forest bimetrics**. Oxford: Pergamon Press, 1968. 447 p.
- RAMBO, Pe. R. **A fisionomia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Librería Selbach, 1956. 456 p.
- REITZ, R.; KLEIN, R.M. **Flora ilustrada catarinense: Araucariáceas**, Itajaí: Herbario Barbosa Rodríguez. 1966. 63 p.
- ROBLES, C. **Estadística**. Santiago del Estero: Fac. de Cs. Forestales. Universidad Nacional de Sgo. del Estero, 1978. 285 p.
- SILVA MEDES, I.M. da. **Alicação do método de amostragem de Strand para estimação da densidade na regeneração natural de espécies arbóreas e arbustivas tropicais na**

Amazônia Occidental. Curitiba: UFP, 1998. 51 p. Disertación (Maestrado en Ciencias Forestales). Setor de Ciências Agrárias.

SOUZA, A.L.; PAULA NETO, F.; LADEIRA, H.P.; BRANDI, R.M. Comparação de tipos de amostragem, com parcelas circulares de Área Fixa e variable, em povoamentos de *Eucalyptus gradis*, de origem híbrida, cultivados na regi_o de Bom Despacho, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.5, n.1, p.43-55, 1981.