

**JOÃO PAULO DRUSZCZ**

**COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE AMOSTRAGEM DE  
BITTERLICH E DE ÁREA FIXA COM TRÊS VARIAÇÕES  
ESTRUTURAIS DE UNIDADES CIRCULARES EM  
PLANTAÇÕES DE *Pinus taeda* L.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração Manejo Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Nelson Y. Nakajima

Co-orientador: Prof. Dr. Sylvio Péllico Netto

CURITIBA  
2008

## **AGRADECIMENTOS**

O autor deseja expressar seus sinceros agradecimentos ao Orientador, professor Doutor Nelson Yoshihiro Nakajima, pela sua orientação, compreensão e amizade.

Ao Co-orientador, professor Doutor Sylvio Péllico Netto, pelas sugestões, estímulos e confiança depositada.

Ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, pelo auxílio na realização deste Curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil, pela oportunidade de recebimento de bolsa de mestrado durante o período de estudo e desenvolvimento do projeto de mestrado.

Em especial, ao Engenheiro Florestal Álvaro Luiz Scheffer pela concessão de realizar a pesquisa na Fazenda da Empresa Águia Florestal, com sede em Ponta Grossa – Paraná, e ao Engenheiro Florestal Josias Scarpioni por toda ajuda e apoio de campo.

Aos graduandos de engenharia florestal Leonardo Busch, Artur Padão Garcia Campos e Bernardo Domakoski, por se disporem a ajudar na coleta dos dados de campo e ao Engenheiro Florestal Kleber dos Santos, pela amizade e troca de conhecimentos e informações.

Ao professor Doutor Carlos Roberto Sanquetta, pela oportunidade de estagiar no Laboratório de Inventário Florestal da Universidade Federal do Paraná e pelo incentivo continuado.

Aos demais professores, funcionários e amigos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste estudo.

Aos meus maiores incentivadores que estavam presentes nos momentos de desânimo e de alegria e que tanto me ajudaram para a conclusão deste estudo: meus pais e irmão, dando apoio, ajudando na correção dos textos e sempre me incentivando.

## **BIOGRAFIA**

JOÃO PAULO DRUSZCZ, filho de Arlindo Milton Druszcz e Noêmia Rzeczycki Druszcz, nasceu no município de Araucária, Paraná, aos 21 de outubro de 1981.

Concluiu o Primeiro Grau no Colégio São Vicente de Paulo, em Araucária, Paraná.

No Segundo Grau, formou-se Técnico em Mecânica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná (CEFET), em Curitiba - Paraná.

Em 2001, ingressou na Universidade Federal do Paraná, graduando-se em Engenharia Florestal no ano de 2005.

Iniciou o curso de Mestrado em Ciência Florestal em 2006, na área de formação denominada Manejo Florestal, seguindo a linha de pesquisa métodos de amostragem em Inventário florestal, concluindo os requisitos necessários para o grau de Mestre em 2008.

Foi bolsista no Laboratório de Inventário Florestal de setembro de 2003 a dezembro de 2005, onde realizou vários trabalhos, tanto de cunho científico, como de cunho profissional.

Beneficiário da bolsa de Mestrado do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil.

Não se mede o estudo pelo número de páginas lidas numa noite ou pela quantidade de livros lidos num semestre. Estudar não é um ato de consumir idéias, mas de criá-las e recriá-las.

Paulo Freire

## Resumo

Este estudo teve como objetivo comparar dois métodos de amostragem, o de Bitterlich e três variações estruturais para o método de área fixa. O método de amostragem por ponto de Bitterlich e o método de amostragem de área fixa com parcela Circular, com Conglomerado Cruz e com Conglomerado em Linha, foram avaliados quanto à precisão e eficiência na estimativa das variáveis DAP médio, número de árvores, área basal e volume total, por hectare. Foram selecionadas três condições de plantios, localizados na fazenda Boa Vista, no município de Carambeí – Paraná, de propriedade da empresa Águia Florestal. Na análise simultânea das três condições para as estimativas das variáveis DAP médio e número de árvores, por hectare, o método de amostragem de área fixa com parcela Circular foi o mais preciso e eficiente. Já para a análise de área basal e volume, por hectare, o método de amostragem por ponto de Bitterlich foi o mais preciso e eficiente. As duas variações do método de área fixa com Conglomerado em Cruz e com Conglomerado em Linha apresentaram bons resultados, sendo o método de área fixa com Conglomerado em Linha superior ao método de área fixa com Conglomerado em Cruz. De modo geral, o estudo atendeu às expectativas e mostrou que a amostragem com conglomerados pode ser utilizada com êxito, em plantios florestais, sendo os mesmos precisos e eficientes nas estimativas das variáveis em questão. Conforme resultados apresentados, conclui-se que eles estão dentro do esperado, sendo o método de área fixa com parcela Circular mais preciso e eficiente para a estimativa das variáveis DAP médio e número de árvores, já que se trata de um método no qual a seleção dos indivíduos é proporcional à área da parcela. O método por ponto de Bitterlich, por ser um método que faz a seleção dos indivíduos com probabilidade à área basal, foi mais preciso e eficiente para a estimativa das variáveis área basal e volume. Conclui-se também que é interessante a realização de mais pesquisa para o método de área fixa com conglomerados, no que diz respeito a melhores configurações de subunidades a serem usadas, como o número ideal e distâncias entre elas, já que apresentaram boas estimativas para as variáveis levantadas.

Palavras-chave: Precisão amostral. Eficiência relativa. Pinus taeda.

## Abstract

This study aimed at comparing two sampling methods, with structural variation to the method of fixed area. The Bitterlich's point sampling and the method of sampling of fixed area with circular plot, with cross sampling cluster and with line sampling cluster, on the accuracy and efficiency for estimating the variables mean DBH, number of trees, basal area and total volume, per hectare. Three conditions for *Pinus taeda* plantations were selected. They were located in Boa Vista farm, Carambeí – Paraná, belonging to Água Florestal Company. In simultaneous analysis of the three conditions for the estimate of variables mean DBH and number of trees per hectare, the sampling method of fixed area with circular plot was the most accurate and efficient. For the analysis of basal area and volume per hectare, the method of Bitterlich's point sampling was the most accurate and efficient. The two variations of the fixed area method with cross cluster and with line cluster demonstrated good results being the line cluster method of fixed area better than the fixed area with cross cluster one. In general terms, the study met the expectations and demonstrated that the cluster sampling can be used successfully in forest plantations being both accurate and efficient in the estimate of variables under consideration. From the results, it was concluded that, as the method of fixed area with circular plot was more accurate and efficient to estimate of variables mean DBH and the number of trees, whereas it is a method in which the selection of individual is proportional to the area of the plot. The Bitterlich point method, since it is a method that makes the selection of individuals with probability to basal area, was more accurate and efficient for the estimation of variables basal area and volume. It is also concluded that it is interesting to carry out more research on the method of fixed area with clusters, regarding the better shape of subunits to be used, as the ideal number and distances among them, since it demonstrated good estimates for the variables in issue.

Keywords: Sampling precision. Relative efficiency. *Pinus taeda*.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	37
FIGURA 2 – ÁREA DE ESTUDO - FAZENDA BOA VISTA.....	38
FIGURA 3 – DESENHO ESQUEMÁTICO DAS UNIDADES DE AMOSTRAGEM.....	43
FIGURA 4 – PROCEDIMENTO DE CUBAGEM.....	54
GRÁFICO 1 – GRÁFICO DE DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) DO MELHOR MODELO HIPSOMÉTRICO - CONDIÇÃO 1 .....	64
GRÁFICO 2 – GRÁFICO DE DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) DO MELHOR MODELO VOLUMÉTRICO - CONDIÇÃO 1 .....	65
GRÁFICO 3 – FREQUÊNCIA DOS INDIVÍDUOS AMOSTRADOS POR CLASSE DE DIÂMETRO – CONDIÇÃO 1 .....	68
GRÁFICO 4 – ESTIMATIVA DO DAP MÉDIO EM SEUS RESPECTIVOS MÉTODOS - CONDIÇÃO 1 .....	69
GRÁFICO 5 – ESTIMATIVA DO DAP MÉDIO EM CADA REPETIÇÃO NOS MÉTODOS PB E DE ÁREA FIXA COM PC - CONDIÇÃO 1 .....	70
GRÁFICO 6 – ESTIMATIVA DO DAP MÉDIO EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO DE ÁREA FIXA COM CC E CL - CONDIÇÃO 1 .....	70
GRÁFICO 7 – ESTIMATIVA DO NÚMERO DE ÁRVORES EM SEUS RESPECTIVOS MÉTODOS – CONDIÇÃO 1.....	71
GRÁFICO 8 – ESTIMATIVA DO NÚMERO DE ÁRVORES EM CADA REPETIÇÃO NOS MÉTODOS PB E DE ÁREA FIXA COM PC – CONDIÇÃO 1 .....	72
GRÁFICO 9 – ESTIMATIVA DO NÚMERO DE ÁRVORES EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO DE ÁREA FIXA COM CC E COM CL – CONDIÇÃO 1 .....	72
GRÁFICO 10 – ESTIMATIVA DA ÁREA BASAL EM SEUS RESPECTIVOS MÉTODOS – CONDIÇÃO 1 .....	74
GRÁFICO 11 – ESTIMATIVA DA ÁREA BASAL EM CADA REPETIÇÃO NOS MÉTODOS PB E DE ÁREA FIXA COM PC – CONDIÇÃO 1 .....	74
GRÁFICO 12 – ESTIMATIVA DA ÁREA BASAL EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO DE ÁREA FIXA COM CC E CL – CONDIÇÃO 1 .....	75

GRÁFICO 13 – ESTIMATIVA DO VOLUME EM SEUS RESPECTIVOS MÉTODOS – CONDIÇÃO 1 .....	76
GRÁFICO 14 – ESTIMATIVA DO VOLUME EM CADA REPETIÇÃO NOS MÉTODOS PB E DE ÁREA FIXA COM PC – CONDIÇÃO 1 .....	77
GRÁFICO 15 – ESTIMATIVA DO VOLUME EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO DE ÁREA FIXA COM CC E COM CL – CONDIÇÃO 1 .....	77
GRÁFICO 16 – GRÁFICO DE DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) DO MELHOR MODELO HIPSOMÉTRICO – CONDIÇÃO 2 .....	81
GRÁFICO 17 – GRÁFICO DE DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) DO MELHOR MODELO VOLUMÉTRICO - CONDIÇÃO 2 .....	82
GRÁFICO 18 – FREQUÊNCIA DOS INDIVÍDUOS AMOSTRADOS POR CLASSE DE DIÂMETRO - CONDIÇÃO 2 .....	84
GRÁFICO 19 – ESTIMATIVA DO DAP MÉDIO EM SEUS RESPECTIVOS MÉTODOS - CONDIÇÃO 2.....	86
GRÁFICO 20 – ESTIMATIVA DO DAP MÉDIO EM CADA REPETIÇÃO NOS MÉTODOS PB E DE ÁREA FIXA COM PC - CONDIÇÃO 2.....	86
GRÁFICO 21 – ESTIMATIVA DO DAP MÉDIO EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO DE ÁREA FIXA COM CC E CL - CONDIÇÃO 2 .....	87
GRÁFICO 22 – ESTIMATIVA DO NÚMERO DE ÁRVORES EM SEUS RESPECTIVOS MÉTODOS - CONDIÇÃO 2.....	88
GRÁFICO 23 – ESTIMATIVA DO NÚMERO DE ÁRVORES EM CADA REPETIÇÃO NOS MÉTODOS PB E DE ÁREA FIXA COM PC - CONDIÇÃO 2.....	88
GRÁFICO 24 – ESTIMATIVA DO NÚMERO DE ÁRVORES EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO DE ÁREA FIXA COM CC E COM CL - CONDIÇÃO 2 .....	89
GRÁFICO 25 – ESTIMATIVA DA ÁREA BASAL EM SEUS RESPECTIVOS MÉTODOS - CONDIÇÃO 2.....	90
GRÁFICO 26 – ESTIMATIVA DA ÁREA BASAL EM CADA REPETIÇÃO NOS MÉTODOS PB E DE ÁREA FIXA COM PC - CONDIÇÃO 2.....	91
GRÁFICO 27 – ESTIMATIVA DA ÁREA BASAL EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO DE ÁREA FIXA COM CC E CL - CONDIÇÃO 2 .....	91
GRÁFICO 28 – ESTIMATIVA DO VOLUME EM SEUS RESPECTIVOS MÉTODOS - CONDIÇÃO 2.....	93



GRÁFICO 29 – ESTIMATIVA DO VOLUME EM CADA REPETIÇÃO NOS MÉTODOS PB E DE ÁREA FIXA COM PC - CONDIÇÃO 2.....	93
GRÁFICO 30 - ESTIMATIVA DO VOLUME EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO DE ÁREA FIXA COM CC E COM CL - CONDIÇÃO 2 .....	94
GRÁFICO 31 – GRÁFICO DE DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) DO MELHOR MODELO HIPSOMÉTRICO - CONDIÇÃO 3 .....	98
GRÁFICO 32 – GRÁFICO DE DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) DO MELHOR MODELO VOLUMÉTRICO - CONDIÇÃO 3 .....	99
GRÁFICO 33 – FREQUÊNCIA DOS INDIVÍDUOS AMOSTRADOS POR CLASSE DE DIÂMETRO - CONDIÇÃO 3 .....	101
GRÁFICO 34 – ESTIMATIVA DO DAP MÉDIO EM SEUS RESPECTIVOS MÉTODOS - CONDIÇÃO 3.....	103
GRÁFICO 35 – ESTIMATIVA DO DAP MÉDIO EM CADA REPETIÇÃO NOS MÉTODOS PB E DE ÁREA FIXA COM PC - CONDIÇÃO 3.....	103
GRÁFICO 36 – ESTIMATIVA DO DAP MÉDIO EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO DE ÁREA FIXA COM CC E CL - CONDIÇÃO 3 .....	104
GRÁFICO 37 – ESTIMATIVA DO NÚMERO DE ÁRVORES EM SEUS RESPECTIVOS MÉTODOS - CONDIÇÃO 3.....	105
GRÁFICO 38 – ESTIMATIVA DO NÚMERO DE ÁRVORES EM CADA REPETIÇÃO NOS MÉTODOS PB E DE ÁREA FIXA COM PC - CONDIÇÃO 3.....	105
GRÁFICO 39 – ESTIMATIVA DO NÚMERO DE ÁRVORES EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO DE ÁREA FIXA COM CC E CL - CONDIÇÃO 3 .....	106
GRÁFICO 40 – ESTIMATIVA DA ÁREA BASAL EM SEUS RESPECTIVOS MÉTODOS - CONDIÇÃO 3.....	107
GRÁFICO 41 – ESTIMATIVA DA ÁREA BASAL EM CADA REPETIÇÃO NOS MÉTODOS PB E DE ÁREA FIXA COM PC - CONDIÇÃO 3.....	107
GRÁFICO 42 – ESTIMATIVA DA ÁREA BASAL EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO DE ÁREA FIXA COM CC E CL - CONDIÇÃO 3 .....	108
GRÁFICO 43 – ESTIMATIVA DO VOLUME EM SEUS RESPECTIVOS MÉTODOS - CONDIÇÃO 3.....	109
GRÁFICO 44 – ESTIMATIVA DO VOLUME EM CADA REPETIÇÃO NOS MÉTODOS PB E DE ÁREA FIXA COM PC - CONDIÇÃO 3.....	110

GRÁFICO 45 – ESTIMATIVA DO VOLUME EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO  
DE ÁREA FIXA COM CC E CL - CONDIÇÃO 3.....110

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - MODELOS DE EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS TESTADAS .....	49
TABELA 2 - NÚMERO DE ÁRVORES ESTIMADAS E CUBADAS – CONDIÇÃO 1 .....	52
TABELA 3 - NÚMERO DE ÁRVORES ESTIMADAS E CUBADAS – CONDIÇÃO 2 .....	52
TABELA 4 - NÚMERO DE ÁRVORES ESTIMADAS E CUBADAS – CONDIÇÃO 3 .....	53
TABELA 5 - MODELOS TRADICIONAIS TESTADOS PARA ESTIMATIVA DOS VOLUMES .....	55
TABELA 6 - ESTATÍSTICAS DE REGRESSÃO CONFORME MODELO DE CURTIS – CONDIÇÃO 1 .....	65
TABELA 7 - ESTATÍSTICAS DE REGRESSÃO CONFORME MODELO DE SCHUMACHER-HALL - CONDIÇÃO 1 .....	65
TABELA 8 - NÚMERO DE ÁRVORES AMOSTRADAS POR PARCELA – CONDIÇÃO 1 .....	66
TABELA 9 - ESTIMATIVA DAS VARIÁVEIS DAP MÉDIO, NÚMERO DE ÁRVORES, ÁREA BASAL E VOLUME - CONDIÇÃO 1 .....	67
TABELA 10 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE DAP MÉDIO - CONDIÇÃO 1 .....	69
TABELA 11 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE NÚMERO DE ÁRVORES - CONDIÇÃO 1.....	71
TABELA 12 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE ÁREA BASAL – CONDIÇÃO 1 .....	74
TABELA 13 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE VOLUME – CONDIÇÃO 1 .....	75
TABELA 14 - TESTE T DE STUDENT PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS – CONDIÇÃO 1 .....	78
TABELA 15 - CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS COM BASE NO ERRO DE AMOSTRAGEM - CONDIÇÃO 1 .....	78
TABELA 16 - EFICIÊNCIA RELATIVA COMPARADA - CONDIÇÃO 1.....	79
TABELA 17 - ESTATÍSTICAS DE REGRESSÃO CONFORME MODELO DE	

OGAWA - CONDIÇÃO 2 .....	81
TABELA 18 - ESTATÍSTICAS DE REGRESSÃO CONFORME MODELO DE SCHUMACHER-HALL - CONDIÇÃO 2 .....	82
TABELA 19 - NÚMERO DE ÁRVORES AMOSTRADAS POR PARCELA – CONDIÇÃO 2 .....	83
TABELA 20 - ESTIMATIVAS DAS VARIÁVEIS DAP MÉDIO, NÚMERO DE ÁRVORES, ÁREA BASAL E VOLUME - CONDIÇÃO 2.....	84
TABELA 21 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE DAP MÉDIO - CONDIÇÃO 2 .....	85
TABELA 22 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE NÚMERO DE ÁRVORES - CONDIÇÃO 2.....	87
TABELA 23 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE ÁREA BASAL – CONDIÇÃO 2 .....	89
TABELA 24 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE VOLUME – CONDIÇÃO 2 .....	92
TABELA 25 - TESTE T DE STUDENT PARA AS ESTIMATIVAS DAS VARIÁVEIS - CONDIÇÃO 2 .....	94
TABELA 26 – CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS COM BASE NO ERRO DE AMOSTRAGEM - CONDIÇÃO 2 .....	95
TABELA 27 - EFICIÊNCIA RELATIVA COMPARADA - CONDIÇÃO 2.....	96
TABELA 28 - ESTATÍSTICAS DE REGRESSÃO CONFORME MODELO DE TROYEY - CONDIÇÃO 3 .....	98
TABELA 29 - ESTATÍSTICAS DE REGRESSÃO CONFORME MODELO DE SCHUMACHER-HALL - CONDIÇÃO 3 .....	99
TABELA 30 - NÚMERO DE ÁRVORES AMOSTRADAS POR PARCELA – CONDIÇÃO 3 .....	100
TABELA 31 - ESTIMATIVA DAS VARIÁVEIS DAP MÉDIO, NÚMERO DE ÁRVORES, ÁREA BASAL E VOLUME - CONDIÇÃO 3.....	101
TABELA 32 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE DAP MÉDIO – CONDIÇÃO 3 .....	102
TABELA 33 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE NÚMERO DE ÁRVORES - CONDIÇÃO 3 .....	104
TABELA 34 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE ÁREA BASAL – CONDIÇÃO 3 .....	106

TABELA 35 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE VOLUME – CONDIÇÃO 3 .....	108
TABELA 36 - TESTE T DE STUDENT PARA AS ESTIMATIVAS DAS VARIÁVEIS - CONDIÇÃO 3 .....	111
TABELA 37 - CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS COM BASE NO ERRO DE AMOSTRAGEM - CONDIÇÃO 3 .....	111
TABELA 38 - EFICIÊNCIA RELATIVA COMPARADA - CONDIÇÃO 3.....	112
TABELA 39 - TESTE DE TUKEY PARA O ERRO DE AMOSTRAGEM E EFICIÊNCIA RELATIVA NA ESTIMATIVA DE DAP MÉDIO PARA AS TRÊS CONDIÇÕES SIMULTANEAMENTE .....	114
TABELA 40 - TESTE DE TUKEY PARA O ERRO DE AMOSTRAGEM E EFICIÊNCIA RELATIVA NA ESTIMATIVA DE NÚMERO DE ÁRVORES PARA AS TRÊS CONDIÇÕES SIMULTANEAMENTE .....	115
TABELA 41 - TESTE DE TUKEY PARA A EFICIÊNCIA RELATIVA NA ESTIMATIVA DE ÁREA BASAL PARA AS TRÊS CONDIÇÕES SIMULTANEAMENTE .....	116
TABELA 42 - TESTE DE TUKEY PARA A EFICIÊNCIA RELATIVA NA ESTIMATIVA DE VOLUME PARA AS TRÊS CONDIÇÕES SIMULTANEAMENTE .....	117

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1 NATUREZA DA PESQUISA.....	17
1.2 OBJETIVOS .....	19
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	20
2.1 ESTATÍSTICA .....	20
2.2 AMOSTRAGEM ALEATÓRIA IRRESTRITA .....	22
2.3 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM .....	23
2.3.1 Método de área fixa.....	25
2.3.1.1 Amostragem com unidades circulares.....	25
2.3.1.2 Amostragem com conglomerados.....	26
2.3.2 Método de área variável .....	27
2.4 TAMANHO E FORMA DE UNIDADES AMOSTRAIS.....	28
2.5 NÚMERO DE ÁRVORES EM UNIDADES AMOSTRAIS .....	30
2.6 PRECISÃO E EFICIÊNCIA DE UNIDADES AMOSTRAIS.....	32
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	35
3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	35
3.1.1 Critério utilizado na seleção das áreas.....	39
3.1.1.1 Descrição da condição 1 .....	39
3.1.1.2 Descrição da Condição 2 .....	39
3.1.1.3 Descrição da Condição 3 .....	40
3.2 COLETA DE DADOS .....	41
3.2.1 Métodos de medição .....	41
3.2.2 Instrumentos e materiais utilizados na medição.....	41
3.2.3 Equipe de campo .....	42
3.3 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM .....	42
3.3.1 Método de amostragem por pontos de Bitterlich (PB).....	44
3.3.2 Método de área fixa com parcela Circular (PC).....	45
3.3.3 Método de área fixa com conglomerado em Cruz (CC) .....	46
3.3.4 Método de área fixa com conglomerado em Linha (CL).....	48
3.4 NÚMERO DE UNIDADES AMOSTRAIS.....	48
3.5 ESTIMATIVA DA ALTURA TOTAL .....	49

3.5.1 Modelos hipsométricos testados .....	49
3.5.1.1 Seleção do melhor modelo hipsométrico.....	50
3.6 ESTIMATIVA DO VOLUME.....	51
3.6.1 Método de cubagem.....	52
3.6.1.1 Número de árvores cubadas .....	52
3.6.2 Procedimento para coleta de dados de cubagem .....	53
3.6.3 Obtenção dos volumes reais .....	54
3.6.4 Modelos volumétricos testados .....	55
3.6.4.1 Seleção do melhor modelo volumétrico.....	56
3.7 FÓRMULAS ESTATÍSTICAS UTILIZADAS NA ANÁLISE DA PRECISÃO DAS VARIÁVEIS ESTIMADAS .....	56
3.7.1 Método de amostragem por ponto de Bitterlich (PB).....	56
3.7.2 Método de amostragem com parcela Circular (PC) .....	57
3.7.3 Método de amostragem com conglomerado em Cruz (CC) .....	58
3.7.4 Método de amostragem com conglomerado em Linha (CL).....	59
3.8 INTENSIDADE DE AMOSTRAGEM .....	60
3.8.1 Intensidade em função da variância da população, precisão requerida e confiabilidade fixada .....	61
3.8.1.1 Número de unidades amostrais para o método de PB e o método de área fixa com PC .....	61
3.8.1.2 Número de unidades amostrais para o método de área fixa com CC e CL.....	62
3.9 ESTIMATIVA DE TEMPO MÉDIO DE AMOSTRAGEM.....	62
3.9.1 Método da eficiência relativa .....	62
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>64</b>
4.1 CONDIÇÃO 1 .....	64
4.1.1 Melhor modelo hipsométrico.....	64
4.1.2 Melhor modelo volumétrico .....	65
4.1.3 Estimativa das variáveis obtidas .....	66
4.1.3.1 Estimativa das variáveis pelos métodos de PB e de área fixa com PC, CC e CL.....	67
4.1.3.2 Distribuição das variáveis em classes de diâmetro .....	68
4.1.3.3 Análises estatísticas das variáveis estimadas pelos métodos PB e de área fixa com PC, CC e CL .....	68

4.1.3.3.1	Análise estatística da estimativa de DAP médio .....	68
4.1.3.3.2	Análise estatística da estimativa de número de árvores.....	70
4.1.3.3.3	Análise estatística da estimativa de área basal.....	72
4.1.3.3.4	Análise estatística da estimativa de volume .....	75
4.1.3.4	Teste t de Student para as estimativas DAP médio, número de árvores, área basal e volume .....	77
4.1.3.5	Classificação dos métodos com base no erro de amostragem .....	78
4.1.3.6	Análise da eficiência relativa comparada .....	79
4.2	CONDIÇÃO 2.....	80
4.2.1	Melhor modelo hipsométrico .....	80
4.2.2	Melhor modelo volumétrico .....	81
4.2.3	Estimativa das variáveis obtidas .....	82
4.2.3.1	Estimativa das variáveis pelos métodos de PB e de área fixa com PC, CC e CL.....	84
4.2.3.2	Distribuição das variáveis em classes de diâmetro .....	84
4.2.3.3	Análises estatísticas das variáveis estimadas pelos métodos de PB e de área fixa com PC, CC e CL .....	85
4.2.3.3.1	Análise estatística da estimativa de DAP médio .....	85
4.2.3.3.2	Análise estatística da estimativa de número de árvores.....	87
4.2.3.3.3	Análise estatística da estimativa de área basal.....	89
4.2.3.3.4	Análise estatística da estimativa de volume .....	91
4.2.3.4	Teste t de Student para as estimativas DAP médio, número de árvores, área basal e volume. ....	94
4.2.3.5	Classificação dos métodos com base no erro de amostragem .....	95
4.2.3.6	Análise da eficiência relativa comparada .....	96
4.3	CONDIÇÃO 3.....	97
4.3.1	Melhor modelo hipsométrico .....	97
4.3.2	Melhor modelo volumétrico .....	98
4.3.3	Estimativa das variáveis obtidas .....	99
4.3.3.1	Estimativa das variáveis pelos métodos PB e de área fixa com PC, CC e CL.....	101
4.3.3.2	Distribuição das variáveis em classes de diâmetro .....	101
4.3.3.3	Análises estatísticas das variáveis estimadas pelos métodos de PB e de área fixa com PC, CC e CL .....	102



4.3.3.3.1	Análise estatística da estimativa de DAP médio .....	102
4.3.3.3.2	Análise estatística da estimativa de número de árvores.....	104
4.3.3.3.3	Análise estatística da estimativa de área basal.....	106
4.3.3.3.4	Análise estatística da estimativa de volume .....	108
4.3.3.4	Teste t de Student para as estimativas DAP médio, número de árvores, área basal e volume .....	110
4.3.3.5	Classificação dos métodos.....	111
4.3.3.6	Análise da eficiência relativa comparada .....	112
4.4	<b>COMPARAÇÃO SIMULTÂNEA DAS TRÊS CONDIÇÕES ATRAVÉS DO DELINEAMENTO EM BLOCOS AO ACASO.....</b>	<b>113</b>
4.4.1	Teste de Tukey para o erro de amostragem e eficiência relativa na estimativa de DAP médio, considerando as três condições simultaneamente .....	114
4.4.2	Teste de Tukey para o erro de amostragem e eficiência relativa na estimativa de número de árvores, considerando as três condições simultaneamente .....	115
4.4.3	Teste de Tukey para o erro de amostragem e eficiência relativa na estimativa de área basal, considerando as três condições simultaneamente .....	116
4.4.4	Teste de Tukey para o erro de amostragem e eficiência relativa na estimativa de volume, considerando as três condições simultaneamente .....	117
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>119</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>121</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da civilização, o homem, a fim de satisfazer suas necessidades, buscava os recursos naturais. Todavia, não os utilizava bem, principalmente com relação a quantificação desses recursos, uma vez que o seu conhecimento, relativamente limitado, não permitia. Atualmente, com o crescimento acelerado e desordenado da população, mesmo com o desenvolvimento tecnológico, o problema do mau uso dos recursos naturais persiste e agrava-se, ou simplesmente não lhe é dada a devida atenção por não se fazer sentir na parte econômica, conforme SILVA *et al.* (2005, p. 5).

As florestas, que desempenham um papel fundamental na manutenção do equilíbrio vital do planeta, além de fornecer inúmeros bens e serviços, têm se tornado um recurso cada vez mais escasso. A cada dia se observa uma diminuição na cobertura florestal, devido a uma série de fatores, o que torna necessário o uso de técnicas de amostragem para se fazer uma quantificação mais precisa.

A escassez de madeira já se fazia sentir na Região Sul e Sudeste, fato este que, durante os anos da década de 1960, propiciou o desenvolvimento de uma política e incentivos fiscais, gerando benefícios à atividade florestal no Brasil. No Paraná, onde as grandes reservas de Pinho-do-paraná ou *Araucaria angustifolia* já atingiam o fim da exploração comercial em grande escala, a maioria das indústrias florestais iniciou durante o final da década de 1950 e começo da década de 1960, a implantação de florestas a fim de garantir o fluxo permanente de madeira. Neste sentido, os incentivos fiscais foram importantes, propiciando a implantação de áreas significativas de reflorestamento, o que contribuiu, também, para o desenvolvimento do país.

Mas a falta de conhecimento sobre o comportamento das espécies nativas e a tecnologia desenvolvida para a produção da celulose e papel motivaram a importação de espécies exóticas, sendo que as primeiras introduções de que se têm notícia foram de *Pinus canariensis*, proveniente das ilhas Canárias, no Rio Grande do Sul, em torno de 1880. Por volta de 1936, foram iniciados os primeiros ensaios de introdução de pinus para fins silviculturais, com espécies européias. No entanto, não houve sucesso, em decorrência de sua má adaptação ao clima brasileiro. Somente em 1948, através do Serviço Florestal do Estado de São Paulo, foram introduzidas, para ensaios, as espécies americanas conhecidas na sua região de origem como

“pinheiros amarelos”, que incluem *Pinus palustris*, *Pinus echinata*, *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, sendo que, no Paraná, se sobressaíram as duas últimas espécies, das quais a segunda é a mais utilizada nos plantios florestais (KRONKA, BERTOLANI e PONCE, 2005).

Esta espécie apresenta rápido crescimento, boa forma, boa qualidade de madeira e é reconhecida como espécie de grande valor econômico.

A espécie *Pinus taeda* L., alvo do presente estudo, é uma espécie subtropical, conífera do grupo Australes, pertencente à subseção Pinaster e subgênero Diploxy e ocorre naturalmente na região sudeste dos Estados Unidos da América.

Segundo TOMASELLI e SIQUEIRA (2006), as plantações florestais são atualmente responsáveis por mais de 70% da madeira industrial consumida no Brasil e são baseadas principalmente em *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp. (mais de 95% do total).

Conforme SANT’ANA JUNIOR *et al.* (2004, p. 11), o consumo de *Pinus* spp. no Paraná é de 43% e em segundo está Santa Catarina com 36%, totalizando 79% do total nacional, sendo que este cenário do setor florestal, baseado em madeira oriunda de plantações, tem crescido à taxa de 6% ao ano e já se projetam dificuldades no suprimento para o futuro próximo. Por este motivo, a área plantada no Brasil, após um período de redução, encontra-se novamente em expansão para atender a novas demandas de madeira das ampliações previstas pela indústria de celulose, para carvão vegetal e para produtos de madeira sólida.

Portanto, para as empresas detentoras de áreas reflorestadas, a tomada de decisões relativas ao aproveitamento do material advindo de suas florestas e o seu manejo racional envolvem a aplicação de técnicas adequadas para avaliação quantitativa e qualitativa de tais recursos. É de fundamental importância ter o conhecimento do potencial produtivo dos povoamentos florestais e confiabilidade determinados, para que se tenha uma administração e destinação ótimas deles, porque a avaliação desses recursos tem uma ligação direta com o planejamento econômico da empresa.

## 1.1 NATUREZA DA PESQUISA

A preocupação com a mensuração florestal remonta ao início da concepção das ciências florestais na Europa, no final do século XVIII. PRODAN *et. al.* (1997, p. 2) citam Paulsen (1795), COTTA (1804); KLAUPRECHT (1860), como sendo pioneiros na questões do desenvolvimento de fórmulas para determinar rendimentos, tabela de volume e fatores de forma. Problemas posteriores que preocuparam estes pioneiros florestais nesta área de estudo, que é a mensuração florestal, foram as funções de crescimento e muito especialmente as técnicas de inventário florestal que deram origem aos métodos e processos de amostragem no final do século XVIII, mas que só foram aplicados no início do século XX, junto à adoção definitiva das técnicas matemático-estatísticas.

Atualmente, as empresas trabalham objetivando obter de seus reflorestamentos a produção de madeira para vários usos e, para atender a estas diferentes destinações, têm manejado seus reflorestamentos com enfoque na produtividade, através de desbastes, que constituem no corte de um percentual de árvores, pelo método seletivo, sistemático ou misto, para a redução da competição e, conseqüentemente, uma maior rapidez no crescimento das árvores remanescentes. Desta forma, para se obter informações básicas para o subsídio do manejo e do planejamento da produção florestal, é necessário o inventário florestal (NAKAJIMA, 1998).

Para fins de inventário quali-quantitativo em florestas plantadas, ainda o mais usual é a medição das parcelas em campo e na literatura encontram-se citados vários métodos de amostragem, que podem ser utilizados para obtenção dos dados requeridos. Na Europa, Japão e Estados Unidos, os métodos de amostragem mais utilizados são: método de área fixa com parcela Circular (método padrão), método de área fixa com parcela Circular Concêntrica (método suíço), método de amostragem Ponto (método de Bitterlich) e método de amostragem em Linha (método de Strand) (NAKAJIMA, 1998).

VASQUEZ (1988) cita que as pesquisas desenvolvidas até então visavam a analisar tamanhos e formas de unidades amostrais aplicadas em diferentes processos de amostragem e baseavam-se nas experiências profissionais, a fim de obter informações pela maximização da precisão e minimização de custos.

Segundo NAKAJIMA *et al.* (1998), a eficiência dos diferentes métodos de amostragem (tipo, forma e tamanho das parcelas) varia de acordo com o tipo florestal, com as condições da floresta, com as condições da região de estudo e tipo do relevo, entre outras.

NAKAJIMA *et al.* (1998) citam que a metodologia de amostragem torna-se, assim, um fator decisivo no contexto da amostragem recomendado para uma dada situação, já que a adequação do método de amostragem para as condições da topografia e da floresta possibilitará um aumento da precisão para um mesmo esforço de amostragem, nas estimativas das variáveis de interesse, e uma redução do tempo de execução, o que, conseqüentemente, refletirá na redução de custos.

YATES (1971) cita que a minimização do número de unidades amostrais ou do material incluído na amostragem nem sempre resultará em uma eficiência maior por um menor custo.

ZEIDE (1980) define que o tamanho e o número ótimo de amostras é que minimizam o tempo de coleta dos dados e, conseqüentemente, os custos.

BONNOR (1972) afirma que os custos de trabalhos de campo são normalmente a parte mais onerosa dos custos totais.

Estes três autores entram em consenso no que diz respeito à escolha de um método de amostragem adequado, mantendo-se um nível de precisão para a variável mensurada para que o custo total do levantamento possa ser reduzido.

Frente aos pontos abordados e citados, fica clara a importância do presente estudo, que visa comparar dois métodos de amostragem: o método de amostragem de área variável, ponto de Bitterlich (PB), e o método de amostragem de área fixa de forma circular e esta com duas composições em conglomerados (em Cruz e em Linha). Além disto, visa escolher adequadamente um desses dois métodos de amostragem com suas respectivas variações estruturais para o método de área fixa, a fim de que possibilite um aumento de precisão para as estimativas das variáveis de interesse e uma redução do tempo de execução da amostragem, o que conseqüentemente reduzirá os custos.

## 1.2 OBJETIVOS

A presente pesquisa teve como objetivos:

- Comparar o método de amostragem por ponto de Bitterlich (PB) com o método de área fixa com parcela Circular (PC) e suas variações estruturais com conglomerado em Cruz (CC) e com conglomerado em Linha (CL), quanto à precisão das estimativas das variáveis DAP médio, número de árvores, área basal e volume total com casca por hectare, levantadas em plantação de *Pinus taeda* L.;
- Analisar se há diferenças estatisticamente significativas entre as variáveis estimadas pelos métodos testados;
- Comparar o método de amostragem por ponto de Bitterlich (PB) com o método de área fixa com parcela Circular (PC) e suas variações estruturais com conglomerado em Cruz (CC) e conglomerado em Linha (CL), quanto à eficiência relativa nas estimativas das variáveis levantadas em plantações de *Pinus taeda* L.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Como já se sabe, a preocupação com a mensuração florestal remonta ao final do século XVIII, na Europa. Vários estudiosos foram pioneiros no desenvolvimento de fórmulas para tais questões. Problemas posteriores relacionados à mensuração florestal, como funções de crescimento e técnicas de inventário, originaram os métodos e processos de amostragem no final do século XVIII. No entanto, só seriam aplicados no começo do século XX, com o uso definitivo das técnicas matemático-estatísticas.

### 2.1 ESTATÍSTICA

A estatística é a ciência que estuda os métodos de coleta, análise, interpretação e apresentação de dados experimentais (ARA, MUSETTI e SCHNEIDERMAN, 2003).

Conforme MARTINS (2006), a estatística é uma ciência que envolve coleta, classificação, sumarização, organização, análise e interpretação dos dados e seu desenvolvimento pode ser entendido a partir de dois fenômenos distintos – a necessidade de governos coletarem dados censitários e o desenvolvimento da teoria do cálculo das probabilidades.

MARTINS (2006, p. 19) define que estatística descritiva é a organização, sumarização e descrição de um conjunto de dados. Com a construção de gráficos, tabelas, e com o cálculo de medidas com base em uma coleção de dados numéricos, por exemplo, as idades dos alunos de uma classe, ou mesmo os diâmetros coletados em uma floresta, pode-se melhor compreender o comportamento da variável expressa no conjunto de dados sob análise.

ARA, MUSETTI e SCHNEIDERMAN (2003) citam que o objetivo da inferência estatística é a obtenção de informações sobre aspectos de uma população de interesse no estudo por meio de resultados obtidos na observação de uma ou mais amostras extraídas dessa população, ou seja, os resultados amostrais serão inferidos como resultados válidos para a população estudada.

MARTINS (2006, p. 19) relata que o início da formulação matemática da teoria das probabilidades deu-se a partir de investigações sobre jogos de azar, na

metade do século XVII, por meio de correspondências entre o filósofo Pascal e o jogador Chevalier de Mere. Outros matemáticos, como Bernoulli, DeMoivre e Gauss, estabeleceram as bases da estatística inferencial. Contudo, somente no início do século XX é que os métodos e as técnicas da estatística inferencial foram desenvolvidos por estatísticos como Pearson, Fischer, Gosset, entre outros. Pode-se definir estatística inferencial como métodos que tornam possível a estimação de características de uma população baseadas nos resultados amostrais, sendo que a aplicação voltada a florestas data do século XIX na Europa. Para melhor entendimento dos propósitos da inferência estatística, são necessárias as seguintes definições:

a) População (ou universo): é a totalidade de itens, objetos ou pessoas sob consideração.

b) Amostra: é uma parte da população que é selecionada para análise.

Segundo BANZATTO e KRONKA (1992, p. 37), o Teste t de Student serve para confrontar médias ou grupo de médias e se utiliza de contrastes de médias.

Segundo BANZATTO e KRONKA (1992, p. 91), o delineamento em blocos casualizados é também denominado de delineamento em blocos ao acaso ou ainda de delineamento em blocos completos casualizados e se constitui no mais utilizado de todos os delineamentos experimentais. É usado sempre que não houver homogeneidade das condições experimentais e utiliza-se do princípio do controle local, estabelecendo, então, sub-ambientes homogêneos e instalando, em cada um deles, todos os tratamentos, igualmente repetidos.

Conforme ARA, MUSETTI e SCHNEIDERMAN (2003, p. 92), a análise de variância objetiva verificar quão grande é essa variabilidade em relação à variabilidade que se observa dentro de cada amostra.

MARTINS (2006, p. 230) relata que, em relação à Análise de Variância, trata-se de um método estatístico, desenvolvido por Fischer, que, por meio de teste de igualdade de médias, verifica se fatores (variáveis independentes) produzem mudanças sistemáticas em alguma variável de interesse (variável dependente).

Segundo BANZATTO e KRONKA (1992, p. 43), o Teste de Tukey pode ser utilizado para testar todo e qualquer contraste entre duas médias. É um teste muito versátil, mas que não permite comparar grupos entre si. O teste tem por base a diferença mínima significativa (d.m.s.).



## 2.2 AMOSTRAGEM ALEATÓRIA IRRESTRITA

A amostragem de uma população pode ser realizada segundo alguns processos, os quais devem ser aplicados de acordo com as características da população para obter maior precisão com menor custo, sendo possível, em tese, aplicar qualquer processo de amostragem a uma população florestal na busca de informações de interesse. Entretanto, a utilização de um processo inadequado às características estudadas, certamente, levará a um grande incremento no custo do inventário.

A enumeração total ou censo, embora isenta de erros amostrais, só é praticável em áreas pequenas e de grande importância econômica devido ao alto custo que representa esta operação. Por outro lado, os procedimentos de amostragem permitem conhecer as estimativas desta população com alta precisão e baixo custo (CESARO *et al.*, 1994).

A amostragem é de grande importância porque a medição de todos os indivíduos de uma população é proibitivamente cara (FREESE, 1962).

PÉLLICO NETTO e BRENA (1997, p. 107) citam que a amostragem aleatória é o processo fundamental de seleção a partir do qual derivam todos os demais procedimentos de amostragem, visando a aumentar a precisão das estimativas e reduzir os custos de levantamento.

SPIEGEL<sup>1</sup> (1977, citado por VASQUEZ, 1988, p. 6) relata que uma das melhores maneiras pela qual se pode obter uma amostra representativa de uma população é através da aplicação do processo denominado amostragem aleatória irrestrita ou amostragem completamente ao acaso, onde cada unidade de amostra tem igual probabilidade de ser incluída na amostragem.

Os fundamentos da amostragem aleatória irrestrita baseiam-se no fato de que a eleição de qualquer unidade amostral deve ser totalmente independente da escolha das outras unidades. O processo de eleição de unidades amostrais deve dar-se através de sorteio. A seleção de unidades amostrais pode ser realizada com ou sem reposição. Com reposição, a unidade escolhida terá oportunidade de ser reescolhida e, sem reposição, a unidade amostral só terá a probabilidade de ser escolhida uma vez.

---

<sup>1</sup> SPIEGEL, M. R. **Estatística parte 1**. Mc Graw-Hill do Brasil. São Paulo, 1977, p. 580.

A amostragem simples ao acaso é recomendada para pequenas áreas florestais não superiores a 10.000 ha, com características homogêneas com respeito às variáveis de interesse, e com fácil estrutura de acessibilidade (QUEIROZ, 1977, p. 37).

A amostragem aleatória é melhor em relação às outras estruturas, quando os cálculos das estimativas de variância são importantes ou pouco se conhece sobre as características básicas da população que está sendo amostrada (AVERY e BURKHART, 1983).

HUSCH (1963) concluiu que a amostragem ao acaso é uma aplicação prática das probabilidades, onde as parcelas são escolhidas aleatoriamente e independentemente, o que permite eliminar os erros sistemáticos, calcular o erro padrão de estimativas e antecipar com segurança o número de unidades amostrais a serem medidas.

HUSCH, MILLER e BEERS<sup>2</sup> (1982, citados por PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997), comentam que a amostragem aleatória irrestrita, em inventários florestais, produz estimativas sem tendência da população e permite estimar o erro de amostragem, mas apresenta as seguintes desvantagens: necessidade de planejar a listagem das unidades, para selecionar aleatoriamente as parcelas ou pontos amostrais; maior dificuldade de localizar, no campo, a posição das unidades amostrais dispersas na população; tempo improdutivo gasto no deslocamento entre as unidades de amostra; possibilidade de uma distribuição irregular das unidades, resultando numa amostragem irregular da população.

Analisando o processo de amostragem aleatória irrestrita, refere-se a ele como sendo o mais recomendado e preferível para povoamentos homogêneos, de áreas pequenas e com relativa acessibilidade (GOMES, 1973).

### 2.3 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM

Grande parte das pesquisas que envolvem quantificação e qualificação dos recursos florestais são realizadas por meio de estudos dos elementos que compõem

---

<sup>2</sup> HUSCH, B.; MILLER, C. I. & BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 2 ed. New York, John Wiley & Sons, 1982, p. 402.

uma amostra extraída da população que se pretende analisar (PÉLLICO NETTO e BRENA (1997), ARA; MUSETTI e SCHNEIDERMAN (2003) e MARTINS (2006)).

PÉLLICO NETTO e BRENA (1997), referenciados por SANQUETTA *et al.* (2006), citam que método de amostragem significa a abordagem da população referente a uma única unidade de amostra, ou seja, a parcela ou outro tipo de unidade amostral a ser empregada no inventário. Esta abordagem pode ser feita por meio de métodos de área fixa ou de área variável.

Considerando-se que o inventário florestal é hoje uma atividade que visa a obter informações qualitativas e quantitativas dos recursos florestais existentes em uma área pré-especificada (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997, p. 6), torna-se imprescindível o uso de métodos de amostragem, embora não haja uma classificação completa e diversificada de uso e aplicação em uma dada população.

São vários os métodos de amostragem. No entanto, ao se buscar que um inventário atinja seus objetivos através de uma amostragem de qualidade e representativa da população, convém levar em consideração com bastante clareza dois conceitos fundamentais: precisão e acuracidade.

A precisão refere-se ao tamanho dos desvios da amostra em relação à média estimada, a qual se obtém através da repetição do procedimento de amostragem. Assim, ela será indicada pelo erro padrão da estimativa sem levar em conta o tamanho dos erros não-amostrais.

Para LOETSCH *et al.* (1973, p. 60), a amostragem é a seleção de parte de um agregado de material para representar o agregado todo.

LOETSCH *et al.* (1973, p. 62) citam que os avanços nesta teoria nas últimas décadas transformaram os procedimentos um tanto especulativos da amostragem em métodos com uma precisão que pode ser calculada e controlada.

A informação desejada é obtida com menor custo pela amostragem que pela enumeração total e mais confiável porque a observação de apenas parte da população proporciona mais tempo e mais recurso, medindo com mais cuidado, com instrumentos melhores e pessoal mais bem treinado. Com isso, a amostragem oferece precisão desejada, custo mínimo, menos tempo e probabilidade determinada (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997, p. 15).

Por sua vez, a acuracidade indica o tamanho dos desvios da estimativa amostral em relação à média paramétrica da população (média), inclusive com os erros não-amostrais. Para o inventário florestal, interessa justamente a acuracidade

da estimativa amostral. A precisão é obtida com mais facilidade. Por isso, ela é mais avaliada e é conveniente maximizar esta e minimizar os desvios amostrais e erros não-amostrais (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997, p. 23).

É comum se 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.

### 2.3.1 Método de área fixa

PÉLLICO NETTO e BRENA (1997) dizem que neste método de amostragem a seleção dos indivíduos é feita proporcionalmente à área da unidade de amostra e, conseqüentemente, à freqüência dos indivíduos que nela ocorrem.

STERBA (1986) relata que a unidade de área fixa é a mais antiga e que nela a seleção dos indivíduos também ocorre com probabilidade proporcional à área, pois todos os indivíduos que se situarem no interior de uma unidade de amostra serão medidos.

Tradicionalmente, o método de amostragem mais utilizado para inventariar florestas eqüiâneas e ineqüiâneas é o método de área fixa. (FARIAS *et al.* 2002, p. 542).

#### 2.3.1.1 Amostragem com unidades circulares

Segundo PRODAN<sup>3</sup> (1965, citado por PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997), as unidades circulares ainda são menos utilizadas no Brasil que as retangulares e quadradas. Porém, seu uso vem sendo cada vez mais freqüente em inventários florestais na atualidade. As parcelas circulares ganham eficiência porque, entre todas as formas possíveis, considerando-se a mesma área, são as que possuem menor perímetro e, conseqüentemente, minimizam o problema de árvores marginais.

Para SANQUETTA *et al.* (2006), as parcelas circulares são mais usuais em inventários de plantações florestais, que requerem unidades menores

---

<sup>3</sup> PRODAN, M. **Holzmesselehre**. Frankfurt, J.D. Sauerländer's Verlag, 1965, p. 644.

comparativamente com as demandadas em florestas naturais (geralmente acima de 1.000 m<sup>2</sup>). Exceção é o caso de inventário de regeneração natural.

Segundo SANQUETTA *et al.* (2006, p. 42), a definição do raio é o aspecto mais importante. Uma parcela circular somente será eficiente se o raio for controlável pelo profissional que está coordenando o inventário no campo. Para os autores raios grandes, acima de 15 m, não são operacionalmente viáveis e inviabilizam a eficiência do inventário e, em média, a área deve perfazer em torno de 400 a 600 m<sup>2</sup>.

A parcela circular é um tipo de unidade amostral que mostra uma tendência de ser cada vez mais adotado em muitas empresas e consultorias na execução de inventários florestais.

#### 2.3.1.2 Amostragem com conglomerados

As unidades de amostra em conglomerados são casos especiais de unidades amostrais de área fixa circulares, quadradas ou retangulares, onde se reúne um grupo de subunidades para compor uma unidade principal denominada conglomerado ou *cluster* em inglês (SANQUETTA *et al.*, 2006).

Para QUEIROZ (1998, p. 79), a amostragem em conglomerados ou grupos é uma variação de qualquer processo de amostragem, onde, em vez de se utilizar unidades de amostra individuais, usa-se um grupo ou conglomerado de pequenas subunidades.

Quando os conglomerados são selecionados aleatoriamente na floresta, pode-se definir que a amostragem consiste em reunir em grupos as subunidades de amostra, que em uma amostra inteiramente aleatória se dispersariam na floresta. Dessa forma, as subunidades restringem-se a uma área específica denominada subpopulação.

QUEIROZ (1998, p. 80) cita que a amostragem por conglomerados, no que se refere à aplicação em levantamentos florestais, apresenta as seguintes vantagens:

- a) Oferece melhor controle no trabalho de campo, pois as unidades de registro, as subunidades do conglomerado, são menores;

- b) Percepção de maior quantidade de variabilidade da variável resposta em questão, pois o conglomerado é formado por uma série de subunidades, as quais explicam a variabilidade dentro do conglomerado;
- c) Em florestas tropicais, onde a acessibilidade é difícil, é vantajosa a aplicação da amostragem por conglomerados, principalmente quando apresenta uma forma estrutural para ser completamente enumerada no expediente de um dia de trabalho. Inventários realizados em áreas de difícil acesso, onde o custo de localização da unidade de amostra é alto, o uso de conglomerados possibilita a redução do custo do levantamento, pois em cada unidade primária amostrada são medidas várias subunidades secundárias.

O mesmo autor comenta ainda, que a comparação da variação entre os conglomerados e a variação entre subunidades dentro dos conglomerados é que revelará a eficiência, em termos de precisão estatística, da aplicação da amostragem por conglomerados. A amostra por conglomerados será mais precisa quanto maior for o componente de variância dentro dos conglomerados e menor for o componente entre os conglomerados. Depreende-se que o processo por conglomerados é recomendável para florestas que revelam, em termos de variável resposta, alta variação dentro de pequenas extensões e relativa uniformidade entre essas pequenas extensões.

### 2.3.2 Método de área variável

Apesar do amplo uso do método de área fixa, métodos alternativos existem e podem se constituir na opção ideal em alguns tipos de inventários, especialmente quando se deseja rapidez e eficiência, como é o caso do método de amostragem de Bitterlich (SANQUETTA *et al.*, 2006).

Conforme SILVA (1977), STERBA (1986), FINGER (1992), PRODAN *et al.* (1997), entre outros autores, neste método, a seleção das árvores que compõem a unidade de amostra é realizada pela comparação do diâmetro da árvore com um ângulo de visada constante.

FARIAS *et al.* (2002, p. 542) mencionam em seu estudo que, devido à simplicidade do procedimento para a obtenção dos dados, a aplicação do método de Bitterlich pode ser de extrema utilidade, principalmente em situações em que se

necessita de um diagnóstico rápido do estoque de madeira entre outras características da floresta.

Comparando-se o método de Bitterlich com o método de Strand, e o método de área fixa nas suas variações de amostragem de parcela Circular e de amostragem de parcela Circular Concêntrica, o método de Bitterlich mostrou-se melhor na estimativa da área basal e volume em povoamento de Pinus (NAKAJIMA *et. al.*,1998).

## 2.4 TAMANHO E FORMA DE UNIDADES AMOSTRAIS

A forma das unidades amostrais têm sido decidida muito mais pela praticidade e operacionalidade de sua localização e demarcação em campo, do que por qualquer outra argumentação. Já para o tamanho das unidades amostrais existe uma relação entre o coeficiente de variação com a área das unidades amostrais, sendo que pode-se chegar a um ponto ideal desta relação.

PEARCE<sup>4</sup> (1935, citado por PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997), afirma não haver informações acerca do melhor tamanho para unidades amostrais, mas observa que as pequenas proporcionam economia de tempo, enquanto as maiores proporcionam redução de mão-de-obra. As unidades amostrais estreitas e compridas, de maneira geral, são melhores que as quadradas, porém, muitas vezes, as quadradas se sobrepõem àquelas, e a decisão sobre uma ou outra forma depende do propósito do estudo.

HUSCH (1971) cita que, qualquer que seja a forma e tamanho da unidade amostral, será possível calcular o volume de madeira da floresta sem erros sistemáticos, porém, dadas certas características florestais, o tamanho e a forma ótima das unidades amostrais variam.

VASQUEZ (1988, p. 7) cita que, para a determinação da forma e tamanho ideal das unidades amostrais, tem-se uma série de premissas a serem consideradas. O mesmo autor comenta, ainda, que a área da unidade de amostra está diretamente relacionada com o número de indivíduos nela contido e que muitos

---

<sup>4</sup> PEARCE, S. C. **Field experiments with fruit trees and other perennial plants**. Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops, T. C. 23, 1935, p. 131.

trabalhos publicados com referência ao assunto revelam a dependência entre a variância dos volumes estimados pelas unidades amostrais e o tamanho delas. Várias observações demonstraram o decréscimo da variância em função do aumento da área da unidade amostral, ocorrendo o mesmo com relação ao coeficiente de variação.

De acordo com RAMER e AKÇA (1982), o aumento da área da unidade de amostra leva à redução da variância entre as unidades e a um menor número de unidades para um erro de amostragem fixado, quando comparado a unidades menores. Por outro lado, unidades amostrais muito grandes perdem em representatividade devido ao baixo número e ainda mostram rápido aumento do custo de medição e instalação.

Nesta mesma linha, HUSCH *et al.* (1982) citam que em povoamentos homogêneos a precisão de amostragem tende a ser maior com o emprego de unidades pequenas devido ao maior número de unidades amostrais independente, mas, por outro lado em povoamentos heterogêneos, unidades pequenas produzem coeficientes de variação altos, sendo então preferidas unidades amostrais maiores. O melhor, segundo o autor, será determinar a intensidade fixando primeiramente os limites de precisão que satisfaçam os objetivos do inventário florestal e, em seguida, calcular o número de unidades amostrais para alcançá-la.

FREESE (1962) afirma que o tamanho e a forma das unidades amostrais podem afetar o custo do inventário, sua precisão ou ambos ao mesmo tempo, demonstrando tal fato como um experimento no qual foram comparadas amostras de 2,5 cm por 15 cm e 2,5 cm por 30 cm para inventariar mudas em um viveiro.

OGAYA (1977), em seu trabalho sobre a influência do tamanho das unidades amostrais nos erros de amostragem em inventários florestais, concluiu que do ponto de vista estatístico, as unidades amostrais de dimensões pequenas oferecem maiores vantagens.

CASTILLO (1964) indica que teoricamente uma amostra de forma retangular com seu eixo mais longo e com ângulos retos nos seus vértices deverá ser mais eficiente, pois sua forma longa tende a captar melhor as condições de variabilidade da floresta. Testando a eficiência de amostras de forma circular de 500 m<sup>2</sup>, 1.000 m<sup>2</sup> e 1.500 m<sup>2</sup> e uma de forma retangular de 1.600 m<sup>2</sup>, concluiu que, a uma mesma intensidade de amostragem, as amostras de menor tamanho são mais eficientes e mais precisas para a estimativa do volume total por hectare.



SILVA (1977), no desenvolvimento de trabalhos sobre simulação de formas e tamanhos de unidades amostrais em plantio de *Eucalyptus alba*, concluiu que as unidades de amostra estreitas e compridas proporcionam melhores resultados, com relação à tendência de otimização das estimativas.

VERUETTE e PIMENTEL (1964), comparando unidades amostrais circulares com dimensões variáveis, concluíram que as unidades circulares de 1.000 m<sup>2</sup> atenderam satisfatoriamente ao limite de erro e ao nível de probabilidade definidos para o inventário realizado. Consideraram que o tamanho de tais unidades amostrais proporcionou facilidades para o controle, na instalação e medição, o que veio a reduzir ao mínimo os erros sistemáticos e acidentais na coleta de dados. Além disso, ressaltaram que a experiência da equipe executora dos trabalhos contribuiu consideravelmente na redução dos erros de medição.

NAKAJIMA *et al.* (1996) relatam que na Europa, Japão e Estados Unidos, os métodos de amostragem mais utilizados são: método de área fixa com parcela Circular (método padrão), método de área fixa com parcela Circular Concêntrica (método suíço), método de amostragem em Ponto (método de Bitterlich) e método de amostragem em Linha (método de Strand).

## 2.5 NÚMERO DE ÁRVORES EM UNIDADES AMOSTRAIS

Segundo SPURR (1955), o tamanho da unidade de amostra deve ser tal que, ordinariamente, inclua pelo menos 20 a 30 árvores mensuráveis, cuja área seja tão restrita que não requeira tempo em demasia para sua mensuração. Deste modo, para árvores de grandes dimensões são necessárias amostras igualmente de grandes dimensões. Em povoamentos florestais, unidades amostrais pequenas são desejáveis e satisfatórias para as estimativas.

MACHADO e FIGUEIREDO FILHO (2003, p. 170) relatam que o próprio Bitterlich em seu manual do Relascópio indica que a banda adequada é aquela que conta de 20 a 30 árvores por giro.

SILVA<sup>5</sup> (1977, citado por MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2003, p. 170), afirma que alguns autores recomendam, como regra geral, escolher a banda adequada com base na suposta área basal da floresta.

MACHADO e FIGUEIREDO FILHO (2003, p. 170) afirmam que a escolha do K adequado é muito importante para obter boas estimativas pelo método de Bitterlich. Por isso, é recomendável que, antes de iniciar um levantamento florestal, as condições da floresta sejam analisadas e alguns pontos amostrais sejam realizados experimentalmente no sentido de escolher os fatores (Ks) mais adequados para cada estrato (tipo florestal homogêneo), seja com base na provável área basal que a floresta tem ou, se esta informação não for disponível, basear-se na quantidade média de árvores que a banda adequada deveria contar, ou com base em ambos os critérios

Para LEITE e CAMPOS (2006, p. 188), em inventários florestais, o número de estações de leitura depende da precisão requerida e do tamanho da área a ser inventariada. O fator instrumental escolhido deve contemplar um número mínimo adequado de árvores “classificadas” por estação de leitura, a fim de diminuir a variância da característica e também evitar superposição de árvores durante as leituras de campo. Isso está relacionado com características da população, como a grandeza do diâmetro médio e o espaçamento entre árvores. Sugere-se um número médio entre 8 e 15 árvores por estação.

Segundo NAKAJIMA (1995), em seu estudo na floresta experimental Shiragadake, em Kagoshima, Japão, o fator de área basal 2 foi escolhido porque o fator de área basal 4 incluiria poucas árvores em cada ponto amostral, aumentando, conseqüentemente, o erro de amostragem.

SANQUETTA *et al.* (2006, p. 55) recomendam que a escolha da banda fique a critério do profissional, mas em geral para a maioria dos inventários em plantações florestais, que é o caso das maiores aplicações do método, o fator de área basal 1 ou o fator de área basal 2 são utilizados. Recomenda-se que pelo menos 15 a 20 árvores sejam contadas em cada giro para evitar estimativas errôneas.

---

<sup>5</sup> SILVA, J. A. **Biometria e estatística florestal**. UFSM. Santa Maria, 1977, p. 235.

## 2.6 PRECISÃO E EFICIÊNCIA DE UNIDADES AMOSTRAIS

ODERWALD (1981), comparando a precisão para os estimadores de área basal para os métodos de área fixa e variável, concluiu que a precisão varia dependendo do tipo de agregação do plantio, sendo mais preciso o método de área variável para plantios nos quais a distribuição das árvores ocorre aleatoriamente.

SPARCKS *et al.* (2002) compararam estimativas de número de árvores em três plantios no sudeste de Oklahoma (EUA), usando parcelas circulares de tamanho fixo, de tamanho variável e parcelas quadradas. 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, independente das suas dimensões. As parcelas circulares de tamanho variável e as quadradas tenderam a subestimar o número de árvores real da plantação. Os autores recomendam usar parcelas de área fixa para árvores pequenas (2,5 cm a 11,4 cm de DAP) e parcelas variáveis para árvores maiores que 11,4 cm de DAP.

MAURICIO *et al.* (2005, p. 24), em seus estudos em plantios de *Pinus caribaea* no oriente da Venezuela, concluíram que em inventário com parcelas de área fixa, este método é ligeiramente 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.* (1995, p. 579), comparando os métodos de amostragem de área fixa, nas variações de parcela Circular e Circular Concêntrica, de Bitterlich e de Strand como um sistema de inventário florestal contínuo para manejo de floresta, em floresta de *Cryptomeria japonica* D. Don, com 43 anos de idade, misturada com *Pinus* spp. e diversas folhosas em Kagoshima, Japão, na estimativa do número de árvores, área basal e volume por hectare, obtiveram os seguintes resultados: para número de árvores por hectare, o método mais preciso foi o de área fixa com parcela Circular, seguido pelo de área fixa com parcela Circular Concêntrica e, para a área basal e volume por hectare, o método mais preciso foi Bitterlich, seguido pelo de área fixa com parcela Circular Concêntrica, Strand e de área fixa com parcela Circular.

NAKAJIMA *et al.* (1996, p. 149), comparando a precisão de métodos de amostragem em duas florestas distintas, afirmam que, quando a estimativa da área

basal e do volume em um local onde a distribuição de árvores foi quase aleatória, o método de Bitterlich foi o mais preciso, seguido pelo de área fixa com parcela Circular Concêntrica. Em um local onde a distribuição seguiu uma forma quadrada reticulada, o método de área fixa com parcela Circular Concêntrica foi mais preciso. Levando-se em consideração, no entanto, o número de árvores, o método de área fixa com parcela Circular foi o mais preciso nos dois locais.

NAKAJIMA *et al.* (1996, p. 143), comparando a precisão de quatro métodos de amostragem usados para estimativa de valores em duas ocasiões na estimativa do 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 de área fixa com parcela Circular. Eles também afirmam que, quanto à precisão, 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.

AVERY e BURKHART (1950, p. 156) 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, isto é obtido com o produto entre o quadrado do erro padrão e o tempo (custo = tempo).

FREESE<sup>6</sup> (1962, citado por PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997), 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 e ainda pode-se usar a combinação dos erros amostrais ou dos coeficientes de variação com os respectivos custos de amostragem.

PÉLLICO NETTO e BRENA (1997, p. 37) relatam que, se o objetivo for comparar vários tamanhos simultaneamente, pode-se calcular o inverso dos

---

<sup>6</sup> FREESE, F. **Elementary forest sampling**. U. S. Department of Agriculture, 1962, 91 p.

produtos dos quadrados dos coeficientes de variação pelos respectivos custos, e compará-los entre si.

CESARO *et al.* (1994, p. 107), em seu estudo, concluíram que o método de Seis Árvores mostrou a menor eficiência (60%) e o da relascopia (80%), quando comparados com o de área fixa.

MOSCOVICH, BRENA e LONGHI (1999, p. 185), 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.

NAKAJIMA (1997) afirma que para se poder comparar diferentes métodos de amostragem como o de área fixa de diferentes formas 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.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram implementadas parcelas em três diferentes talhões, com plantios de *Pinus taeda* L. localizados na Fazenda Boa Vista, de propriedade da Empresa Águia Florestal, sediada no município de Ponta Grossa – PR. Esta fazenda situa-se no município de Carambeí (Figura 1), mesorregião Centro Oriental do Paraná, na microrregião de Ponta Grossa. Dista cerca de 130 km de Curitiba, sendo 100 km pela BR 376 até o município de Ponta Grossa e mais 30 pela PR 151. As coordenadas geográficas são 24°04'44", latitude sul e 50°05'49", longitude oeste.

Os solos da região que compreendem a Fazenda Boa Vista são principalmente de textura média no domínio das rochas da Formação Furnas, porção basal dos Campos Gerais, sendo formada por arenitos de textura muito variável, localmente conglomeráticos e com intercalações de clásticos síltico-argilosos. O cimento é escasso, conferindo ao arenito um caráter friável. Por conseguinte, os solos são mais argilosos, no domínio da Formação Ponta Grossa, porção superior do Grupo Campos Gerais, a qual é constituída de folhelhos cinza, fossilíferos, finalmente laminados, micáceos, localmente betuminosos, com intercalações muito pouco expressivas de camadas de siltitos e arenitos (BOGNOLA *et al.*, 2002).

A área caracteriza-se pela ocorrência predominante de uma sucessão de baixas colinas, de formas suavizadas, com largas planícies aluviais de relevo plano ou praticamente plano (BOGNOLA *et al.*, 2002).

As colinas tendem a ter o topo um tanto amplo, com declividade não superior a 3%, enquanto as vertentes, em centenas de metros, são normalmente convexas, com declividade raramente ultrapassando de 10%, o que permite o tráfego de qualquer tipo de máquina, com alto rendimento (BOGNOLA *et al.*, 2002).

O clima é classificado como *Cfb* de Köppen, ou seja, de um clima subtropical úmido, mesotérmico, com verões frescos, geadas severas, demasiado frequentes e sem estação seca (BOGNOLA *et al.*, 2002).

A precipitação anual média é acima de 1.400mm e as chuvas são 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).

A vegetação é representada pela floresta subtropical perenifólia, pelos campos subtropicais úmidos e, em menor escala, pelos campos cerrados (BOGNOLA *et al.*, 2002).

Os talhões utilizados neste estudo são de *Pinus taeda* L., sem desbastes, com espaçamentos de 2,00 m por 2,50m, conforme Figura 2.

As unidades amostrais foram alocadas em três diferentes talhões, sendo eles:

- talhão PG-009, com área de efetivo plantio de 52,10 ha e idade de 10 anos;
- talhão PG-024, com área de efetivo plantio de 41,52 ha e idade de 7 anos, e;
- talhão PG-002A e 002B com áreas de efetivo plantio de 10,00 ha e 22,86 ha respectivamente, que totalizam 32,86 ha e idade de 9 anos.

Os três talhões totalizam 126.48 ha, conforme Figura 2.

As três condições de estudo ou talhões foram analisadas separadamente quanto a seus resultados e discussões, sendo esses três talhões, PG-009, 024 e 002A/B, denominados Condição 1, 2 e 3, respectivamente, para efeitos desse estudo.

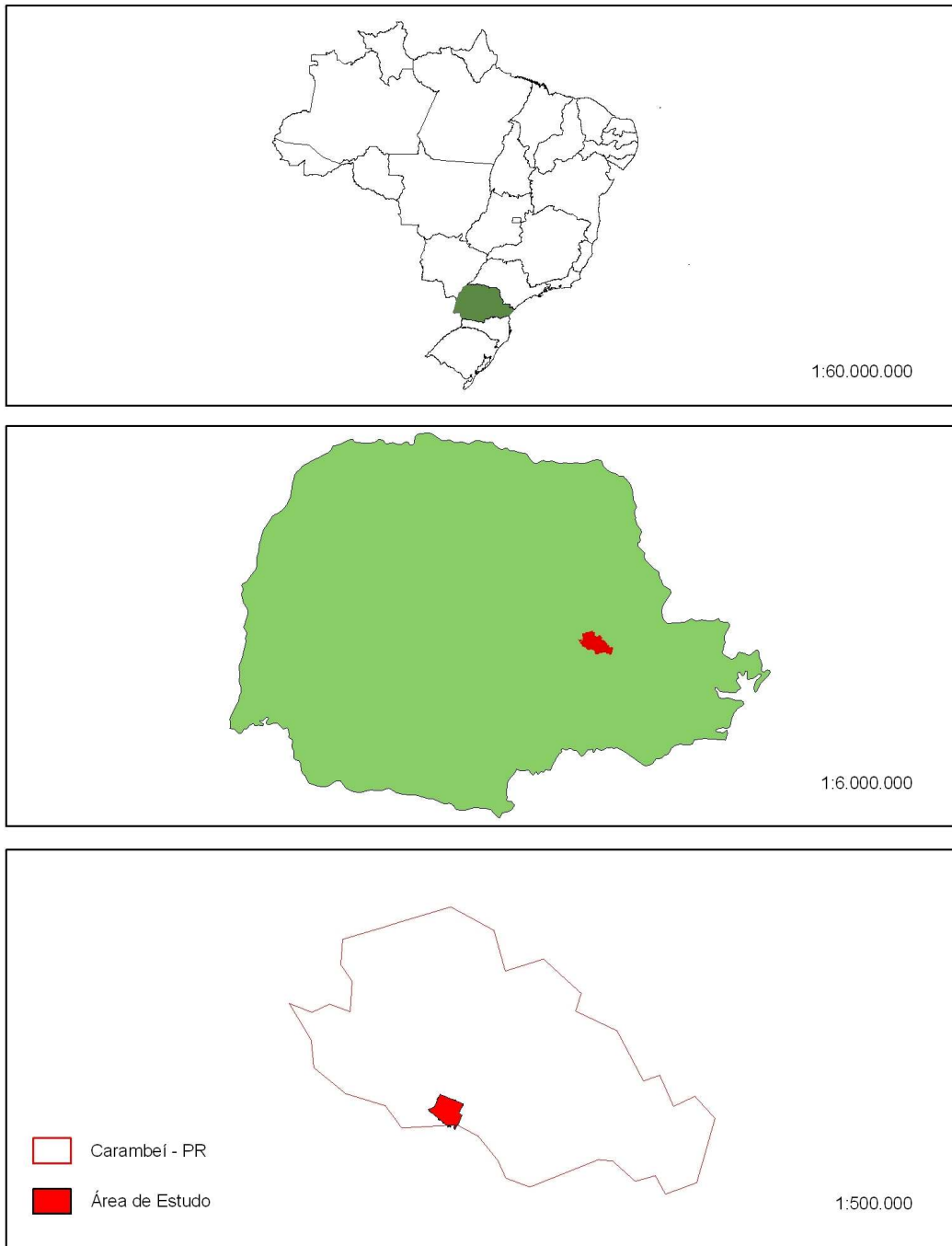


FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

FONTE: EMPRESA ÁGUIA FLORESTAL (2006)



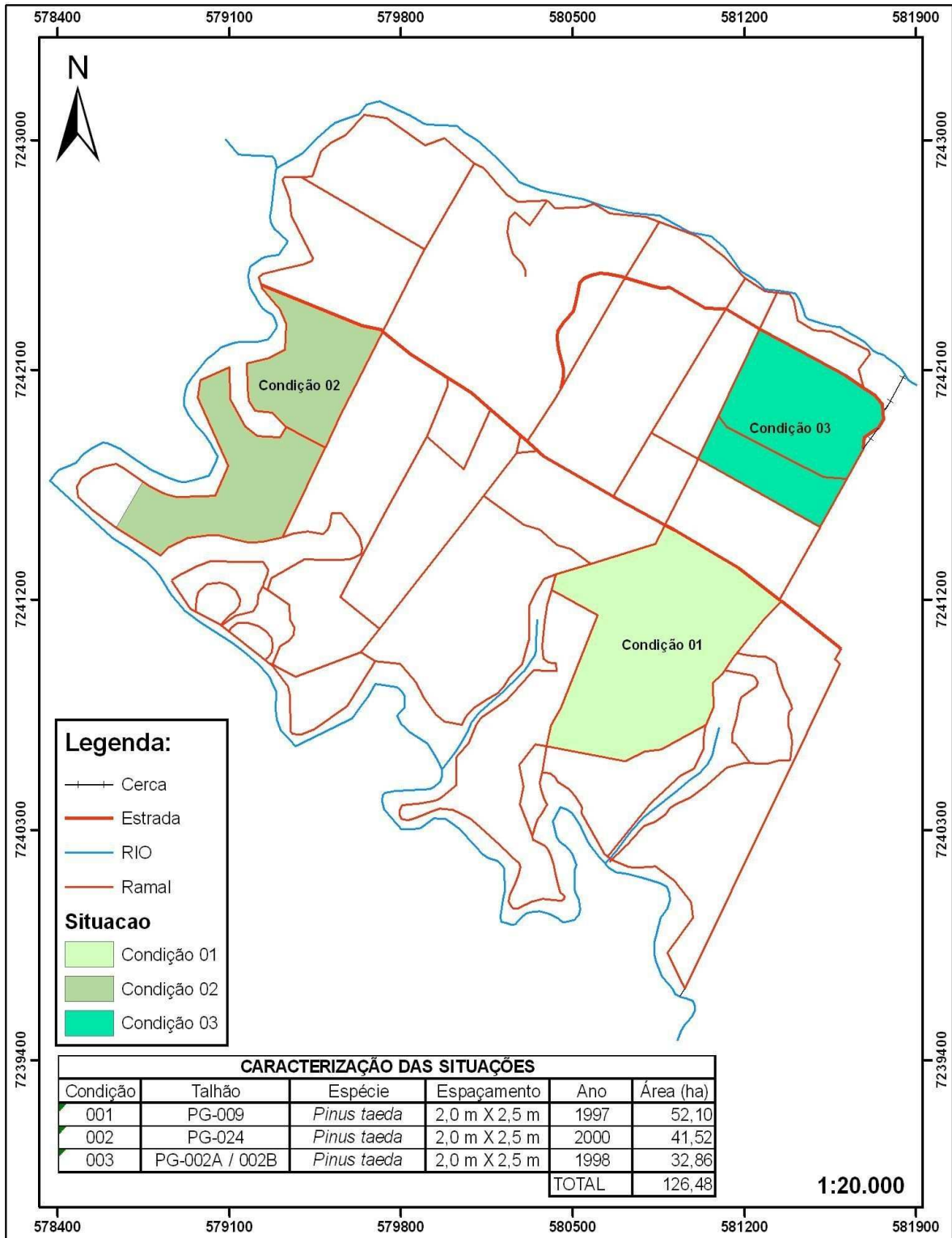


FIGURA 2 - ÁREA DE ESTUDO - FAZENDA BOA VISTA

FONTE: EMPRESA ÁGUA FLORESTAL (2006)

### 3.1.1 Critério utilizado na seleção das áreas

Dentro da área cedida para a realização do estudo levou-se em consideração apenas o relevo. Tentou-se, na medida do possível, escolher talhões que possuíssem diferenças significativas em relação à variável relevo, para saber qual método se adequa melhor em cada uma das diferentes condições. Segue uma breve descrição dos talhões escolhidos.

#### 3.1.1.1 Descrição da condição 1

A Condição 1 compreende uma área experimental de 52,10 ha de *Pinus taeda* L., sem desbaste, com duas podas realizadas e espaçamento de 2,0 m x 2,5 m, que totaliza teoricamente 2.000 árvores por hectare, com 10 anos de idade. Esta área apresenta relevo suave ondulado em sua grande parte e em alguns pontos ocorrem inclinações médias de 7 % ou aproximadamente 4°.

Nesta condição, para o método de amostragem por ponto de Bitterlich (PB) foi utilizado o fator de área basal (FAB) igual a 2. Para o método de amostragem de área fixa com parcela Circular (PC), foi utilizado um raio de 6,75 m, que gera uma área de 143,14 m<sup>2</sup> ou 0,0143 ha, sendo as mesmas dimensões para as subunidades do método de amostragem de área fixa com conglomerado em Cruz (CC) e para o método de amostragem de área fixa com conglomerado em Linha (CL). A distância (d) entre os centros das subunidades foi calculada da seguinte forma: uma distância fixa de 10 m entre as bordas das subunidades, mais os raios (r1), que para esta condição gera uma distância de 23,50 m.

#### 3.1.1.2 Descrição da Condição 2

A Condição 2 compreende uma área experimental de 41,52 ha de *Pinus taeda* L., sem desbaste, com uma poda realizada e espaçamento de 2,0 m x 2,5 m, que totaliza teoricamente 2.000 árvores por hectare, com 7 anos de idade. Esta situação encontra-se em uma área ondulada em sua totalidade, com inclinações médias de 10 % ou aproximadamente 5,5°.

Nesta condição, para o método de amostragem por ponto de Bitterlich (PB), foi utilizado o fator de área basal (FAB) igual a 2. Para o método de amostragem de área fixa com parcela Circular (PC), foi utilizado um raio de 5,65 m, que gera uma área de 100,29 m<sup>2</sup> ou 0,01 ha, sendo as mesmas dimensões para as subunidades do método de amostragem de área fixa com conglomerado em Cruz (CC) e para o método de amostragem de área fixa com conglomerado em Linha (CL). A distância (d) entre os centros das subunidades foi calculada da seguinte forma: uma distância fixa de 10 m entre as bordas das subunidades, mais os raios (r1), que para esta condição gera uma distância de 21,30 m.

### 3.1.1.3 Descrição da Condição 3

A Condição 3 compreende uma área experimental de 32,86 ha formada por dois talhões (002A e 002B) com as mesmas características e por isso foram tratados como um único. O plantio é de *Pinus taeda* L., sem desbaste, com uma única poda e espaçamento de 2,0 m x 2,5 m, que totaliza teoricamente 2.000 árvores por hectare, com 9 anos de idade. Esta condição encontra-se em uma área ondulada em sua totalidade, com inclinação média aproximada de 11,5 % ou aproximadamente 6,5°. Esta área apresentou o espaçamento com a maior irregularidade.

Nesta condição, para o método de amostragem por ponto de Bitterlich (PB), foi utilizado o fator de área basal (FAB) igual a 2. Para o método de amostragem de área fixa com parcela Circular (PC), foi utilizado um raio de 5,60 m, que gera uma área de 98,52 m<sup>2</sup> ou 0,0099 ha, sendo as mesmas dimensões para o método de amostragem de área fixa com conglomerado em Cruz (CC) e para o método de amostragem de área fixa com conglomerado em Linha (CL). A distância (d) entre os centros das subunidades foi calculada da seguinte forma: uma distância fixa de 10 m entre as bordas das subunidades, mais os raios (r1), que para esta condição gera uma distância de 21,20 m.

## 3.2 COLETA DE DADOS

### 3.2.1 Métodos de medição

Definiu-se o tipo de inventário como sendo o inventário detalhado e os métodos de amostragem a serem comparados os seguintes: o método de Bitterlich (PB), método de área fixa com parcela Circular (PC), com conglomerado Cruz (CC) e com conglomerado em Linha (CL). O processo de amostragem utilizado foi o aleatório irrestrito, sendo que das unidades amostrais alocadas foram coletadas as seguintes informações: circunferência à altura do peito (CAP), as quais foram convertidas em diâmetro à altura do peito (DAP), algumas alturas e estado de manutenção da floresta. Foram alocadas 40 unidades amostrais do método de Bitterlich (PB) e método de área fixa com parcela Circular (PC) e 10 unidades amostrais para o método de área fixa com conglomerado em Cruz (CC) e conglomerado em Linha (CL). Estas informações forneceram os subsídios básicos para a estimativa de diâmetro médio, número de árvores, área basal e volume total com casca, por hectare.

### 3.2.2 Instrumentos e materiais utilizados na medição

As medições dos DAPs das árvores inclusas nas parcelas foram feitas pelo método direto, com uso dos seguintes instrumentos e materiais:

- Para o método de amostragem por ponto de Bitterlich (PB): relascópio de Bitterlich para a seleção das árvores das parcelas, fita métrica graduada em centímetros para medição dos CAPs, giz para marcação do CAP, estaca para indicação do ponto amostral, ficha de campo, prancheta, lapiseira e borracha.
- Para o método de amostragem de área fixa com parcela Circular (PC): estaca, corda com o comprimento do raio da parcela, fita métrica, giz, prancheta, lapiseira e borracha.
- Para o método de amostragem de área fixa com unidade conglomerada em Cruz (CC): estacas, trena de 50 metros, corda com comprimento na mediada do raio da parcela, fita métrica, giz, prancheta, lapiseira e borracha.

- Para o método de amostragem de área fixa com unidade conglomerado em Linha (CL): estacas, trena de 50 metros, corda com comprimento na medida do raio da parcela, fita métrica, giz, prancheta, lapiseira e borracha.
- Para todos os métodos foram mensurados o tempo de implantação e medição, com o auxílio de um cronômetro digital e, adicionalmente, foram medidas com o auxílio do hipsômetro de Blume-Leiss as alturas de 120 árvores ao acaso presentes nas unidades amostrais dos métodos estudados.

### 3.2.3 Equipe de campo

A equipe de campo foi composta de três pessoas e mantida em todos os métodos utilizados. As atribuições de cada integrante em cada método foram:

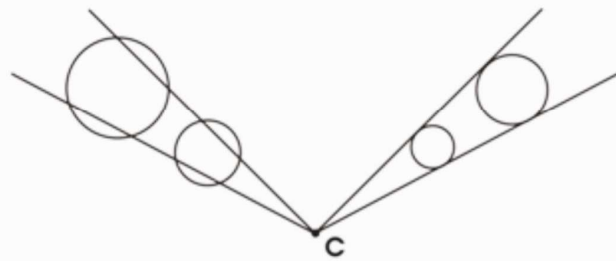
- Para o método de amostragem por ponto de Bitterlich (PB): um operador de relascópio, um medidor de CAP e um anotador.
- Para o método de amostragem de área fixa com parcela Circular (PC), com conglomerado em Cruz (CC) e com conglomerado em linha (CL): um puxador de corda para verificação do raio da parcela ou subunidade, um medidor de CAP e um anotador.

## 3.3 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM

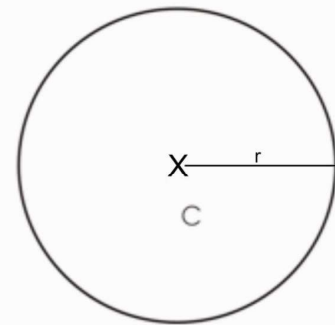
No método de amostragem foram definidos o tamanho e o tipo ou forma das parcelas, de acordo com os métodos de amostragem a serem comparados e as três condições da área em estudo.

Neste estudo foi comparada a precisão nas estimativas do diâmetro médio, do número de árvores, da área basal e do volume total, por hectare, do método de Bitterlich (PB) e de área fixa com parcela Circular (PC) e suas variações estruturais com conglomerado em Cruz (CC) e conglomerado em Linha (CL)..

Os desenhos esquemáticos das unidades de amostragem estão apresentados na Figura 3, sendo que a letra **c** indica o centro, a letra **r** indica o raio e a letra **d** indica a distância entre subunidades.



PONTO DE BITTERLICH (PB)



PARCELA CIRCULAR (PC)

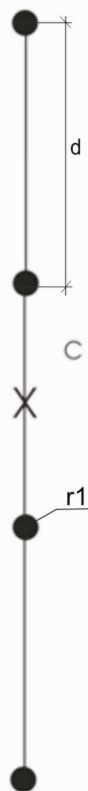
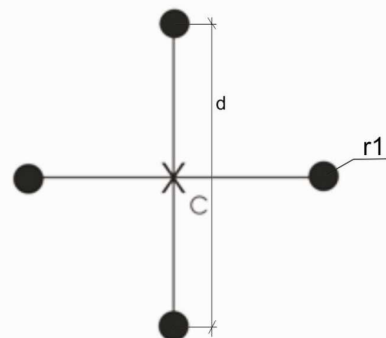
CONGLOMERADO  
EM LINHA (CL)CONGLOMERADO  
EM CRUZ (CC)

FIGURA 3 – DESENHO ESQUEMÁTICO DAS UNIDADES DE AMOSTRAGEM  
 FONTE: ADAPTADO de SANQUETTA *et al.* (2006)

### 3.3.1 Método de amostragem por pontos de Bitterlich (PB)

O método de amostragem por pontos de Bitterlich é um método típico da Engenharia Florestal e foi desenvolvido especificamente para a amostragem de árvores. Foi inicialmente proposto pelo florestal austríaco Walter Bitterlich na década de 40 e, posteriormente, aperfeiçoado e generalizado por uma série de florestais norte-americanos, europeus e japoneses, destacando-se os trabalhos de Kreen, Grosenbaugh e Hirata na década de 50. O nome “Amostragem por Pontos de Bitterlich” ou “Amostragem Pontual Horizontal” não são os únicos nomes utilizados para designar este método. Existe na literatura florestal uma grande variedade de nomes que são utilizados para designá-lo, como por exemplo: amostragem por enumeração angular, amostragem por parcelas de raio variável, amostragem por parcelas de área variável, amostragem com probabilidade proporcional ao tamanho.

O método se baseia no chamado “Postulado de Bitterlich” enunciado por Bitterlich em 1947, onde se estabelece que:

*“O número de árvores ( $n$ ) de um povoamento, cujos DAPs vistos de um ponto fixo aparecem maiores a um dado valor ( $\alpha$ ) é proporcional à sua área basal por hectare ( $G$ )”.*

Dessa forma, é possível estimar a área basal da floresta ( $G$ ) diretamente através de um processo de contagem que enumere as árvores ( $n$ ) em função de um ângulo de visada ( $\alpha$ ).

Na prática, este método consiste no uso de um instrumento como o relascópio, para a seleção das árvores cujo diâmetro à altura do peito (DAP) seja maior que o ângulo de visada, fazendo-se uma rotação de 360 graus. As árvores são selecionadas com probabilidade proporcional à área basal. Neste estudo, foi utilizado o fator de área basal dois (FAB 2), porque no uso do FAB 3 ou 4 poucas árvores seriam selecionadas em cada ponto amostral e, conseqüentemente, diminuiria sua precisão, no caso desta pesquisa.

As fórmulas usadas para as estimativas das variáveis foram sugeridas por NISHIZAWA (1972), citado por NAKAJIMA (1997).

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

$$N = k * \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{g_i} \right) \quad (2)$$

$$G = k * n \quad (3)$$

$$V = k * \sum_{i=1}^n \left( \frac{v_i}{g_i} \right) \quad (4)$$

onde:

$dm$  = diâmetro médio (cm);

$N$  = número de árvores por hectare;

$G$  = área basal por hectare (m<sup>2</sup>/ha);

$V$  = volume por hectare (m<sup>3</sup>/ha);

$k$  = fator de área basal;

$n$  = número de árvores selecionadas por ponto de amostragem;

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

$g_i$  = área basal da árvore “i” selecionada (m<sup>2</sup>);

$v_i$  = volume da árvore “i” selecionada (m<sup>3</sup>).

### 3.3.2 Método de área fixa com parcela Circular (PC)

As unidades circulares ainda são menos utilizadas no Brasil que as retangulares e quadradas. Porém, seu uso vem sendo cada vez mais freqüente em inventários florestais na atualidade. As parcelas circulares ganham eficiência porque entre todas as formas possíveis, considerando-se a mesma área, são as que possuem menor perímetro e, conseqüentemente, minimizam o problema de árvores marginais, conforme explicitado por PRODAN (1965) e citado por PÉLLICO NETTO e BRENA (1997, p. 30). Neste método, todas as árvores cujos centros da área transversal estiverem dentro da parcela, são selecionados. A vantagem desse



método é o menor perímetro das parcelas, reduzindo a probabilidade das árvores de bordadura.

As fórmulas usadas para as estimativas das variáveis foram sugeridas por NISHIZAWA (1972), citado por NAKAJIMA (1997).

$$dm = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (5)$$

$$N = \frac{n}{a} \quad (6)$$

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n g_i}{a} \quad (7)$$

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{a} \quad (8)$$

onde:

$a$  = área da parcela circular (ha).

Os outros termos são os mesmos descritos para o método de amostragem por ponto de Bitterlich.

### 3.3.3 Método de área fixa com conglomerado em Cruz (CC)

A amostragem por conglomerados ou grupos é uma variação do método de amostragem, onde, ao invés de se utilizarem unidades de amostra individuais, usa-se um grupo ou conglomerado de pequenas subunidades.

De acordo com a tomada das subunidades, pode-se classificar a amostragem por conglomerados em (QUEIROZ, 1998, p. 78).

- estágio único: quando são levantadas todas as subunidades ou unidades secundárias;
- dois estágios: quando ocorrer subamostragem para seleção das subunidades a serem enumeradas.

Obviamente, a amostragem por conglomerados pode evoluir para mais estágios (QUEIROZ, 1998, p. 78).

A amostragem por conglomerados apresenta uma importante vantagem que é a sensível redução dos custos, considerando que custa mais efetuar a medição de unidades amostrais distribuídas esparsamente na floresta, que medir o equivalente quando as unidades estão reunidas em grupos ou conglomerados.

As fórmulas usadas para as estimativas das variáveis foram sugeridas por QUEIROZ (1998), modificadas pelo autor (2008).

$$\bar{d}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{n_{ijk}} d_{ijk}}{n_{ijk}} \quad (9)$$

$$dm = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \bar{d}_{ij}}{n.m} \quad (10)$$

$$NA = \left( \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m n_{ij}}{n.m} \right) * \frac{1}{s} \quad (11)$$

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left( \sum_{k=1}^{n_{ijk}} g_{ijk} \right)}{n.m} * \frac{1}{s} \quad (12)$$

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left( \sum_{k=1}^{n_{ijk}} v_{ijk} \right)}{n.m} * \frac{1}{s} \quad (13)$$

onde:

$n$  = número de unidades primárias ou conglomerados amostrados;

$m$  = número de subunidades que compõe cada conglomerado;

$dm$  = diâmetro médio do conglomerado (cm);

$NA$  = número de árvores por hectare;

$G$  = área basal por hectare ( $m^2/ha$ );

$V$  = volume por hectare ( $m^3/ha$ );

$\overline{d}_{ij}$  =  $dm$  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).

### 3.3.4 Método de área fixa com conglomerado em Linha (CL)

As fórmulas usadas para as estimativas das variáveis são as mesmas utilizadas para o conglomerado em Cruz (CC).

## 3.4 NÚMERO DE UNIDADES AMOSTRAIS

Para fins deste estudo, foram definidas para as três condições a mesma intensidade amostral, sendo 40 unidades para os métodos de amostragem por ponto de Bitterlich (PB) e método de amostragem de área fixa com parcela Circular (PC), e 10 unidades amostrais para os métodos de amostragem de área fixa com conglomerado em Cruz (CC) e com conglomerado em Linha (CL).

Como o método de amostragem por pontos de Bitterlich (PB) é um método de área variável, isto é, não possui uma área definida, enquanto que o método de amostragem de área fixa com parcela Circular possui um raio e área fixa e as unidades conglomerado em Cruz (CC) e em Linha (CL) são formados por subunidades circulares (raio e área fixa), uma maneira de transformar os métodos para uma mesma base de comparação, segundo NAKAJIMA (1997), foi ajustar o “tamanho” das parcelas de maneira tal que contenha, em média, uma mesma quantidade de árvores. Sendo assim, o método de área variável (PB) foi utilizado como base e os outros ajustados conforme o número médio de árvores deste método de área variável, conforme utilizado por NAKAJIMA (1997).

Para o método de Bitterlich (PB) e o método de área fixa com parcela Circular (PC), com conglomerado em Cruz (CC) e com conglomerado em Linha (CL), os mesmos pontos de amostragem foram mantidos, sendo eles distribuídos aleatoriamente.

### 3.5 ESTIMATIVA DA ALTURA TOTAL

A altura total refere-se à distância do solo até o topo da árvore, ao longo de seu eixo principal (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2003).

BARTOSZECK *et al.* (2002, p. 190) citam que a altura obtida de modo direto através de instrumentos apropriados fornece resultados acurados, porém, não econômicos, devido ao tempo gasto. Sendo assim, utilizou-se o hipsômetro de Blume-Leiss para medir aleatoriamente 120 alturas em cada condição. Com isso, obteve-se um conjunto de dados de alturas das árvores medidas, com seus respectivos diâmetros e através do método de regressão ajustaram-se algumas equações hipsométricas e as alturas das demais árvores das parcelas foram estimadas pela melhor equação ajustada, em função dos diâmetros já medidos.

#### 3.5.1 Modelos hipsométricos testados

Foram escolhidos e testados cinco modelos, apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 - MODELOS DE EQUAÇÕES HIPSONÉTICAS TESTADAS

Número	Modelo Matemático	Autor
1	$h = b_0 + b_1 \ln(d)$	Henricksen
2	$h = b_0 + b_1 (d) + b_2 (d^2)$	Trorey
3	$\ln h = b_0 + b_1 (1/d) + b_2 (1/d^2)$	Curtis
4	$\ln h = b_0 + b_1 \ln (d)$	Stoffels
5	$(1/h) = b_0 + b_1 (1/d)$	Ogawa

onde:

$h$  = variável dependente, altura total (m);

$d$  = variável independente, diâmetro à altura do peito (cm);

$\ln$  = logaritmo neperiano;

$b_i$  = parâmetro dos modelos a serem estimados

### 3.5.1.1 Seleção do melhor modelo hipsométrico

As alturas totais das árvores foram estimadas a partir do melhor modelo ajustado, sendo que o critério de seleção do melhor modelo foi baseado nos seguintes parâmetros de ajuste e precisão: coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ), erro padrão residual em porcentagem e análise gráfica de resíduos.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) expressa a quantidade de variação da variável dependente que é explicada pelas variáveis independentes. Quanto mais próximo for o valor do  $R^2$  em relação à unidade, melhor terá sido o ajuste. Porém, é necessário reajustar esses coeficientes, para que seja possível comparar as equações, já que os graus de liberdade na regressão diferem entre os modelos testados. Este reajuste ou correção tem sido referido como índice de Schlaegel e sua expressão matemática é:

$$R^2_{aj.} = 1 - \left( \frac{n-1}{n-p-1} \right) \cdot \frac{SQ_{res}}{SQ_{tot}} \quad (14)$$

onde:

$R^2_{aj.}$  = Coeficiente de determinação ajustado;

n = Número de dados (tamanho da amostra);

p = Número de variáveis independentes do modelo em questão;

SQ<sub>res</sub> = Soma de quadrado de resíduos;

SQ<sub>tot</sub> = Soma de quadrados total.

O índice de Schlaegel (IA) é uma estatística comparável ao  $R^2$ ; esta estatística consiste em uma retransformação das predições dos valores estimados para a unidade original. Quando se trata de equações aritméticas o valor de IA é igual ao valor de  $R^2$ ; portanto, este índice serve como um comparador de equações de diferentes naturezas (BARROS *et al.* 2002, p. 10).

O erro padrão residual (Syx) é outra estatística muito usada para o julgamento da performance de ajuste de equações de regressão, sendo desejável que se obtenha o menor valor. Para os modelos onde a variável dependente sofreu

transformação, torna-se necessário retransformar o erro padrão residual, a fim de possibilitar a comparação estatística das equações (BARROS *et al.* 2002, p. 11)

Esta retransformação consiste no seguinte procedimento:

$$\text{ novo } S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum (h_i - \hat{h}_i)^2}{n - p - 1}} \quad (15)$$

onde:

$S_{yx}$  = Erro padrão residual em metros;

$h_i$  = Altura observada (m);

$\hat{h}_i$  = Altura estimada pelos modelos (m);

$n$  = Número de dados (tamanho da amostra);

$p$  = Número de variáveis independentes do modelo em questão.

Mesmo que todos os estimadores de ajuste sejam bons indicadores para a escolha do melhor modelo, a análise gráfica de resíduos é decisiva, pois permite detectar se há ou não tendenciosidade na estimativa da variável dependente ao longo de toda linha de regressão, se os resíduos são independentes, e se há homogeneidade de variância. Como a avaliação gráfica é visual, pode envolver alguma subjetividade, por isso é usada em conjunto com as estatísticas citadas anteriormente (BARROS *et al.* 2002, p. 11).

### 3.6 ESTIMATIVA DO VOLUME

O procedimento mais comum utilizado na estimativa de volumes por árvore é o emprego de equações em que o volume constitui a variável dependente, estando as variáveis independentes comumente representadas pelo diâmetro à altura do peito (DAP com casca) e à altura total ou comercial. Existe ainda uma terceira variável independente, que eventualmente pode ser usada em equações volumétricas que é um termo que expressa a forma do fuste, normalmente o quociente de forma (MACHADO, BARBOSA da CONCEIÇÃO e FIGUEIREDO , 2002, p. 186).

### 3.6.1 Método de cubagem

O procedimento de cubagem realizado para a obtenção dos volumes reais foi através de alturas relativas, onde as seções são estabelecidas em função da altura total, ou seja, a divisão do tronco foi feita em percentagem de altura. No caso deste estudo, a cubagem foi realizada com a divisão do tronco em 15 seções relativas (para eventual análise de tronco) e, posteriormente, foi utilizado o método de Smalian para cubar estas seções.

#### 3.6.1.1 Número de árvores cubadas

Para cada condição amostrada foram estimados o diâmetro médio ( $\bar{d}$ ) e respectivo desvio padrão ( $s$ ), a partir dos dados coletados pelo método de parcela Circular (PC), utilizados para o estabelecimento de 7 classes de diâmetro de amplitude de uma unidade de desvio padrão.

Nas Tabelas 2, 3 e 4 com o resultado do número de árvores estimadas e cubadas em cada condição.

**TABELA 2 - NÚMERO DE ÁRVORES ESTIMADAS E CUBADAS - CONDIÇÃO 1**

Classe	Limites de Classe de DAP (cm)	Árvores Cubadas
1	3,8 – 7,4	4
2	7,5 – 11,1	4
3	11,2 – 14,7	4
4	14,8 – 18,4	4
5	18,5 – 22,0	4
6	22,1 – 25,7	4
7	25,8 – 29,4	4
Total		28

**TABELA 3 - NÚMERO DE ÁRVORES ESTIMADAS E CUBADAS – CONDIÇÃO 2**

Classe	Limites de Classe de DAP (cm)	Árvores Cubadas
1	5,9 – 8,8	15
2	8,9 – 11,7	5
3	11,8 – 14,5	5
4	14,6 – 17,4	5
5	17,5 – 20,3	5
6	20,4 – 23,1	5
7	23,2 – 26,0	5
Total		45

TABELA 4 - NÚMERO DE ÁRVORES ESTIMADAS E CUBADAS – CONDIÇÃO 3

Classe	Limites de Classe de DAP (cm)	Árvores Cubadas
1	6,1 – 8,9	10
2	9,0 – 11,8	5
3	11,9 – 14,7	5
4	14,8 – 17,6	5
5	17,7 – 20,5	5
6	20,6 – 23,4	5
7	23,5 – 26,3	5
Total		40

### 3.6.2 Procedimento para coleta de dados de cubagem

Após a derrubada de cada árvore selecionada para a cubagem, com o auxílio de uma trena de 50 metros, foi medida sua altura total em metros e medidas todas as circunferências em centímetros formadas nas seguintes alturas relativas, sendo elas as seguintes: 0,000; 0,025; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30; 0,40; 0,50; 0,60; 0,70; 0,80; 0,90 e 0,95 da altura total de cada árvore cubada, além da respectiva circunferência à altura do peito.

Foram considerados apenas os volumes com casca para o presente estudo.

A seguir, a Figura 4 mostra os passos do procedimento de cubagem.





FIGURA 4 - PROCEDIMENTO DE CUBAGEM

### 3.6.3 Obtenção dos volumes reais

O volume individual de cada árvore cubada foi obtido conforme o método proposto por Smalian e demonstrado por MACHADO e FIGUEIREDO FILHO (2003), utilizando-se as seguintes fórmulas:

$$v = \left( \frac{g_1 + g_2}{2} \right) * l \quad (16)$$

onde:

- $v$  = volume da tora ( $m^3$ );
- $g_1$  = área transversal na base da tora;
- $g_2$  = área transversal no topo da tora;
- $l$  = comprimento da tora.

Como foi considerado o volume inteiro do tronco, o volume da última porção ou volume da ponta foi calculado como sendo um cone, pela seguinte fórmula:

$$v_p = \left( \frac{g_n * l_p}{3} \right) \quad (17)$$

onde:

- $v_p$  = volume da ponta;
- $g_n$  = área transversal da base da ponta;
- $l_p$  = comprimento da ponta.

#### 3.6.4 Modelos volumétricos testados

Foram escolhidos e testados quatro modelos tradicionalmente utilizado (Tabela 5).

TABELA 5 - MODELOS TRADICIONAIS TESTADOS PARA ESTIMATIVA DOS VOLUMES

Número	Modelo Matemático	Autor
1	$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2$	Hohenadl-Kren
2	$v = \beta_0 + \beta_1 d^2 * h$	Spurr
3	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d$	Husch
4	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d + b_2 \ln h$	Schumacher-Hall

onde:

- $v$  = variável dependente, volume total ( $m^3$ );
- $d$  = variável independente, diâmetro à altura do peito (cm);
- $h$  = variável independente, altura total da árvore (m)

$\ln$  = logaritmo neperiano;

$\beta_i$  = parâmetros dos modelos a serem estimados.

#### 3.6.4.1 Seleção do melhor modelo volumétrico

Os volumes foram estimados a partir do melhor modelo ajustado, sendo que o critério de seleção do melhor modelo foi baseado nos seguintes parâmetros de ajuste e precisão: coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ), erro padrão residual em porcentagem e análise gráfica de resíduos.

Mesmo sendo os estimadores de ajuste bons indicadores para a escolha do melhor modelo, considera-se como indispensável para a escolha em questão a análise gráfica de resíduos, pois ela permite detectar se há ou não tendência na estimativa da variável dependente ao longo da linha de regressão, se os resíduos são independentes ou se há homogeneidade na variância (MACHADO, BARBOSA da CONCEIÇÃO e FIGUEIREDO, 2002, p. 190).

As fórmulas usadas foram as mesmas utilizadas na escolha do melhor modelo hipsométrico e descritas no item 3.5.1.1.

### 3.7 FÓRMULAS ESTATÍSTICAS UTILIZADAS NA ANÁLISE DA PRECISÃO DAS VARIÁVEIS ESTIMADAS

#### 3.7.1 Método de amostragem por ponto de Bitterlich (PB)

Para o método de amostragem por ponto de Bitterlich (PB), as análises estatísticas foram realizadas por meio das seguintes fórmulas, conforme PÉLLICO NETTO e BRENA (1993), citados por NAKAJIMA (1997).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i)}{n} \quad (18)$$

$$s_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (19)$$

$$s_x = \sqrt{s_x^2} \quad (20)$$

$$s_x = \pm \frac{s_x}{\sqrt{n}} \quad (21)$$

$$cv = \frac{s_x}{\bar{x}} * 100 \quad (22)$$

$$E_r = \pm \frac{t * s_x}{\bar{x}} * 100 \quad (23)$$

$$ic = \bar{x} \pm t * s_x \quad (24)$$

onde:

$\bar{x}$  = 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;

$E_r$  = erro de amostragem em porcentagem;

$ic$  = intervalo de confiança.

### 3.7.2 Método de amostragem com parcela Circular (PC)

Para o método de amostragem com parcela Circular (PC), as análises estatísticas foram realizadas por meio das fórmulas utilizadas para o método por ponto de Bitterlich (PB), descrita no item 3.7.1.

### 3.7.3 Método de amostragem com conglomerado em Cruz (CC)

Para o método de amostragem com conglomerado em Cruz (CC), as análises estatísticas foram realizadas por meio das seguintes fórmulas sugeridas por PÉLLICO NETTO e BRENA (1997):

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M X_{ij}}{n.M} \quad (25)$$

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^M X_{ij}}{M} \quad (26)$$

$$s_x^2 = \frac{1}{nM - 1} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M (X_{ij} - \bar{x})^2 \quad (27)$$

ou através da análise de variância

$$s_x^2 = s_e^2 + s_d^2 \quad (28)$$

$$s_d^2 = MQ_{dentro} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M (X_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n(M - 1)} \quad (29)$$

$$s_e^2 = \frac{MQ_{entre} - MQ_{dentro}}{M}, \text{ onde } MQ_{entre} = \frac{\sum_{i=1}^n M(\bar{x}_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (30)$$

$$r = \frac{s_e^2}{s_e^2 + s_d^2} \quad (31)$$

$$s_x^2 = \frac{s_x^2}{nM} [1 + r(M - 1)] \quad (32)$$

$$s = \sqrt{s_e^2 + s_d^2} \quad (33)$$

$$cv = \frac{s}{\bar{x}} * 100 \quad (34)$$

$$s_x^- = \sqrt{s_x^2} \quad (35)$$

$$er = \pm \frac{t * s_x^-}{\bar{x}} * 100 \quad (36)$$

$$ic = \pm t * s_{\bar{x}} \quad (37)$$

onde:

$\bar{x}$  = 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 entre as subunidades dentro dos conglomerados;

$r$  = coeficiente de correlação intraconglomerados;

$s_{\bar{x}}^2$  = variância da média;

$s$  = desvio padrão;

$s_{\bar{x}}$  = erro padrão;

$cv$  = coeficiente de variação;

$e_r$  = erro de amostragem em porcentagem;

$ic$  = intervalo de confiança.

#### 3.7.4 Método de amostragem com conglomerado em Linha (CL)

Para o método de área fixa com conglomerado em Linha (CL), as análises estatísticas foram realizadas por meio das mesmas fórmulas utilizadas para o método de área fixa com conglomerado em Cruz (CC).

### 3.8 INTENSIDADE DE AMOSTRAGEM

A intensidade de amostragem ou fração de amostragem é uma razão obtida a partir do número de unidades da amostra e o número total de unidades da população.

$$f = \frac{n}{N} \quad (38)$$

onde:

$f$  = intensidade de amostragem ou fração de amostragem;

$n$  = número de unidades da amostra;

$N$  = número total de unidades na população.

A intensidade de amostragem pode ser determinada através de dois procedimentos principais: em função da variabilidade da população, do erro de amostragem admitido e da probabilidade de confiança fixados ou em função do tempo ou recursos disponíveis para a execução do inventário, conforme PÉLLICO NETTO e BRENA (1997, p.19).

Através da predeterminação do número de unidades amostrais utilizados no desenvolvimento do estudo e atendendo às necessidades da precisão especificada, caracterizou-se a população como infinita. Esta caracterização da população como infinita ou a diferenciação estatística entre a população finita e infinita foi feita pelo fator de correção  $(1 - f)$ .

$f$  = fração amostral da população;

$(1 - f) \geq 0,98$  = população infinita;

$(1 - f) < 0,98$  = população finita.

### 3.8.1 Intensidade em função da variância da população, precisão requerida e confiabilidade fixada

PÉLLICO NETTO e BRENA (1997) citam que a intensidade em função da variância da população, precisão requerida e confiabilidade fixada é o procedimento normal e desejável em um inventário florestal. A intensidade de amostragem é uma função da variabilidade do volume da floresta, do erro de amostragem máximo admitido para as estimativas e da probabilidade de confiança fixada para as mesmas. Sendo, assim são apresentadas as fórmulas para os métodos de amostragem utilizados. Para todos os métodos de amostragem e condições a população foi infinita.

Para o desenvolvimento deste estudo, fixou-se o limite de erro em 10% a um nível de probabilidade de 95%.

#### 3.8.1.1 Número de unidades amostrais para o método de PB e o método de área fixa com PC

$$n = \frac{t^2 * s_x^2}{(LE * \bar{x})^2} \quad (39)$$

onde:

$n$  = estimativa do número de unidades amostrais necessárias;

$s_x^2$  = estimativa da variância da variável volume por unidade de área;

$LE$  = limite de erro admissível fixado em forma relativa (0,1);

$\bar{x}$  = estimativa da média da variável volume por unidade de área;

$t$  = valor tabelar de Student ( $t_{(0,05; 39)} = 2,022691$ ).



### 3.8.1.2 Número de unidades amostrais para o método de área fixa com CC e CL

$$n = \frac{t^2 * s_x^2}{LE^2 * M} [1 + r(M - 1)] \quad (40)$$

onde:

$n$  = estimativa do número de unidades amostrais necessárias;

$s_x^2$  = estimativa da variância total da variável volume por unidade de área;

$LE$  = limite de erro admissível fixado em forma relativa (0,1);

$M$  = número de subunidades do conglomerado;

$r$  = coeficiente de correlação intraconglomerado.

## 3.9 ESTIMATIVA DE TEMPO MÉDIO DE AMOSTRAGEM

O tempo médio estimado de amostragem, foi obtido através da soma dos tempos de execução da amostra, ou seja, apenas foi cronometrado o tempo para instalação e mensuração de cada parcela. Não foi considerado o tempo de deslocamento, já que os pontos das unidades amostrais foram os mesmos para os métodos de área variável (PB) e de área fixa (PC, CC e CL). Ressalta-se que para os métodos PB e PC foram amostradas 40 unidades amostrais e para CC e CL foram amostradas 10 unidades amostrais para cada método, sendo que em termos de números de árvores no total de amostra todos os métodos se equivaleram.

### 3.9.1 Método da eficiência relativa

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

VASQUEZ (1988) menciona que, para o cálculo da eficiência relativa entre métodos de amostragem, deve-se considerar a precisão, assim como o custo ou o tempo.

FREESE (1962) citado por PÉLLICO NETTO e BRENA (1997), considera os tempos médios de mensuração em cada um dos métodos e os coeficientes de variação obtidos, calculando a eficiência relativa pela seguinte fórmula:

$$ER = \frac{1}{T_i * CV^2} \quad (41)$$

onde:

$ER$  = 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 obteve melhor desempenho, atendendo ao limite de erro estipulado.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados na seqüência das condições consideradas para este estudo.

### 4.1 CONDIÇÃO 1

#### 4.1.1 Melhor modelo hipsométrico

O melhor modelo hipsométrico foi o modelo de Curtis. Os resíduos e as estatísticas do modelo são apresentados no Gráfico 1 e na Tabela 6, respectivamente.

Modelo de Curtis

$$Inh = 3,484364 + 21,30533 * (1/d) + 107,0489 * (1/d^2)$$

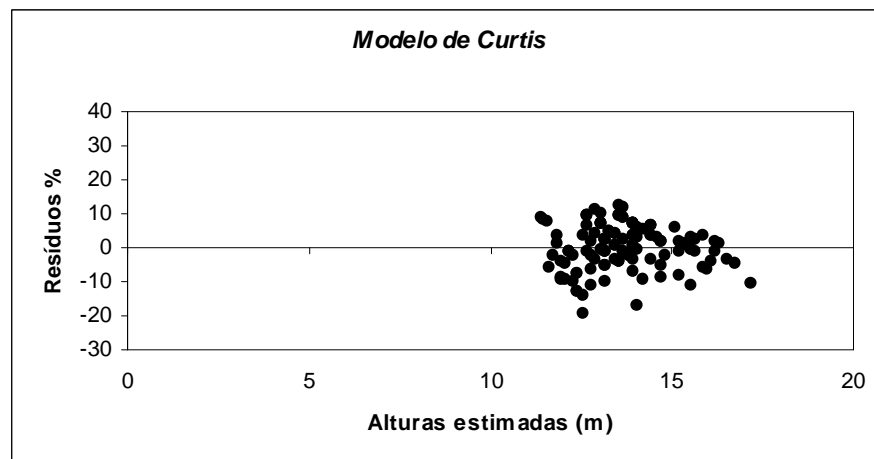


GRÁFICO 1 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) DO MELHOR MODELO HIPSONÉTRICO - CONDIÇÃO 1

TABELA 6 - ESTATÍSTICAS DE REGRESSÃO CONFORME MODELO DE CURTIS - CONDIÇÃO 1

R-Quadrado	R-quadrado ajustado	I.A.	syx	syx%
0,67486	0,66645	0,55755	0,86617	6,30170

#### 4.1.2 Melhor modelo volumétrico

O melhor modelo volumétrico foi o modelo de Schumacher-Hall. Os resíduos e as estatísticas do modelo estão apresentados no Gráfico 2 e na Tabela 7, respectivamente.

#### Modelo de Schumacher-Hall

$$\ln v = - 10,60677097 + 1,957938764 * \ln d + 1,190197992 * \ln h$$

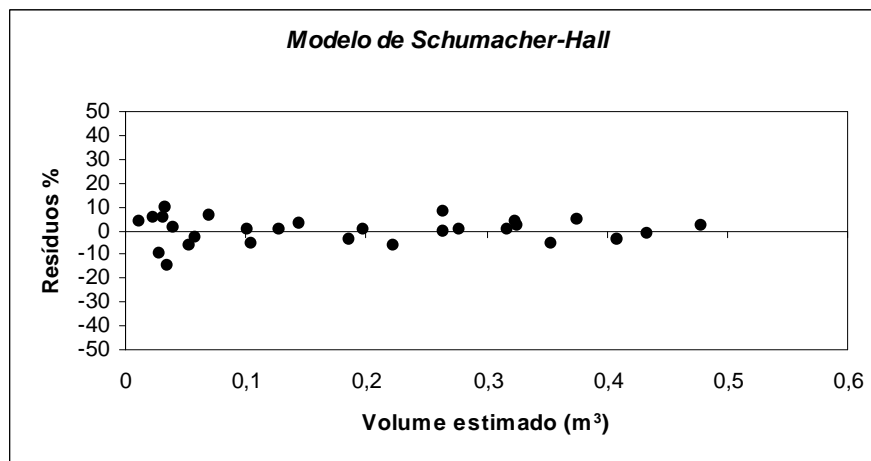


GRÁFICO 2 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) DO MELHOR MODELO VOLUMÉTRICO - CONDIÇÃO 1

TABELA 7 - ESTATÍSTICAS DE REGRESSÃO CONFORME O MODELO DE SCHUMACHER – HALL - CONDIÇÃO 1

R-Quadrado	R-quadrado ajustado	I.A.	syx	syx%
0,99755	0,99724	0,99869	0,00908	4,79560

#### 4.1.3 Estimativa das variáveis obtidas

A área experimental do estudo da condição 1 é de 52,10 ha, onde foram mensuradas 3.584 árvores em 100 unidades amostrais. Para o método PB e para o método de área fixa com PC, realizaram-se 40 repetições e para o método de área fixa com CC e com CL foram 10 repetições, sendo que em termos de área total os métodos são iguais. O número de árvores amostradas em cada parcela, e em cada método, está apresentado na tabela 8.

De acordo com NAKAJIMA (1997), o tamanho das unidades amostrais foi ajustado de forma que cada método contivesse na amostra, em média, um mesmo número de árvores (Tabela 8). Em média foram amostradas 22 árvores por parcela, sendo que no método de amostragem por pontos de Bitterlich (PB) esse número foi um pouco menor devido à dificuldade de ajuste do FAB. A variação do número de árvores de uma unidade amostral para outra também foi influenciada pela mortalidade e falhas no povoamento.

TABELA 8 - NÚMERO DE ÁRVORES AMOSTRADAS POR PARCELA - CONDIÇÃO 1

Parcela	PB	PC	CC	CL
1	20	23	93	91
2	17	22	95	94
3	18	22	85	96
4	21	22	92	88
5	21	22	94	100
6	20	24	86	98
7	22	22	92	102
8	23	24	90	88
9	22	24	102	88
10	21	23	87	93
11	19	23		
12	20	25		
13	19	21		
14	21	20		
15	19	22		
16	21	24		
17	18	22		
18	18	24		
19	21	23		
20	20	24		
21	21	25		
22	20	25		
23	18	23		
24	18	23		

continua

Parcela	PB	PC	CC	CL
25	21	26		
26	22	24		
27	19	24		
28	18	25		
29	16	22		
30	18	24		
31	20	21		
32	21	23		
33	25	25		
34	24	25		
35	22	22		
36	25	23		
37	18	25		
38	18	22		
39	18	23		
40	20	21		
<b>Soma</b>	<b>803</b>	<b>927</b>	<b>916</b>	<b>938</b>
<b>Média</b>	<b>20</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>

Para o método de área fixa com CC e com CL a média foi obtida somando-se todas as árvores medidas nas 10 parcelas de cada método e dividindo-se tal soma pelo número de subparcelas de cada método.

#### 4.1.3.1 Estimativa das variáveis pelos métodos de PB e de área fixa com PC, CC e CL

A Tabela 9 apresenta a estimativa dos valores das variáveis DAP médio, número de árvores, área basal e volume, por hectare para todos os métodos de amostragem estudados.

TABELA 9 - ESTIMATIVA DAS VARIÁVEIS DAP MÉDIO, NÚMERO DE ÁRVORES, ÁREA BASAL E VOLUME - CONDIÇÃO 1

Método	PB	PC	CC	CL
DAP médio (cm)	17,1	16,6	16,5	16,5
Número médio de árvores(N/ha)	1723	1619	1600	1638
Área basal média (m <sup>2</sup> /ha)	40,15	36,94	36,24	36,89
Volume médio (m <sup>3</sup> /ha)	261,33	237,24	231,87	235,04

Além da precisão dos métodos, a estimativa da variável volume depende também da precisão da equação de altura e volume utilizados, mas o fato de terem

vido utilizadas as mesmas equações de volume e hipsométricas para os métodos, não influenciara os resultados desta pesquisa.

#### 4.1.3.2 Distribuição das variáveis em classes de diâmetro

O Gráfico 3 mostra a frequência de indivíduos amostrados por classe de diâmetro.

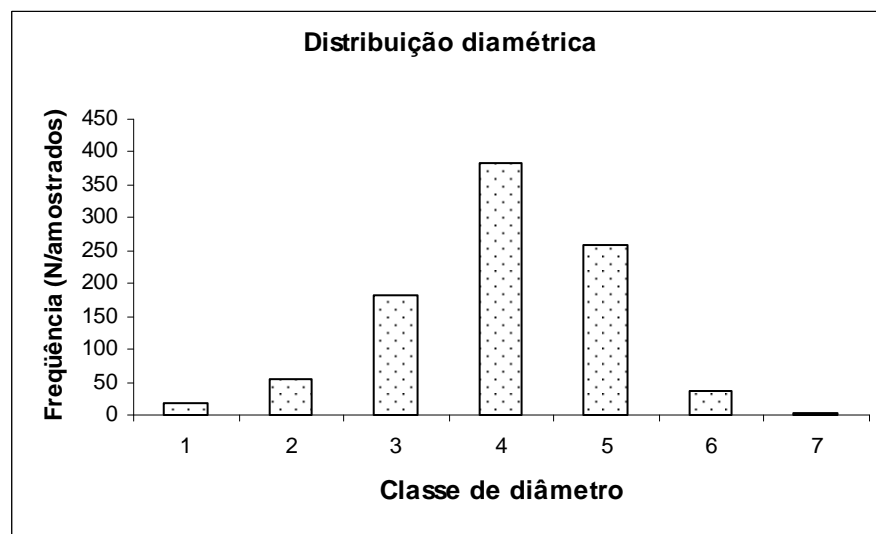


GRÁFICO 3 – FREQUÊNCIA DOS INDIVÍDUOS AMOSTRADOS POR CLASSE DE DIÂMETRO - CONDIÇÃO 1

#### 4.1.3.3 Análises estatísticas das variáveis estimadas pelos métodos PB e de área fixa com PC, CC e CL

##### 4.1.3.3.1 Análise estatística da estimativa de DAP médio

Com base nos dados coletados e estimados, fez-se a análise estatística da variável DAP médio, apresentada na Tabela 10.

TABELA 10 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE DAP MÉDIO - CONDIÇÃO 1

Método	PB	PC	CC	CL
DAP médio (cm)	17,1	16,6	16,5	16,5
Desvio padrão (cm)	±1,29	±0,89	±1,02	±0,96
Erro padrão (cm)	±0,20	±0,14	±0,26	±0,22
Coefficiente de variação (%)	7,58	5,34	6,17	5,84
Erro de amostragem relativo (%)	±2,42	±1,71	±3,20	±2,75
Intervalo de confiança (cm)	±0,41	±0,28	±0,53	±0,45
Intensidade amostral	40	40	10	10

Na estimativa do DAP médio (cm), o menor erro de amostragem foi para o método de área fixa com parcela Circular (PC), seguido do método de amostragem por ponto de Bitterlich (PB), método de amostragem de área fixa com conglomerado em Linha (CL) e com conglomerado em Cruz (CC). NAKAJIMA *et al.* (1995) obtiveram em reflorestamento de cedro japonês (*Cryptomeria japonica* D. Don), resultados similares. YOSHIDA (1991), citado por NAKAJIMA (1997), também em reflorestamento de Cedro japonês (*Cryptomeria japonica* D. Don), obteve a seguinte classificação: em primeiro o método de Strand e em segundo o método de área fixa com parcela Circular (PC), seguido do método de área fixa com parcela Circular Concêntrica e método por ponto de Bitterlich.

Nos Gráficos 4, 5 e 6 são mostrados os resultados do DAP médio (cm) em seus respectivos métodos de amostragem e suas repetições.

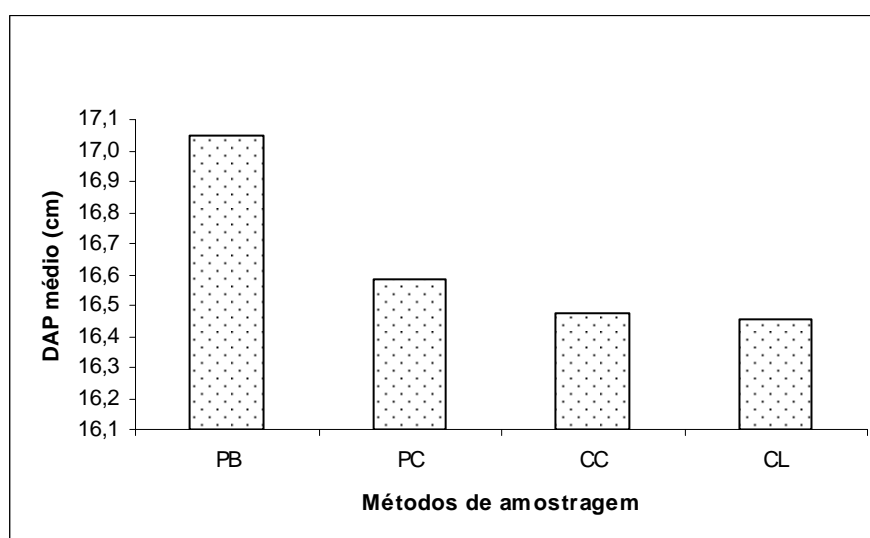


GRÁFICO 4 - ESTIMATIVA DO DAP MÉDIO EM SEUS RESPECTIVOS MÉTODOS - CONDIÇÃO 1



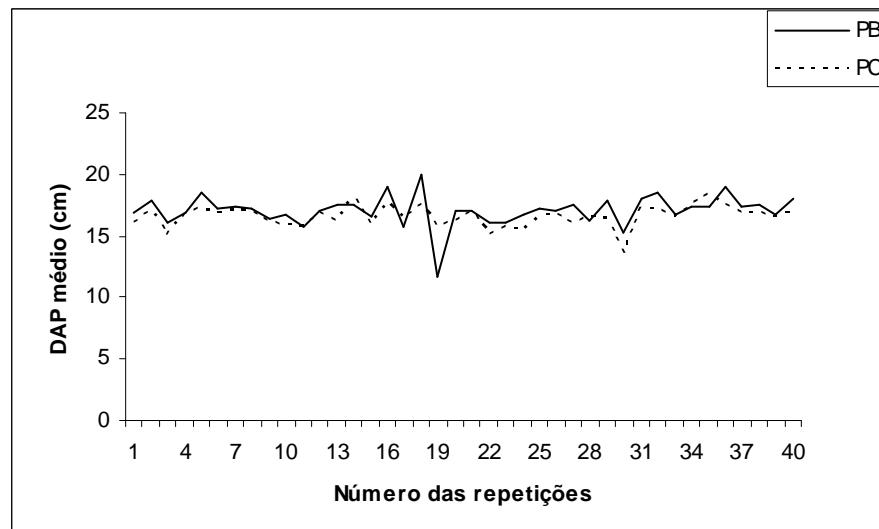


GRÁFICO 5 - ESTIMATIVA DO DAP MÉDIO EM CADA REPETIÇÃO NOS MÉTODOS PB E DE ÁREA FIXA COM PC - CONDIÇÃO 1

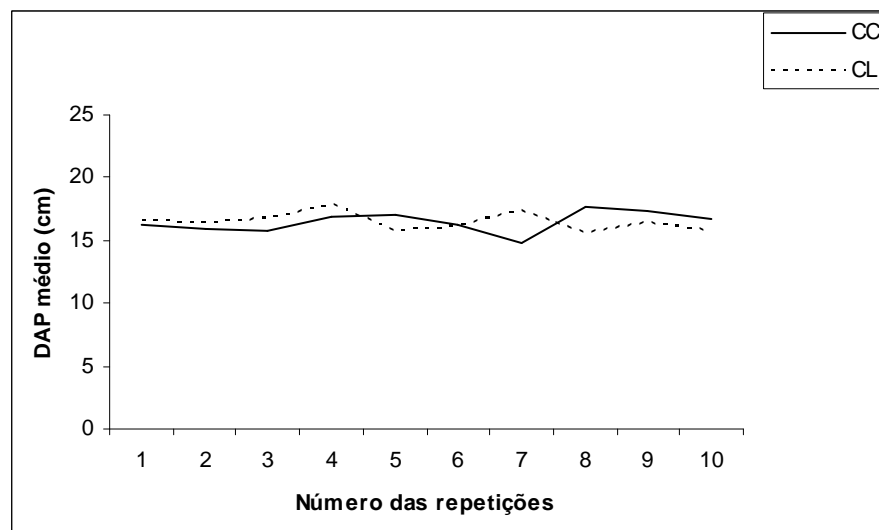


GRÁFICO 6 - ESTIMATIVA DO DAP MÉDIO EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO DE ÁREA FIXA COM CC E CL - CONDIÇÃO 1

#### 4.1.3.3.2 Análise estatística da estimativa de número de árvores

Com base nos dados coletados e estimados, fez-se a análise estatística da variável número de árvores, apresentada na Tabela 11.

TABELA 11 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE NÚMERO DE ÁRVORES - CONDIÇÃO 1

Método	PB	PC	CC	CL
Número médio árvores/ha	1723	1619	1600	1638
Desvio padrão (N/ha)	±306,55	±97,38	±133,12	±130,00
Erro padrão (N/ha)	±48,47	±15,40	±27,70	±28,38
Coefficiente de variação (%)	17,79	6,01	8,32	7,94
Erro de amostragem relativo (%)	±5,69	±1,92	±3,50	±3,50
Intervalo de confiança (N/ha)	±98,04	±31,14	±56,03	±57,40
Intensidade amostral	40	40	10	10

Na estimativa do número de árvores, o menor erro de amostragem foi para o método de área fixa com parcela Circular (PC), seguido do método de área fixa com conglomerado em Linha (CL) e com conglomerado em Cruz (CC), com o mesmo resultado e, por último, do método de amostragem por ponto de Bitterlich (PB). NAKAJIMA *et al.* (1995, 1996) obtiveram nas condições das Florestas Experimentais de Shiragadake e Takakuma, Japão, os seguintes resultados: o método de área fixa com parcela Circular em primeiro, seguido do método de área fixa com parcela Circular Concêntrica e de Strand.

Nos Gráficos 7, 8 e 9, são mostrados os resultados do número de árvores por hectare em seus respectivos métodos de amostragem e suas repetições.

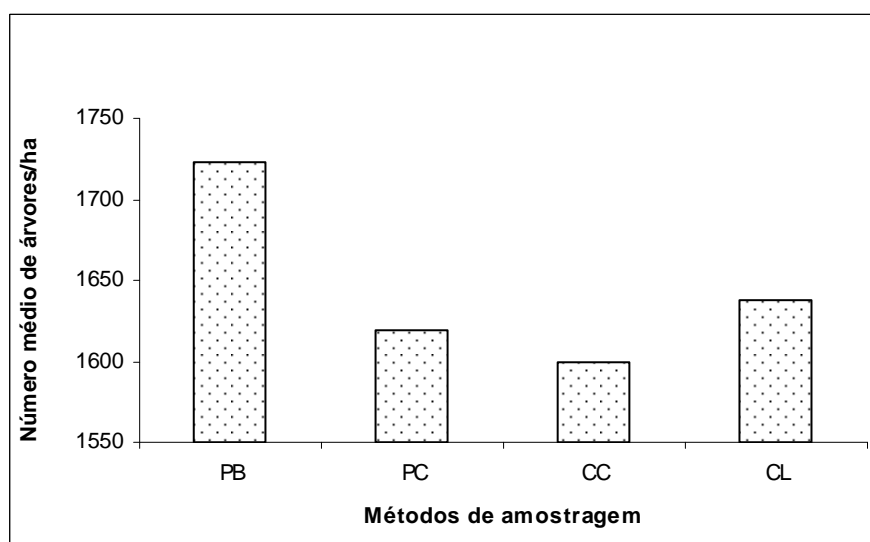


GRÁFICO 7 - ESTIMATIVA DO NÚMERO DE ÁRVORES EM SEUS RESPECTIVOS MÉTODOS - CONDIÇÃO 1

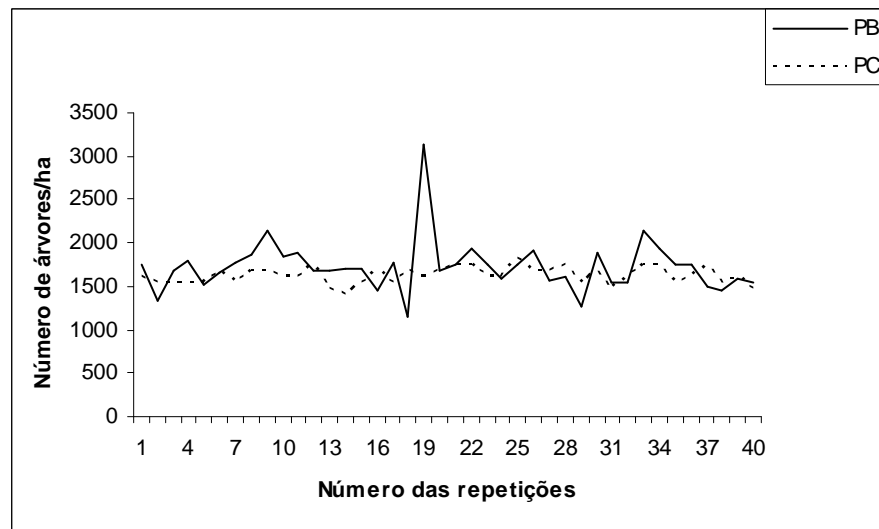


GRÁFICO 8 - ESTIMATIVA DO NÚMERO DE ÁRVORES EM CADA REPETIÇÃO NOS MÉTODOS PB E DE ÁREA FIXA COM PC - CONDIÇÃO 1

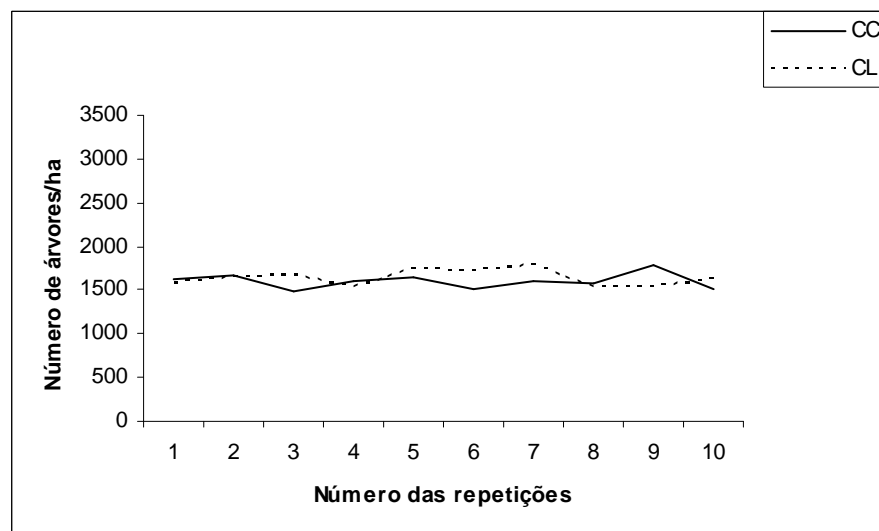


GRÁFICO 9 - ESTIMATIVA DO NÚMERO DE ÁRVORES EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO DE ÁREA FIXA COM CC E COM CL - CONDIÇÃO 1

#### 4.1.3.3.3 Análise estatística da estimativa de área basal

Com base nos dados coletados e estimados, fez-se a análise estatística da variável área basal, apresentada na Tabela 12.

TABELA 12 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE ÁREA BASAL –  
CONDIÇÃO 1

Método	PB	PC	CC	CL
Área basal média (m <sup>2</sup> /ha)	40,15	36,94	36,24	36,89
Desvio padrão (m <sup>2</sup> /ha)	±4,16	±3,54	±5,24	±4,84
Erro padrão (m <sup>2</sup> /ha)	±0,66	±0,56	±1,36	±1,20
Coefficiente de variação (%)	10,36	9,60	14,47	13,11
Erro de amostragem relativo (%)	±3,31	± <b>3,07</b>	±7,57	±6,57
Intervalo de confiança (m <sup>2</sup> /ha)	±1,33	±1,13	±2,74	±2,43
Intensidade amostral	40	40	10	10

Na estimativa da área basal, o menor erro de amostragem foi para o método de área fixa de parcela Circular (PC), seguido do método de amostragem por ponto de Bitterlich, método de área fixa com conglomerado em Linha (CL) e com conglomerado em Cruz (CC). LOETSCH *et al.* (1973) observam que, no método PB, devido à probabilidade de a amostragem ser proporcional à área basal das árvores, a área basal por hectare é mais bem estimada que em métodos de área fixa. NAKAJIMA *et al.* (1995, 1996) obtiveram para as condições das Florestas Experimentais de Shiragadake (Floresta Mista), Japão, uma maior precisão para o método de Bitterlich, seguido do método de área fixa com parcela Circular Concêntrica, de Strand e método de área fixa com parcela Circular. Para as condições dos reflorestamentos da Floresta Experimental de Takakuma, os resultados foram: método de área fixa com parcela Circular Concêntrica, método de área fixa com parcela Circular ou Bitterlich e de Strand.

Nos Gráficos 10, 11 e 12, são mostrados os resultados da área basal por hectare em seus respectivos métodos de amostragem e suas repetições.

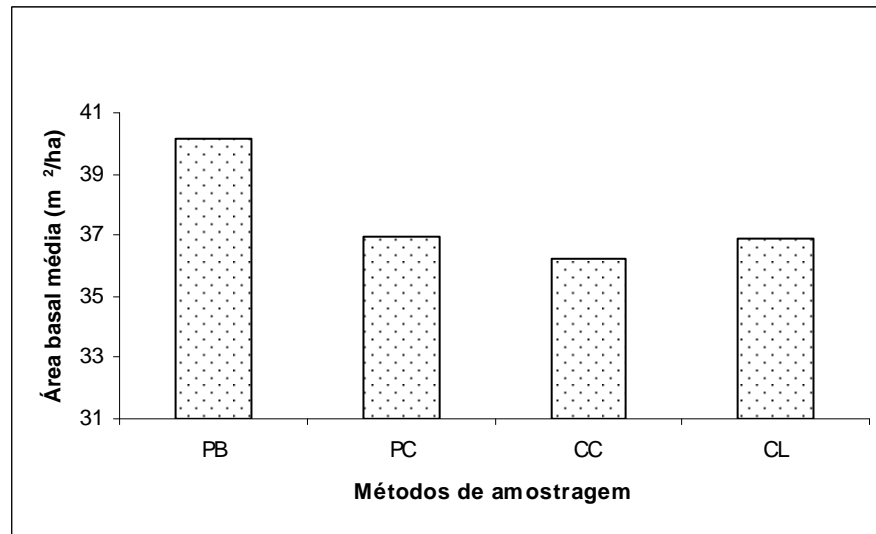


GRÁFICO 10 - ESTIMATIVA DA ÁREA BASAL EM SEUS RESPECTIVOS MÉTODOS - CONDIÇÃO 1

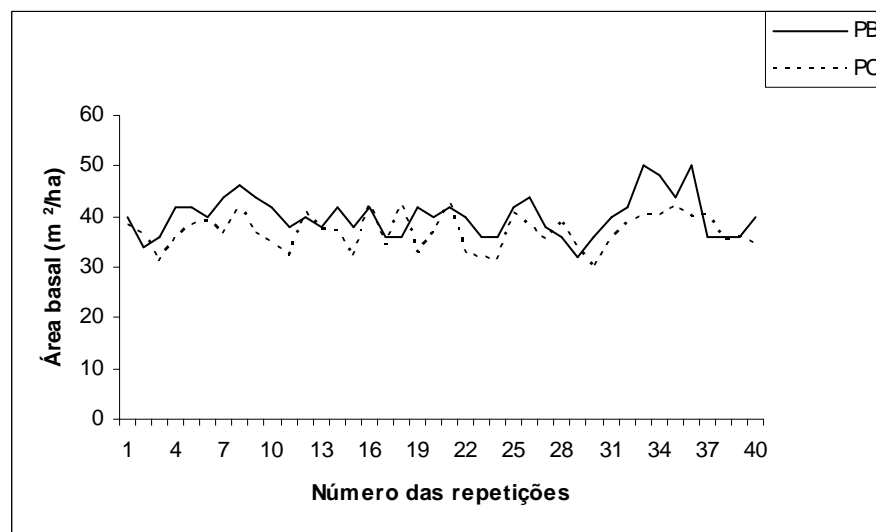


GRÁFICO 11: ESTIMATIVA DA ÁREA BASAL EM CADA REPETIÇÃO NOS MÉTODOS PB E DE ÁREA FIXA COM PC - CONDIÇÃO 1

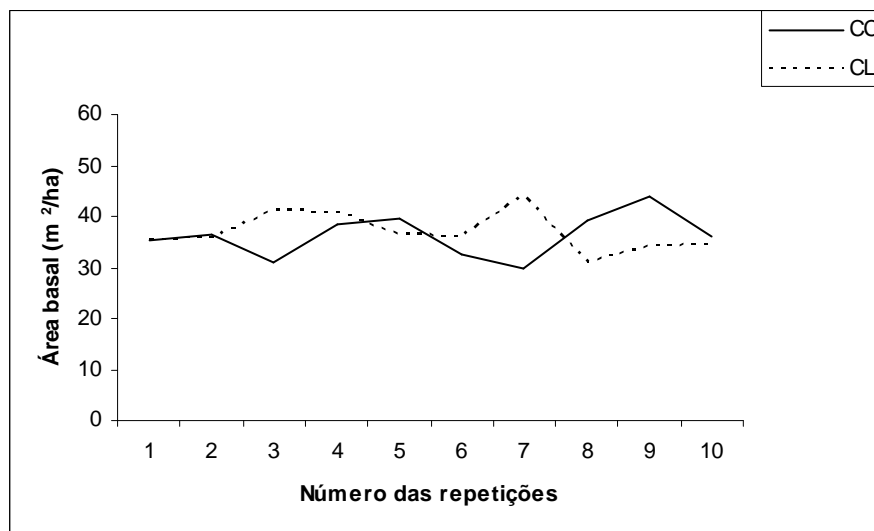


GRÁFICO 12 - ESTIMATIVA DA ÁREA BASAL EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO DE ÁREA FIXA COM CC E COM CL - CONDIÇÃO 1

#### 4.1.3.3.4 Análise estatística da estimativa de volume

Com base nos dados coletados e estimados, fez-se a análise estatística da variável volume, apresentada na Tabela 13.

TABELA 13 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE VOLUME - CONDIÇÃO 1

Método	PB	PC	CC	CL
Volume médio (m <sup>3</sup> /ha)	261,33	237,24	231,87	235,04
Desvio padrão (m <sup>3</sup> /ha)	±31,41	±26,93	±38,43	±35,74
Erro padrão (m <sup>3</sup> /ha)	±4,97	±4,26	±10,04	±8,99
Coefficiente de variação (%)	12,02	11,35	16,58	15,21
Erro de amostragem relativo (%)	±3,84	±3,63	±8,76	±7,74
Intervalo de confiança (m <sup>3</sup> /ha)	±10,05	±8,61	±20,32	±18,19
Intensidade amostral	40	40	10	10

Na estimativa do volume, o menor erro de amostragem foi para o método de área fixa com parcela Circular (PC), seguido do método de amostragem por ponto de Bitterlich (PB), método de área fixa com conglomerado em Linha (CL) e com conglomerado Cruz (CC). NAKAJIMA *et al.* (1995, 1996) obtiveram para as condições das Florestas Experimentais de Shiragadake (Floresta Mista), Japão, o método de amostragem por pontos de Bitterlich, seguido do método de área fixa com parcela Circular Concêntrica, de Strand e método de área fixa com parcela Circular. Para as condições dos reflorestamentos da Floresta Experimental de Takakuma os

resultados foram: método de área fixa com parcela Circular Concêntrica, método de área fixa com parcela Circular ou Bitterlich e de Strand. YOSHIDA (1991), citado por NAKAJIMA (1997), também em reflorestamentos de cedro japonês, obteve como melhor método na estimativa de volume por hectare, os seguintes resultados: Strand, método de área fixa com parcela Circular, Bitterlich e método de área fixa com parcela Circular Concêntrica. MAHRER e VOLLENWEIDER (1983), em reflorestamentos da Suíça, obtiveram as seguintes classificações: método de área fixa com parcela Circular Concêntrica, seguido de Strand, Bitterlich e método de área fixa com parcela Circular.

Nos Gráficos 13, 14 e 15, são mostrados os resultados do volume por hectare em seus respectivos métodos de amostragem e suas repetições.

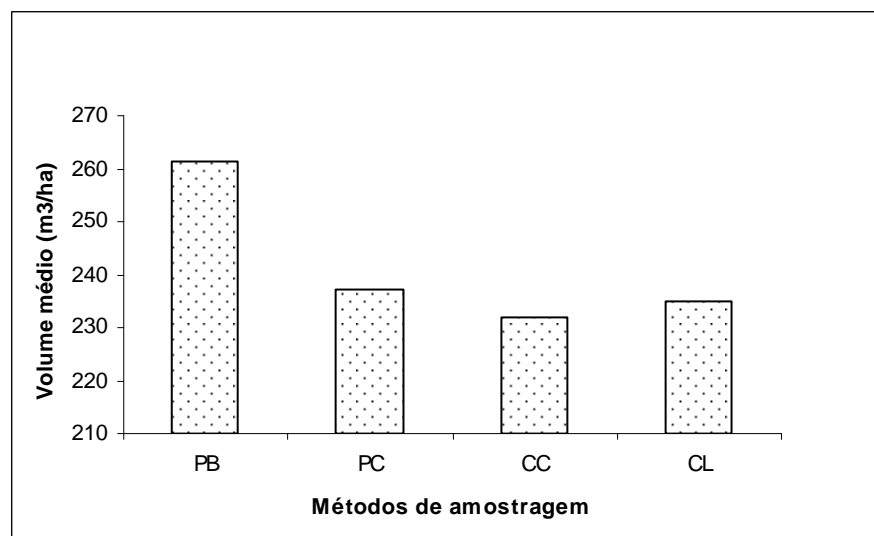


GRÁFICO 13 - ESTIMATIVA DO VOLUME EM SEUS RESPECTIVOS MÉTODOS – CONDIÇÃO 1

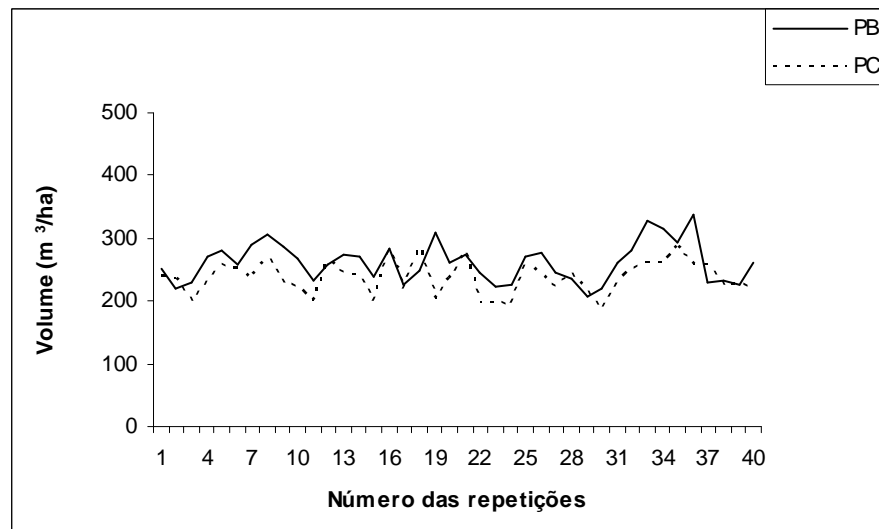


GRÁFICO 14 - ESTIMATIVA DO VOLUME EM CADA REPETIÇÃO NOS MÉTODOS PB E DE ÁREA FIXA COM PC - CONDIÇÃO 1



GRÁFICO 15 - ESTIMATIVA DO VOLUME EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO DE ÁREA FIXA COM CC E COM CL - CONDIÇÃO 1

4.1.3.4 Teste t de Student para as estimativas DAP médio, número de árvores, área basal e volume.

Segundo BANZATTO e KRONKA (1992, p. 37), o teste t serve para confrontar médias ou grupos de médias, empregando contrastes de médias.

A Tabela 14 mostra os resultados do Teste t de Student, entre os métodos e as variáveis analisadas.



TABELA 14 – TESTE T DE STUDENT PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS -  
CONDIÇÃO 1

Métodos	PB vs. PC	PB vs. CC	PB vs. CL	PC vs. CC	PC vs. CL	CC vs. CL
DAP médio (cm)	2,02*	1,58ns	1,64ns	0,28ns	0,30ns	0,05ns
N/ha	2,04*	1,91ns	1,34ns	0,42ns	0,43ns	0,64ns
G/ha	3,71**	2,19*	1,96ns	0,40ns	0,03ns	0,29ns
V/ha	3,68**	2,24*	2,13*	0,42ns	0,18ns	0,19ns

\*\* - significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0.01$ );

\* - significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0.01 \leq p < 0.05$ );

ns - não significativo ( $p \geq 0.05$ ).

vs. – versus.

Para a variável estimada DAP médio, o Teste t de Student revelou que existe diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade apenas entre o método PB vs. PC.

Para a variável estimada número de árvores, o Teste t de Student revelou que existe diferença ao nível de 5% de probabilidade apenas entre o método PB vs. PC.

Para a variável estimada área basal, o Teste t de Student revelou que existe diferença significativa entre o método PB vs. PC ao nível de 1% de probabilidade e entre o método PB vs. CC ao nível de 5% de probabilidade.

Para a variável estimada volume, o Teste t de Student revelou que existe diferença significativa entre o método PB vs. PC ao nível de 1% de probabilidade e entre PB vs. CC e PB vs. CL ao nível de 5% de probabilidade.

#### 4.1.3.5 Classificação dos métodos com base no erro de amostragem

A classificação dos métodos de amostragem PB e de área fixa com PC, CC e CL, quanto à precisão nas estimativas das variáveis, é apresentada na Tabela 15.

TABELA 15 - CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS COM BASE NO ERRO  
DE AMOSTRAGEM - CONDIÇÃO 1

Classificação	1º Lugar	2º Lugar	3º Lugar	4º Lugar
DAP médio (cm)	PC	PB	CL	CC
Número de árvores/ha	PC	CC / CL	PB	-
Área Basal/ha	PC	PB	CL	CC
Volume /ha	PC	PB	CL	CC

Com base no erro de amostragem do método PB e do método de área fixa com PC, CC e CL testados, a classificação ficou estabelecido na seguinte ordem:

- Para a estimativa do DAP médio, a maior precisão foi para o método de área fixa com parcela Circular (PC) e, em segundo, para o método de amostragem por pontos de Bitterlich (PB), seguidos do método de área fixa com conglomerado em Linha (CL) e com conglomerado em Cruz(CC).
- Para a estimativa do número de árvores por hectare, a melhor precisão foi para o método de área fixa com parcela Circular (PC), seguido do método de área fixa com conglomerado em Cruz (CC) e com conglomerado Linha (CL) (empataram em 2º Lugar) e, por último, para o método de amostragem por pontos de Bitterlich (PB).
- Para a estimativa da área basal e volume, por hectare, a melhor precisão foi para o método de amostragem de área fixa com parcela Circular (PC), seguido do método por ponto de Bitterlich (PB), método de área fixa com conglomerado em Linha (CL) e o com conglomerado em Cruz(CC).

#### 4.1.3.6 Análise da eficiência relativa comparada

A análise da eficiência relativa teve como objetivo comparar os métodos PB e de área fixa com PC, CC e CL simultaneamente, através do inverso dos produtos dos quadrados dos coeficientes de variação pelos respectivos tempos. A Tabela 16 apresenta a eficiência relativa para as estimativas das variáveis, sendo que o método que apresentou o maior valor entre os inversos foi o mais eficiente.

TABELA 16 - EFICIÊNCIA RELATIVA COMPARADA - CONDIÇÃO 1

Método	Tempo (min)	DAP (cm)		Árvores/ha		Área basal (m <sup>2</sup> /ha)		Volume (m <sup>3</sup> /ha)	
		cv%	ER	cv%	ER	cv%	ER	cv%	ER
PB	93,88	7,58	1,86	17,79	0,34	10,36	0,99	12,02	0,74
PC	103,36	5,34	<b>3,39</b>	6,01	<b>2,67</b>	9,60	<b>1,05</b>	11,35	<b>0,75</b>
CC	141,33	6,17	1,86	8,32	1,02	14,47	0,34	16,58	0,26
CL	141,52	5,84	2,07	7,94	1,12	13,11	0,41	15,21	0,31

Com base no coeficiente de variação e tempo total dos métodos PB e de área fixa com PC, CC e CL, a eficiência relativa foi a seguinte:

- Na estimativa do DAP médio, o método de área fixa com parcela Circular (PC) foi o mais eficiente, seguido do método de área fixa com conglomerado em Linha

(CL) e, empatados na terceira colocação, o método de área fixa com conglomerado em Cruz e o método por pontos de Bitterlich (PB).

- Na estimativa do número de árvores por hectare, o método de área fixa com parcela Circular (PC) foi o mais eficiente. Na seqüência está o método de área fixa com conglomerado em Linha (CL), método de área fixa com conglomerado em Cruz (CC) e, por último, o método por pontos de Bitterlich (PB). MOSCOVICH, BRENA e LONGHI (1999, p.189), em trabalho realizado em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (município de São Francisco de Paula – RS), encontraram as seguintes eficiências relativas: método de Strand, seguido do método de Prodan, de Área Fixa e de Bitterlich.
- Na estimativa da área basal e volume por hectare, o método de área fixa com parcela Circular (PC) foi o mais eficiente. Em seguida estão o método de amostragem por ponto de Bitterlich (PB), o método de área fixa com conglomerado em Linha (CL) e, por último, o método de área fixa com conglomerado em Cruz (CC). MOSCOVICH, BRENA e LONGHI (1999, p.189), em trabalho realizado em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (município de São Francisco de Paula – RS), obtiveram as seguintes eficiências relativas: método de Strand, seguido do método de Bitterlich, de Prodan e de Área Fixa. Já CESARO *et al.* (1994, p. 107), na estimativa de volume por hectare em povoamento de *Pinus* sp., constataram maior eficiência para o método de Área Fixa, seguido do de Bitterlich e do de Seis Árvores.

## 4.2 CONDIÇÃO 2

### 4.2.1 Melhor modelo hipsométrico

O melhor modelo hipsométrico foi o modelo de Ogawa. Os resíduos e as estatísticas do modelo são apresentados no Gráfico 16 e na Tabela 17, respectivamente.

## Modelo de Ogawa

$$1/h = 0,05204485 + 0,800028 * 1/d$$

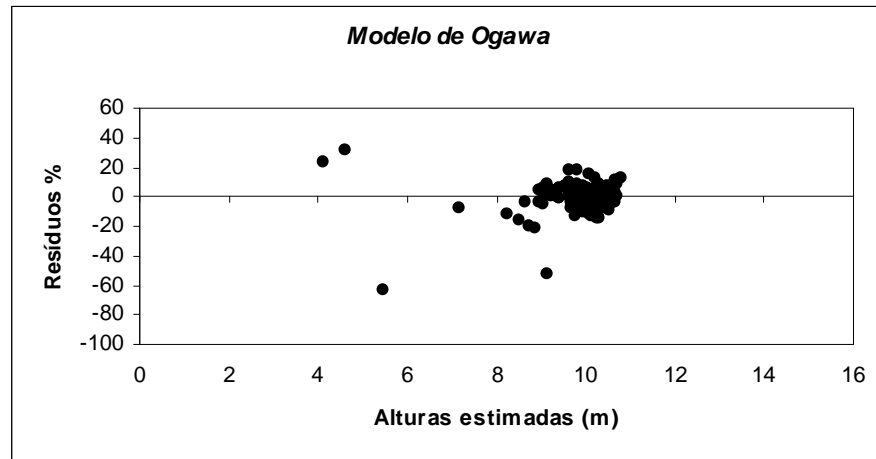


GRÁFICO 16 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) DO MELHOR MODELO HIPSONÔMETRICO - CONDIÇÃO 2

TABELA 17 - ESTATÍSTICAS DE REGRESSÃO CONFORME O MODELO DE OGAWA - CONDIÇÃO 2

R-Quadrado	R-quadrado ajustado	I.A.	syx	syx%
0,59762	0,59074	0,59074	0,84926	8,67579

## 4.2.2 Melhor modelo volumétrico

O melhor modelo volumétrico foi o modelo de Schumacher-Hall. Os resíduos e as estatísticas do modelo são apresentados no Gráfico 17 e na Tabela 18, respectivamente.

## Modelo de Schumacher-Hall

$$\ln v = -9,678855718 + 1,961111183 * \ln d + 0,825826416 * \ln h$$

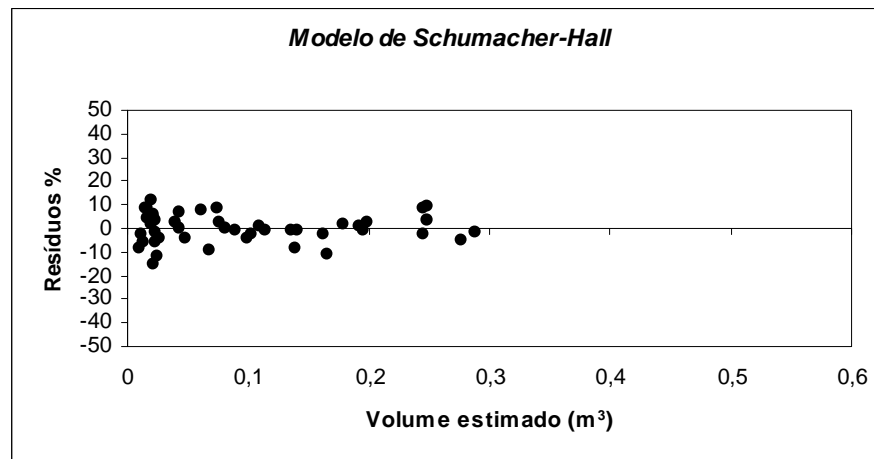


GRÁFICO 17 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) DO MELHOR MODELO VOLUMÉTRICO - CONDIÇÃO 2

TABELA 18 - ESTATÍSTICAS DE REGRESSÃO CONFORME O MODELO DE SCHUMACHER-HALL - CONDIÇÃO 2

R-Quadrado	R-quadrado ajustado	I.A.	syx	syx%
0,99664	0,99640	0,99344	0,00709	7,20497

#### 4.2.3 Estimativa das variáveis obtidas

A área experimental do estudo da condição 2 é de 41,52 ha, onde foram mensuradas 2.954 árvores em 100 unidades amostrais. Para os métodos PB e de área fixa com PC realizaram-se 40 repetições e para o método de área fixa com CC e com CL foram 10 repetições, sendo que em termos de área total os métodos são iguais. O número de árvores amostradas em cada parcela e em cada método é apresentado na Tabela 19.

De acordo com NAKAJIMA (1997), o tamanho das unidades amostrais foi ajustado de forma que cada método contivesse na amostra, em média, um mesmo número de árvores (Tabela 19). Em média foram amostradas 18 árvores por parcela. Também influenciaram a variação do número de árvores de uma unidade amostral para outra a mortalidade e as falhas ocorrentes no povoamento.

TABELA 19 - NÚMERO DE ÁRVORES AMOSTRADAS POR PARCELA -  
CONDIÇÃO 2

Parcela	PB	PC	CC	CL
1	17	18	75	74
2	19	20	77	79
3	19	19	71	77
4	19	20	81	82
5	20	20	73	75
6	19	21	78	75
7	18	20	79	75
8	20	18	73	74
9	18	19	67	70
10	16	19	74	79
11	18	19		
12	20	19		
13	17	16		
14	18	21		
15	19	21		
16	15	20		
17	16	17		
18	20	23		
19	18	19		
20	18	20		
21	21	19		
22	19	18		
23	15	19		
24	17	23		
25	16	19		
26	18	18		
27	17	18		
28	15	16		
29	18	16		
30	17	19		
31	20	22		
32	17	20		
33	20	21		
34	17	21		
35	18	19		
36	18	18		
37	16	19		
38	16	19		
39	17	22		
40	17	17		
<b>Soma</b>	<b>713</b>	<b>772</b>	<b>748</b>	<b>760</b>
<b>Média</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>

Para o método de área fixa com CC e com CL a média foi obtida somando-se todas as árvores medidas nas 10 parcelas de cada conglomerado e dividindo-se tal soma pelo número de subparcelas.

#### 4.2.3.1 Estimativa das variáveis pelos métodos de PB e de área fixa com PC, CC e CL

A Tabela 20 apresenta a estimativa dos valores das variáveis DAP médio, número de árvores, área basal e volume, por hectare.

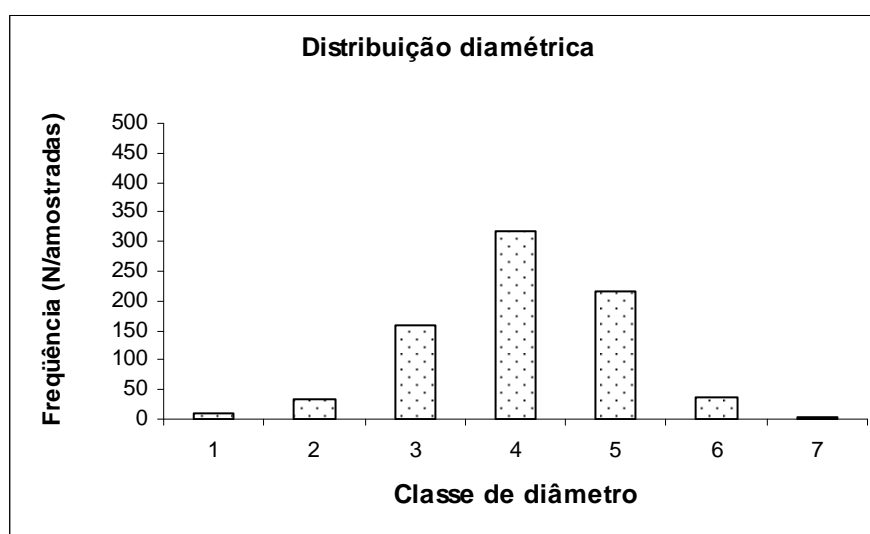
**TABELA 20 - ESTIMATIVAS DAS VARIÁVEIS DAP MÉDIO, NÚMERO DE ÁRVORES, ÁREA BASAL E VOLUME - CONDIÇÃO 2**

<b>Método</b>	<b>PB</b>	<b>PC</b>	<b>CC</b>	<b>CL</b>
DAP médio (cm)	15,9	16,0	16,0	16,1
Número médio de árvores (N/ha)	1768	1924	1865	1895
Área basal média (m <sup>2</sup> /ha)	35,65	40,15	38,90	39,72
Volume médio (m <sup>3</sup> /ha)	169,94	191,96	185,78	189,84

Além da precisão dos métodos, a estimativa da variável volume depende também da precisão da equação de altura e volume utilizados, os quais não influenciaram a comparação dos resultados desta pesquisa.

#### 4.2.3.2 Distribuição das variáveis em classes de diâmetro

O Gráfico 18 mostra a frequência de indivíduos amostrados por classe de diâmetro



**GRÁFICO 18 - FREQUÊNCIA DOS INDIVÍDUOS AMOSTRADOS POR CLASSE DE DIÂMETRO - CONDIÇÃO 2.**

#### 4.2.3.3 Análises estatísticas das variáveis estimadas pelos métodos de PB e de área fixa com PC, CC e CL

##### 4.2.3.3.1 Análise estatística da estimativa de DAP médio

Com base nos dados coletados e estimados, fez-se a análise estatística da variável DAP médio, apresentada na Tabela 21.

TABELA 21 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE DAP MÉDIO - CONDIÇÃO 2

Métodos	PB	PC	CC	CL
DAP médio (cm)	15,93	15,99	16,01	16,05
Desvio padrão (cm)	±1,34	±0,96	±0,93	±0,88
Erro padrão (cm)	±0,21	±0,15	±0,24	±0,21
Coefficiente de variação (%)	8,40	5,98	5,83	5,47
Erro de amostragem relativo (%)	±2,69	±1,91	±3,08	±2,61
Intervalo de confiança (cm)	±0,43	±0,31	±0,49	±0,42
Intensidade amostral	40	40	10	10

Na estimativa do DAP médio (cm), o menor erro de amostragem foi para o método de área fixa com parcela Circular (PC), seguido do método de área fixa com conglomerado em Linha (CL), método por ponto de Bitterlich (PB) e com conglomerado em Cruz (CC). NAKAJIMA *et al.* (1995) obtiveram, em reflorestamento de cedro japonês (*Cryptomeria japonica* D. Don), resultados similares. YOSHIDA (1991), citado por NAKAJIMA (1997), também em reflorestamento de cedro japonês (*Cryptomeria japonica* D. Don), obteve a seguinte classificação: em primeiro o método de Strand e em segundo o método de área fixa com parcela Circular, seguidos do método de área fixa com parcela Circular Concêntrica e do método de Bitterlich.

Nos Gráficos 19, 20 e 21, são mostrados os resultados do DAP médio (cm) em seus respectivos métodos de amostragem e suas repetições.



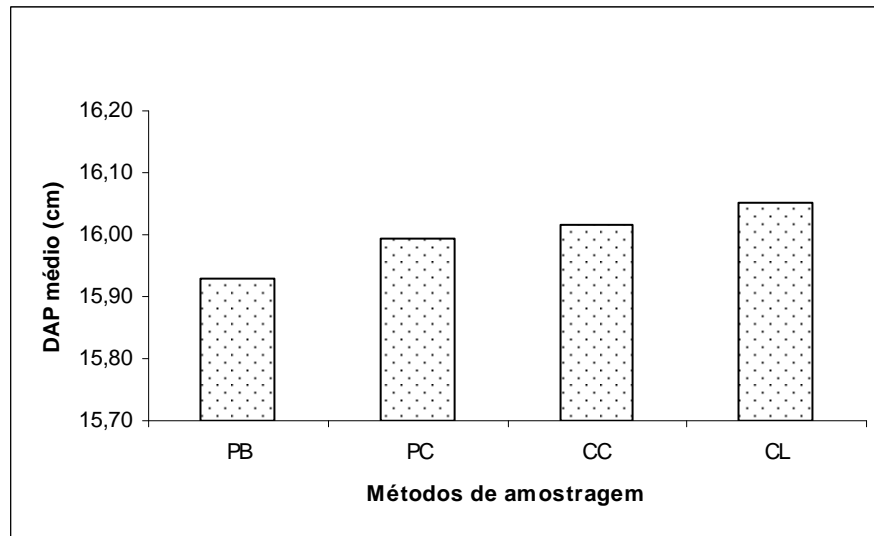


GRÁFICO 19 - ESTIMATIVA DO DAP MÉDIO EM SEUS RESPECTIVOS MÉTODOS - CONDIÇÃO 2

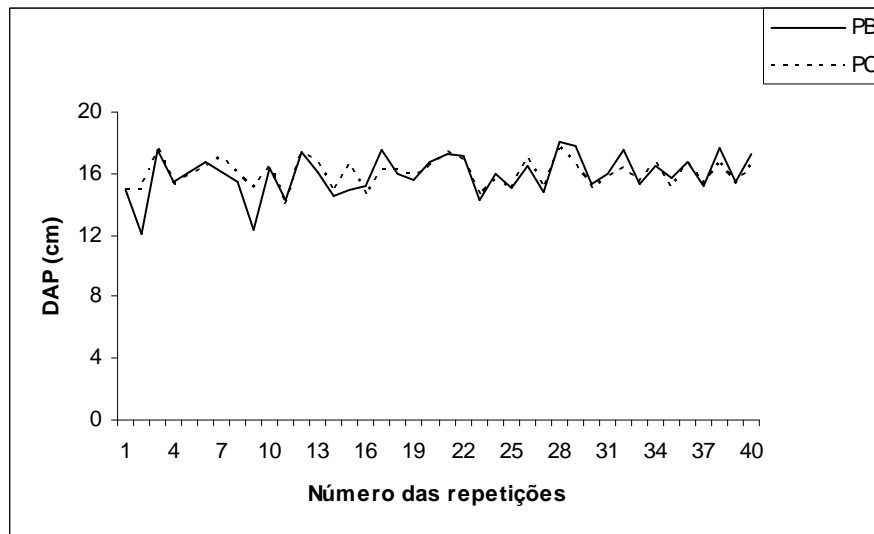


GRÁFICO 20 - ESTIMATIVA DO DAP MÉDIO EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO PB E DE ÁREA FIXA COM PC - CONDIÇÃO 2

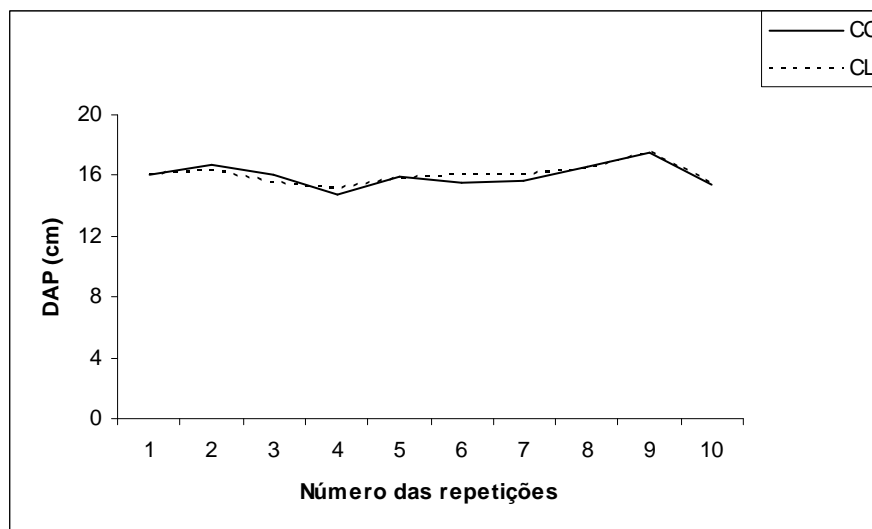


GRÁFICO 21 - ESTIMATIVA DO DAP MÉDIO EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO DE ÁREA FIXA COM CC E COM CL - CONDIÇÃO 2

#### 4.2.3.3.2 Análise estatística da estimativa de número de árvores

Com base nos dados coletados e estimados, fez-se a análise estatística da variável número de árvores, apresentada na Tabela 22.

TABELA 22 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE NÚMERO DE ÁRVORES - CONDIÇÃO 2

Método	PB	PC	CC	CL
Número médio de árvores (N/ha)	1768	1924	1865	1895
Desvio padrão (N/ha)	±310,71	±170,78	±182,96	±204,48
Erro padrão (N/ha)	±49,13	±27,00	±32,57	±26,54
Coefficiente de variação (%)	17,57	8,87	9,81	10,79
Erro de amostragem relativo (%)	±5,62	±2,84	±3,53	<b>±2,83</b>
Intervalo de confiança (N/ha)	± 99,37	± 54,62	± 65,87	± 53,68
Intensidade amostral	40	40	10	10

Na estimativa do número de árvores, o menor erro de amostragem foi para o método de área fixa com conglomerado em Linha (CL), seguido do método de área fixa com parcela Circular (PC), com conglomerado em Cruz (CC) e, por último, do método de amostragem por ponto de Bitterlich (PB). NAKAJIMA *et al.* (1995, 1996) obtiveram nas condições das Florestas Experimentais de Shiragadake e Takakuma, Japão, os seguintes resultados: o método de área fixa com parcela Circular em primeiro, seguido do método de área fixa com parcela Circular Concêntrica e de Strand.

Nos Gráficos 22, 23 e 24, são mostrados os resultados do número de árvores por hectare em seus respectivos métodos de amostragem e suas repetições.

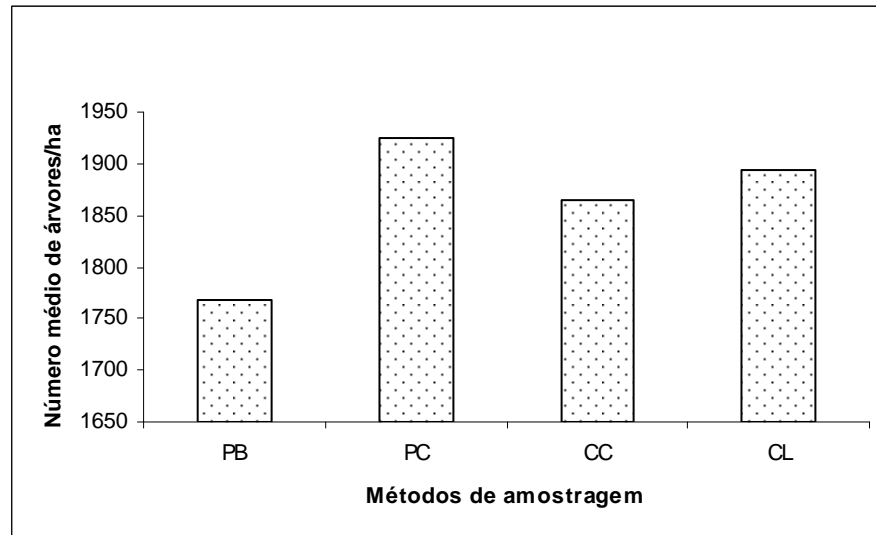


GRÁFICO 22 - ESTIMATIVA DO NÚMERO DE ÁRVORES EM SEUS RESPECTIVOS MÉTODOS - CONDIÇÃO 2

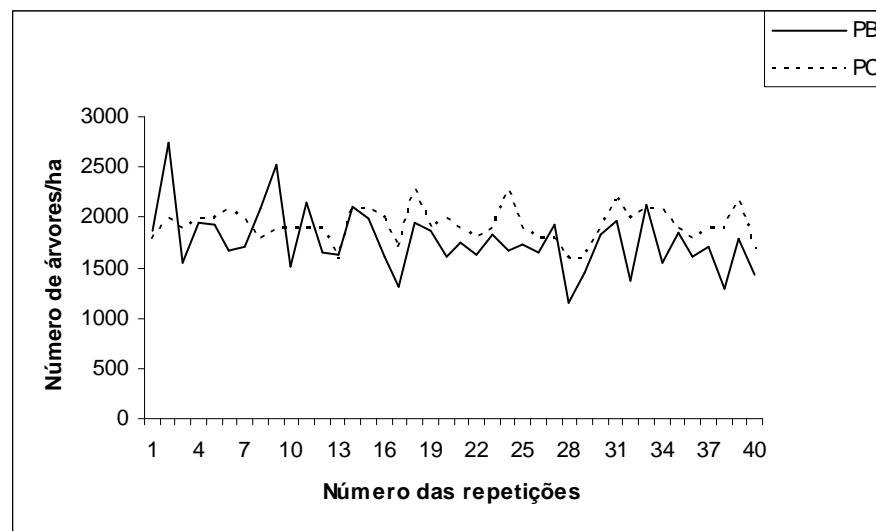


GRÁFICO 23 - ESTIMATIVA DO NÚMERO DE ÁRVORES EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO PB E DE ÁREA FIXA COM PC - CONDIÇÃO 2

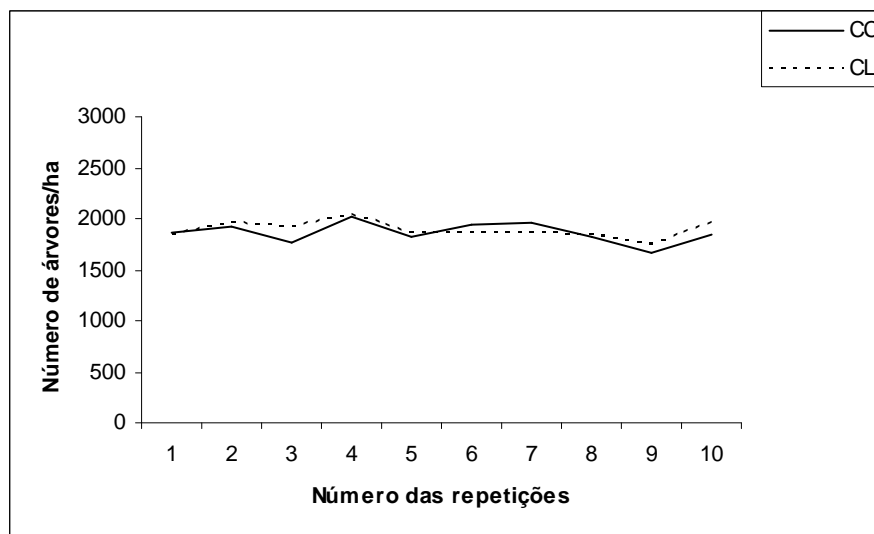


GRÁFICO 24 - ESTIMATIVA DO NÚMERO DE ÁRVORES EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO DE ÁREA FIXA COM CC E COM CL - CONDIÇÃO 2

#### 4.2.3.3.3 Análise estatística da estimativa de área basal

Com base nos dados coletados e estimados, fez-se a análise estatística da variável área basal, apresentada na Tabela 23.

TABELA 23 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE ÁREA BASAL - CONDIÇÃO 2

Métodos	PB	PC	CC	CL
Área basal média (m <sup>2</sup> /ha)	35,65	40,15	38,90	39,72
Desvio padrão (m <sup>2</sup> /ha)	±3,10	±5,02	±4,22	±3,49
Erro padrão (m <sup>2</sup> /ha)	±0,49	±0,79	±0,76	±0,50
Coeficiente de variação (%)	8,70	12,51	10,84	8,78
Erro de amostragem relativo (%)	±2,78	±4,00	±3,94	<b>±2,56</b>
Intervalo de confiança (m <sup>2</sup> /ha)	±0,99	±1,61	±1,53	±1,02
Intensidade amostral	40	40	10	10

Na estimativa da área basal, o menor erro de amostragem foi para o método de área fixa com conglomerado em Linha (CL), seguido do método por ponto de Bitterlich (PB), de área fixa com conglomerado em Cruz (CC) e, por último, do método de área fixa com parcela Circular (PC). LOETSCH *et al.* (1973) observam que, no método Bitterlich, devido à probabilidade de a amostragem ser proporcional à área basal das árvores, a área basal por hectare é mais bem estimada que em métodos de área fixa. Neste caso em particular, isto não ocorreu. A melhor

estimativa foi pelo método de área fixa com CL. NAKAJIMA *et al.* (1995, 1996) obtiveram para as condições das Florestas Experimentais de Shiragadake (Floresta Mista) Japão, o método Bitterlich, seguido do de área fixa com parcela Circular Concêntrica, de Strand e de área fixa com parcela Circular. Para as condições dos reflorestamentos da Floresta Experimental de Takakuma, os resultados foram: método de área fixa com parcela Circular Concêntrica, de área fixa com parcela Circular ou Bitterlich e de Strand.

Abaixo, nos Gráficos 25, 26 e 27, são mostrados os resultados da área basal em seus respectivos métodos de amostragem e suas repetições.

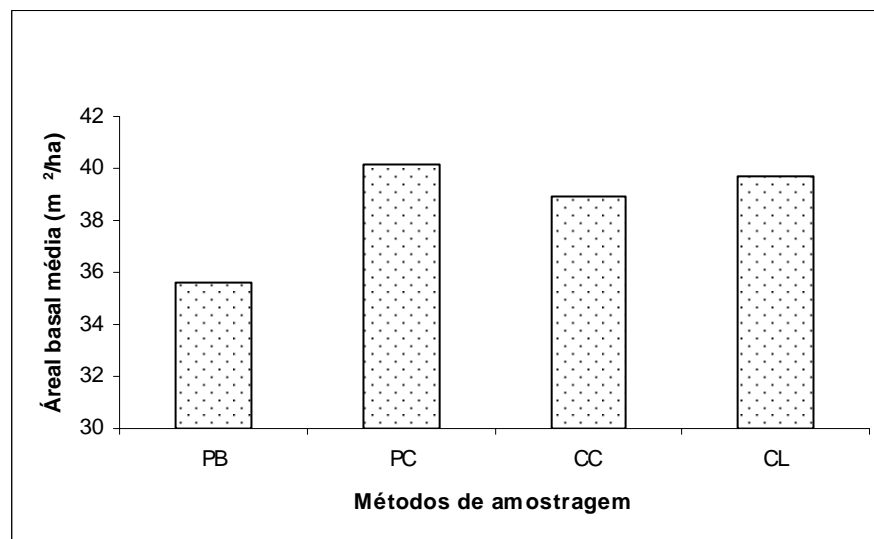


GRÁFICO 25 - ESTIMATIVA DA ÁREA BASAL EM SEUS RESPECTIVOS MÉTODOS - CONDIÇÃO 2

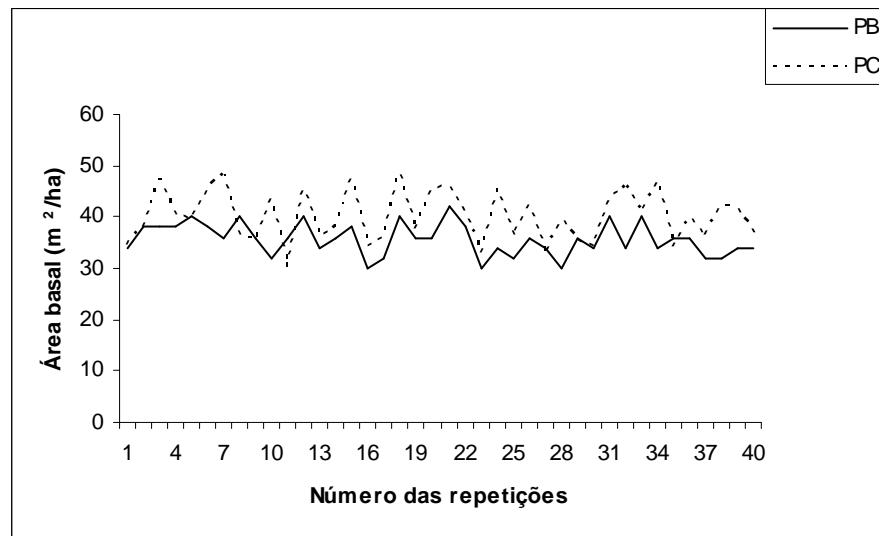


GRÁFICO 26 - ESTIMATIVA DA ÁREA BASAL EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO PB E DE ÁREA FIXA COM PC - CONDIÇÃO 2



GRÁFICO 27 - ESTIMATIVA DA ÁREA BASAL EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO DE ÁREA FIXA COM CC E COM CL - CONDIÇÃO 2

#### 4.2.3.3.4 Análise estatística da estimativa de volume

Com base nos dados coletados e estimados, fez-se a análise estatística da variável volume, apresentada na Tabela 24.

TABELA 24 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE VOLUME –  
CONDIÇÃO 2

Métodos	PB	PC	CC	CL
Volume médio (m <sup>3</sup> /ha)	169,94	191,96	185,78	189,84
Desvio padrão (m <sup>3</sup> /ha)	±15,48	±26,67	±22,37	±18,20
Erro padrão (m <sup>3</sup> /ha)	±2,45	±4,22	±4,35	±3,06
Coefficiente de variação (%)	9,11	13,89	12,04	9,59
Erro de amostragem relativo (%)	<b>±2,91</b>	±4,44	±4,73	±3,27
Intervalo de confiança (m <sup>3</sup> /ha)	±4,95	±8,53	±8,79	±6,20
Intensidade amostral	40	40	10	10

Na estimativa do volume, o menor erro de amostragem foi para o método de amostragem por ponto de Bitterlich (PB), seguido pelo método de área fixa com conglomerado em Linha (CL), com parcela Circular (PC) e com conglomerado em Cruz (CC). NAKAJIMA *et al.* (1995, 1996) obtiveram para as condições das florestas mistas da Estação Experimental de Shiragadake, Japão, o método de amostragem por ponto de Bitterlich, seguido do de área fixa com parcela Circular Concêntrica, de Strand e de área fixa com parcela Circular. Para as condições dos reflorestamentos da Estação Experimental de Takakuma os resultados foram: método de área fixa com parcela Circular Concêntrica, com parcela Circular ou Bitterlich e de Strand. YOSHIDA (1991), citado por NAKAJIMA (1997), também em reflorestamentos de Cedro japonês, obteve na estimativa de volume por hectare, os seguintes resultados: Strand, de área fixa com parcela Circular, Bitterlich e de área fixa com parcela Circular Concêntrica. MAHRER e VOLLENWEIDER (1983), em reflorestamentos da Suíça, obtiveram as seguintes classificações: método de área fixa com parcela Circular Concêntrica, de Strand, de Bitterlich e de área fixa com parcela Circular.

Nos Gráficos 28, 29 e 30, são mostrados os resultados do volume por hectare em seus respectivos métodos de amostragem e suas repetições.

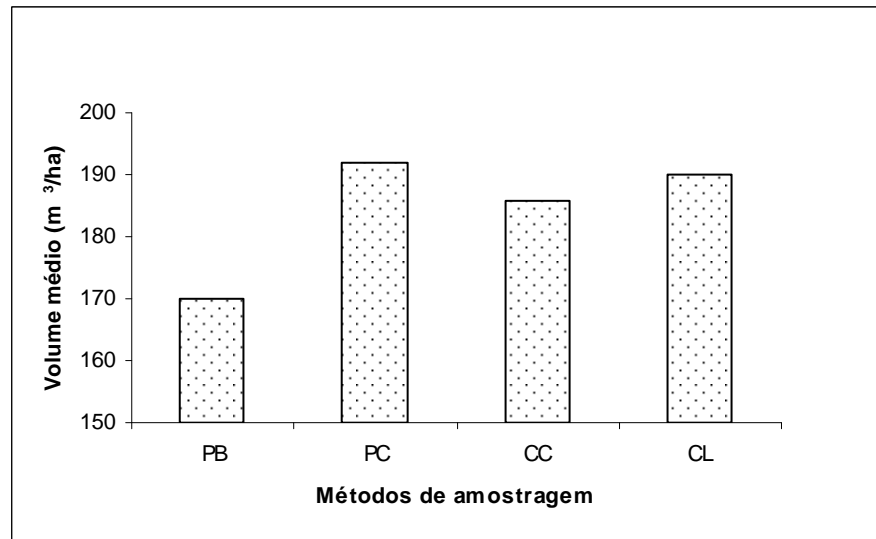


GRÁFICO 28 - ESTIMATIVA DO VOLUME EM SEUS RESPECTIVOS MÉTODOS – CONDIÇÃO 2

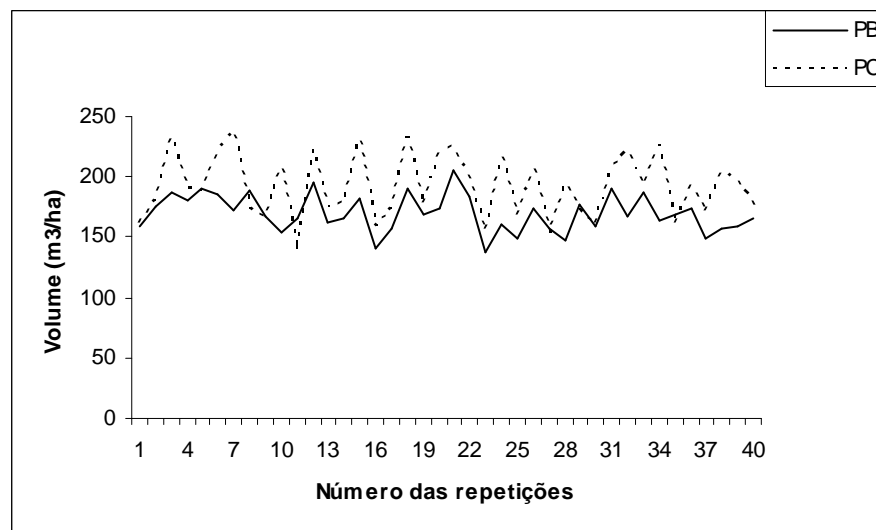


GRÁFICO 29 - ESTIMATIVA DO VOLUME EM CADA REPETIÇÃO NOS MÉTODOS PB E DE ÁREA FIXA COM PC - CONDIÇÃO 2



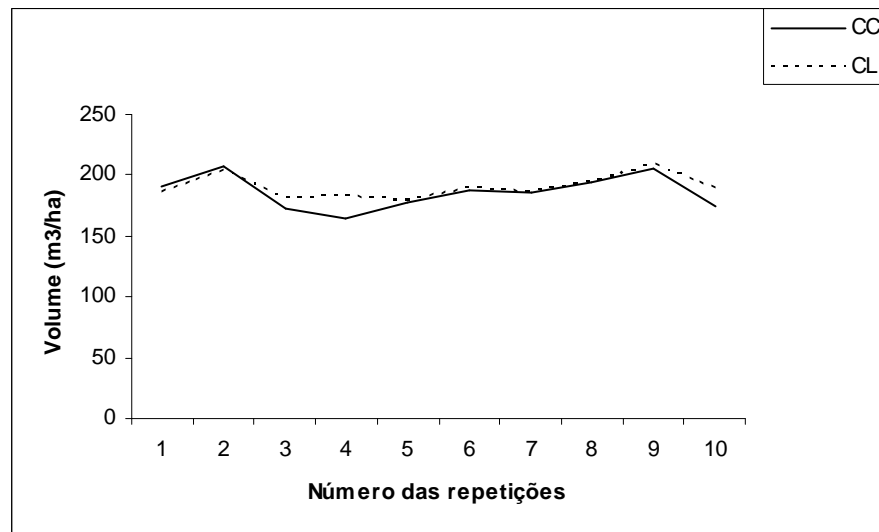


GRÁFICO 30 - ESTIMATIVA DO VOLUME EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO DE ÁREA FIXA COM CC E COM CL - CONDIÇÃO 2

4.2.3.4 Teste t de Student para as estimativas DAP médio, número de árvores, área basal e volume.

Segundo BANZATTO e KRONKA (1992, p. 37), o teste t serve para confrontar médias ou grupos de médias, empregando contrastes de médias.

A Tabela 25 mostra os resultados do Teste t de Student, entre os métodos e as variáveis analisadas.

TABELA 25 – TESTE T DE STUDENT PARA AS ESTIMATIVAS DAS VARIÁVEIS – CONDIÇÃO 2

Método	PB vs. PC	PB vs. CC	PB vs. CL	PC vs. CC	PC vs. CL	CC vs. CL
DAP médio	0,38ns	0,28ns	0,57ns	0,07ns	0,32ns	0,25ns
N/ha	2,78**	1,28ns	1,57ns	0,92ns	0,42ns	0,34ns
G/ha	4,82**	2,28*	3,37**	0,81ns	0,32ns	0,47ns
V/ha	4,52**	2,12*	3,18**	0,75ns	0,30ns	0,45ns

\*\* - significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0.01$ );

\* - significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0.01 \leq p < 0.05$ );

ns - não significativo ( $p \geq 0.05$ );

vs. - versus

Para a variável estimada DAP médio, o Teste t de Student revelou que não existem diferenças significativas entre o método PB e os de área fixa com PC, com CC e com CL.

Para a variável estimada número de árvores, o Teste t de Student revelou que existe diferença ao nível de 5% de probabilidade apenas entre o método PB vs. PC.

Para a variável estimada área basal, o Teste t de Student revelou que existe diferença significativa entre o método PB vs. PC e PB vs. CL ao nível de 1% de probabilidade e entre o método PB vs. CC ao nível de 5% de probabilidade.

Para a variável estimada volume, o Teste t de Student revelou que existe diferença significativa entre o método PB vs. PC e PB vs. CL ao nível de 1% de probabilidade e entre PB vs. CC ao nível de 5% de probabilidade.

#### 4.2.3.5 Classificação dos métodos com base no erro de amostragem

A classificação dos métodos de amostragem na precisão das estimativas das variáveis é apresentada na Tabela 26.

TABELA 26 – CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS COM BASE NO ERRO DE AMOSTRAGEM - CONDIÇÃO 2

<b>Classificação</b>	<b>1º Lugar</b>	<b>2º Lugar</b>	<b>3º Lugar</b>	<b>4º Lugar</b>
Diâmetro médio (cm)	PC	CL	PB	CC
Número de árvores/ha	CL	PC	CC	PB
Área Basal/ha	CL	PB	CC	PC
Volume/ha	PB	CL	PC	CC

Com base no erro de amostragem dos métodos testados, a classificação foi na seguinte ordem:

- Para a estimativa do DAP médio, a maior precisão foi para o método de área fixa com parcela Circular (PC), seguido do método de área fixa com conglomerado em Linha (CL), método por ponto de Bitterlich (PB) e método de área fixa com conglomerado em Cruz (CC).
- Para a estimativa do número de árvores por hectare, a maior precisão foi para o método de área fixa com conglomerado em Linha (CL), seguido do método de área fixa com parcela Circular (PC), do de área fixa com conglomerado em Cruz (CC) e, por último, do método de amostragem por pontos de Bitterlich (PB).
- Para a estimativa da área basal por hectare, a melhor precisão foi para o método de área fixa com conglomerado em Linha (CL), seguido do método por ponto de

Bitterlich (PB), de área fixa com conglomerado em Cruz (CC) e, por último, do de área fixa com parcela Circular (PC).

- Para a estimativa do volume por hectare, a maior precisão foi para o método por ponto de Bitterlich (PB), seguido do método de área fixa com conglomerado em Linha (CL), de área fixa com parcela Circular (PC) e de área fixa com conglomerado em Cruz (CC).

#### 4.2.3.6 Análise da eficiência relativa comparada

A análise da eficiência relativa teve como objetivo comparar os métodos simultaneamente através do inverso dos produtos dos quadrados dos coeficientes de variação pelos respectivos tempos. A Tabela 27 apresenta a eficiência relativa para as estimativas das variáveis, sendo que o método que apresentou o maior valor entre os inversos foi considerado o mais eficiente.

TABELA 27 - EFICIÊNCIA RELATIVA COMPARADA - CONDIÇÃO 2

Método	Tempo (min)	DAP (cm)		Árvores/ha		Área basal (m <sup>2</sup> /ha)		Volume (m <sup>3</sup> /ha)	
		cv%	ER	cv%	ER	cv%	ER	cv%	ER
PB	74,36	8,40	1,91	17,57	0,44	8,70	<b>1,78</b>	9,11	<b>1,62</b>
PC	67,12	5,98	<b>4,17</b>	8,87	<b>1,89</b>	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
CL	106,05	5,47	3,15	10,79	0,81	8,78	1,22	9,59	1,03

Com base no coeficiente de variação e tempo total de cada método, a eficiência relativa foi a seguinte:

- Na estimativa do DAP médio, o método de área fixa com parcela Circular (PC) foi o mais eficiente, seguido do método de área fixa com conglomerado em Linha (CL), do com conglomerado em Cruz (CC) e, por último, do método por ponto de Bitterlich (PB).
- Na estimativa do número de árvores por hectare, o método de área fixa com parcela Circular (PC) foi o mais eficiente. Na seqüência, em segundo lugar quanto à eficiência relativa, está o método de área fixa com conglomerado em Cruz (CC), seguido do de área fixa com conglomerado em Linha (CL) e do método de amostragem por ponto de Bitterlich (PB). MOSCOVICH, BRENA e LONGHI (1999, p.189), em trabalho realizado em uma floresta de *Araucaria*

*angustifolia* (município de São Francisco de Paula – RS), encontraram as seguintes eficiências relativas: método de Strand, seguido do método de Prodan, Área Fixa e Bitterlich.

- Na estimativa da área basal e volume por hectare, o método por ponto de Bitterlich (PB) foi o mais eficiente e na seqüência estão o método de área fixa com conglomerado em Linha (CL), de área fixa com parcela Circular (PC) e, por último, o método de área fixa com conglomerado em Cruz (CC). MOSCOVICH, BRENA e LONGHI (1999, p.189), em trabalho realizado em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (município de São Francisco de Paula – RS), encontraram as seguintes eficiências relativas: método de Strand, seguido do método de Bitterlich, de Prodan e de Área Fixa. Já CESARO *et al.* (1994, p. 107), na estimativa de volume por hectare em povoamento de *Pinus* sp., constataram maior eficiência para o método de Área Fixa, seguido do método de Bitterlich e do de Seis Árvores.

### 4.3 CONDIÇÃO 3

#### 4.3.1 Melhor modelo hipsométrico

O melhor modelo hipsométrico foi o modelo de Trorey. Os resíduos e as estatísticas do modelo são apresentados no Gráfico 31 e na Tabela 28, respectivamente.

Modelo de Trorey

$$h = 9,81649817 - 0,06224807 * (d) + 0,00778248 * (d^2)$$

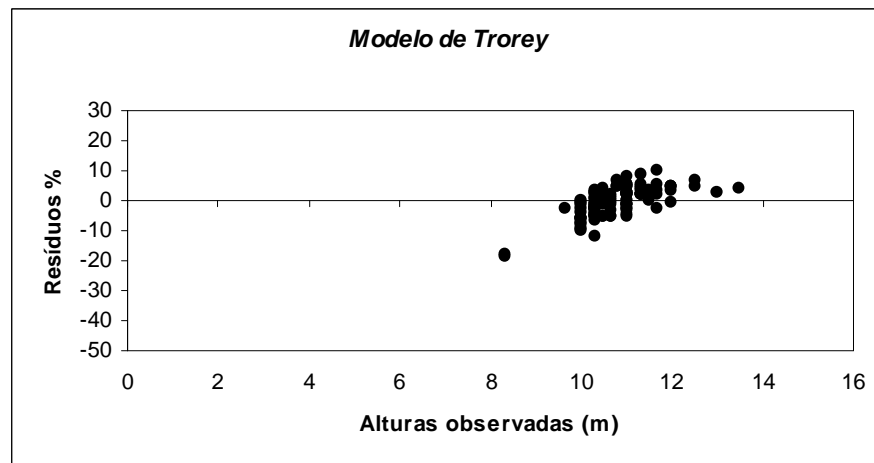


GRÁFICO 31 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) DO MELHOR MODELO HIPSONÉTICO - CONDIÇÃO 3

Obs.: O modelo de Trorey deve ser usado apenas para povoamentos jovens, já que ele tem um problema. A medida que se aumenta o diâmetro, as alturas estimadas diminuem.

TABELA 28 - ESTATÍSTICAS DE REGRESSÃO CONFORME MODELO DE TROREY - CONDIÇÃO 3

R-Quadrado	R-quadrado ajustado	I.A.	syx	syx%
0,55987	0,55235	0,55235	0,48716	4,51208

#### 4.3.2 Melhor modelo volumétrico

O melhor modelo volumétrico foi o modelo de Schumacher. Os resíduos e as estatísticas do modelo são apresentados no Gráfico 32 e na Tabela 29, respectivamente.

Modelo de Schumacher-Hall

$$\ln v = -9,584241626 + 1,908064397 * \ln d + 0,863903449 * \ln h$$

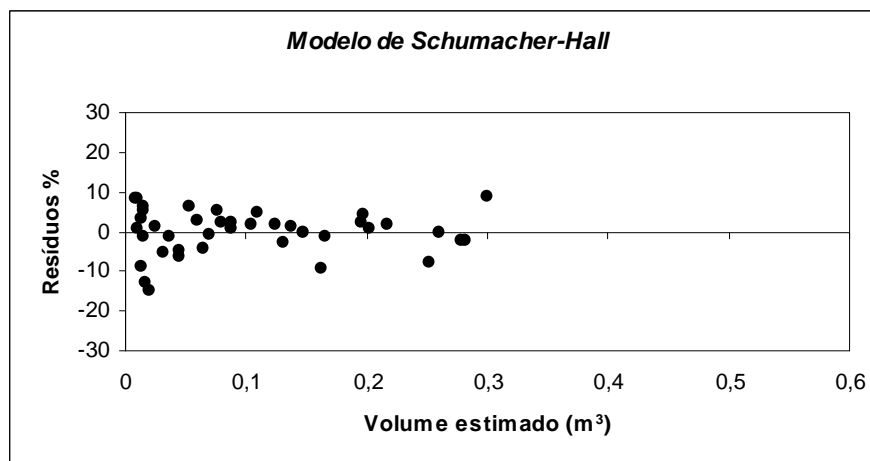


GRÁFICO 32 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) DO MELHOR MODELO VOLUMÉTRICO - CONDIÇÃO 3

TABELA 29 - ESTATÍSTICAS DE REGRESSÃO CONFORME MODELO DE SCHUMACHER-HALL - CONDIÇÃO 3

R-Quadrado	R-quadrado ajustado	I.A.	syx	syx%
0,99762	0,99742	0,99759	0,00690	6,60722

#### 4.3.3 Estimativa das variáveis obtidas

A área experimental da pesquisa da Condição 3 é de 32,86 ha, onde foram mensuradas 2.866 árvores em 100 unidades amostrais. Para os métodos PB e de área fixa com PC realizaram-se 40 repetições e para o método de área fixa com CC e com CL foram 10 repetições, sendo que em termos de área total os métodos são iguais. O número de árvores amostradas em cada parcela e em cada método é apresentado na Tabela 30.

De acordo com NAKAJIMA (1997), o tamanho das unidades amostrais para os métodos foi ajustado de forma que cada parcela contivesse em média um mesmo número de árvores (Tabela 30), tomando como referência o método por ponto de Bitterlich. Em média, foram amostradas 18 árvores por parcela. A variação do número de árvores de uma unidade amostral para outra também foi influenciada pela mortalidade e pelas falhas no povoamento.

TABELA 30 - NÚMERO DE ÁRVORES AMOSTRADAS POR PARCELA -  
CONDIÇÃO 3

Parcela	PB	PC	CCM	CL
1	19	20	70	74
2	17	18	77	74
3	16	19	72	72
4	19	18	78	73
5	16	18	66	71
6	16	18	70	71
7	20	17	69	72
8	18	18	75	75
9	15	18	81	77
10	17	18	73	80
11	15	16		
12	18	19		
13	18	18		
14	16	20		
15	18	18		
16	18	20		
17	15	17		
18	16	18		
19	14	16		
20	17	18		
21	15	19		
22	15	19		
23	14	17		
24	16	18		
25	14	19		
26	16	19		
27	17	18		
28	17	19		
29	14	18		
30	18	19		
31	14	18		
32	16	19		
33	20	18		
34	14	20		
35	19	20		
36	17	20		
37	14	18		
38	16	17		
39	16	19		
40	20	20		
<b>Soma</b>	<b>660</b>	<b>736</b>	<b>731</b>	<b>739</b>
<b>Média</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>

Para o método de área fixa com CC e com CL, a média foi obtida somando-se todas as árvores medidas nas 10 parcelas e dividindo-se tal soma pelo número de subparcelas.

#### 4.3.3.1 Estimativa das variáveis pelos métodos PB e de área fixa com PC, CC e CL

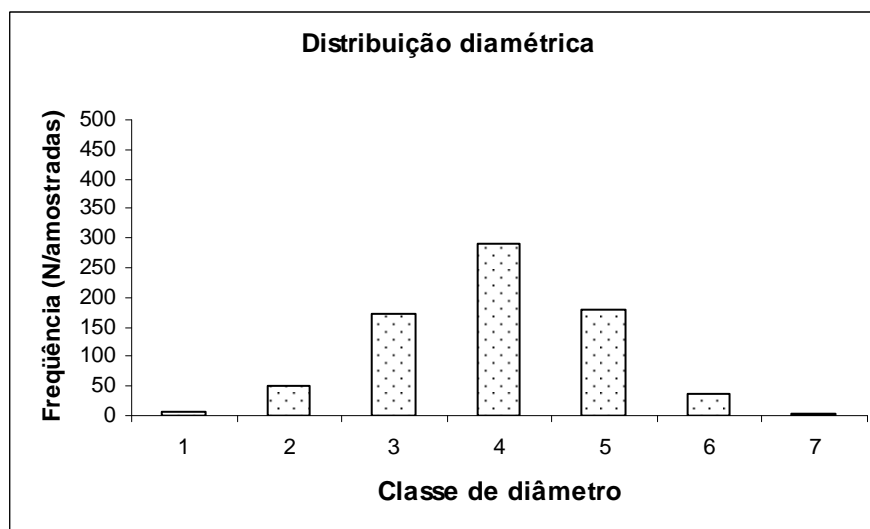
A Tabela 31 apresenta as estimativas das variáveis DAP médio, número de árvores, área basal e volume, por hectare.

**TABELA 31 - ESTIMATIVA DAS VARIÁVEIS DAP MÉDIO, NÚMERO DE ÁRVORES, ÁREA BASAL E VOLUME - CONDIÇÃO 3**

Métodos	PB	PC	CCM	CL
DAP médio (cm)	15,2	15,3	15,1	15,3
Número médio de árvores (N/ha)	1764	1868	1855	1875
Área basal média (m <sup>2</sup> /ha)	33,00	35,90	34,76	35,72
Volume médio (m <sup>3</sup> /ha)	176,44	192,56	185,88	191,17

#### 4.3.3.2 Distribuição das variáveis em classes de diâmetro

O Gráfico 33 mostra a frequência de indivíduos amostrados por classe de diâmetro.



**GRÁFICO 33 - FREQUÊNCIA DOS INDIVÍDUOS AMOSTRADOS POR CLASSE DE DIÂMETRO - CONDIÇÃO 3**



### 4.3.3.3 Análises estatísticas das variáveis estimadas pelos métodos de PB e de área fixa com PC, CC e CL

#### 4.3.3.3.1 Análise estatística da estimativa de DAP médio

Com base nos dados coletados e estimados, fez-se a análise estatística da variável DAP médio, apresentada na Tabela 32.

TABELA 32 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE DAP MÉDIO – CONDIÇÃO 3

Métodos	PB	PC	CC	CL
DAP médio (cm)	15,2	15,3	15,1	15,3
Desvio padrão (cm)	±0,91	±0,87	±0,89	±0,84
Erro padrão (cm)	±0,14	±0,14	±0,22	±0,15
Coefficiente de variação (%)	5,96	5,65	5,91	5,51
Erro de amostragem relativo (%)	±1,90	±1,81	±2,89	±2,00
Intervalo de confiança (cm)	±0,29	±0,28	±0,44	±0,31
Intensidade amostral	40	40	10	10

Na estimativa do DAP médio, o menor erro de amostragem foi obtido para o método de área fixa com parcela Circular (PC), seguido do método por ponto de Bitterlich (PB), do método de área fixa com conglomerado em Linha (CL) e do de área fixa com conglomerado em Cruz (CC). NAKAJIMA *et al.* (1995) obtiveram, em reflorestamento de cedro japonês (*Cryptomeria japonica* D. Don), resultados similares. YOSHIDA (1991), citado por NAKAJIMA (1997), também em reflorestamento de cedro japonês (*Cryptomeria japonica* D. Don), obteve a seguinte classificação: em primeiro, o método de Strand e, em segundo, o método de área fixa com parcela Circular, seguidos do método de área fixa com parcela Circular Concêntrica e do método por ponto de Bitterlich.

Nos Gráficos 34, 35 e 36, são mostrados os resultados do DAP médio (cm) em seus respectivos métodos de amostragem e suas repetições.

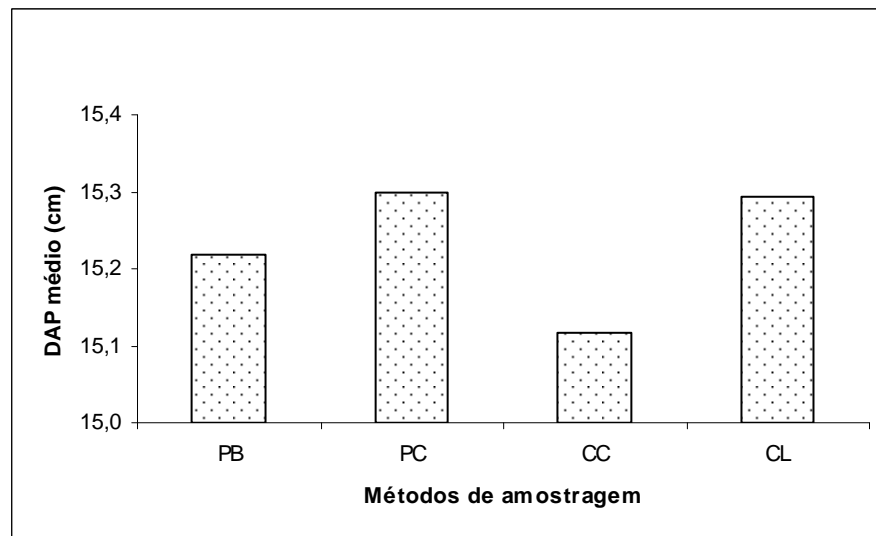


GRÁFICO 34 - ESTIMATIVA DO DAP MÉDIO EM SEUS RESPECTIVOS MÉTODOS - CONDIÇÃO 3

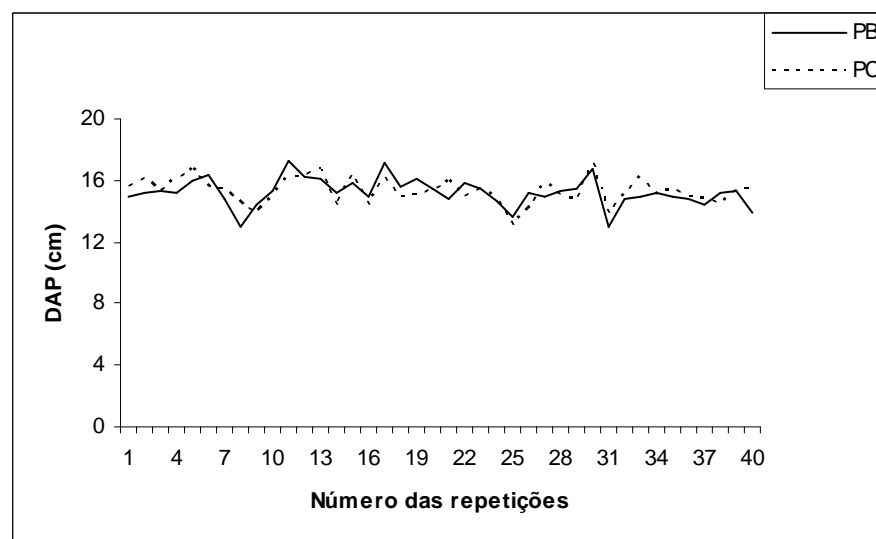


GRÁFICO 35 - ESTIMATIVA DO DAP MÉDIO EM CADA REPETIÇÃO NOS MÉTODOS PB E DE ÁREA FIXA COM PC - CONDIÇÃO 3

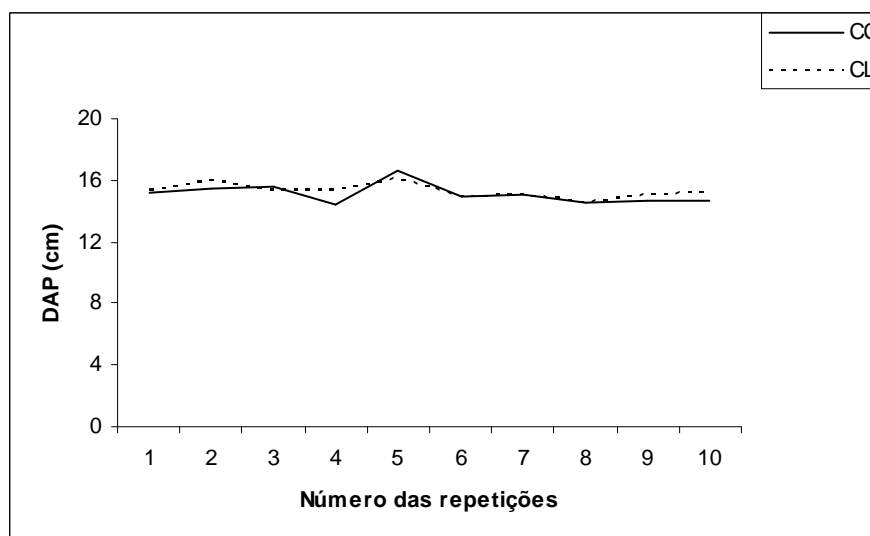


GRÁFICO 36 - ESTIMATIVA DO DAP MÉDIO EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO DE ÁREA FIXA COM CC E CL - CONDIÇÃO 3

#### 4.3.3.3.2 Análise estatística da estimativa de número de árvores

Com base nos dados coletados e estimados, fez-se a análise estatística da variável número de árvores, apresentada na Tabela 33.

TABELA 33 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE NÚMERO DE ÁRVORES - CONDIÇÃO 3

Métodos	PB	PC	CC	CL
Número médio de árvores (N/ha)	1764	1868	1855	1875
Desvio padrão (N/ha)	±280,84	±107,32	±203,85	±174,34
Erro padrão (N/ha)	±44,41	±16,97	±37,15	±22,84
Coeficiente de variação (%)	15,92	5,75	10,99	9,30
Erro de amostragem relativo (%)	±5,09	<b>±1,84</b>	±4,05	±2,46
Intervalo de confiança (N/ha)	±89,82	±34,32	±75,14	±46,19
Intensidade amostral	40	40	10	10

Na estimativa do número de árvores, o menor erro de amostragem foi para o método de área fixa com parcela Circular (PC), seguido do método de área fixa com conglomerado em Linha (CL), do de área fixa com conglomerado em Cruz (CC) e, por último, do método por ponto de Bitterlich (PB). NAKAJIMA *et al.* (1995, 1996) obtiveram nas condições das Florestas Experimentais de Shiragadake e Takakuma, Japão, os seguintes resultados: o método de área fixa com parcela Circular em primeiro, seguido do método de área fixa com parcela Circular Concêntrica e de Strand.

Abaixo, nos Gráficos 37, 38 e 39, são mostrados os resultados do número de árvores por hectare em seus respectivos métodos de amostragem e suas repetições.

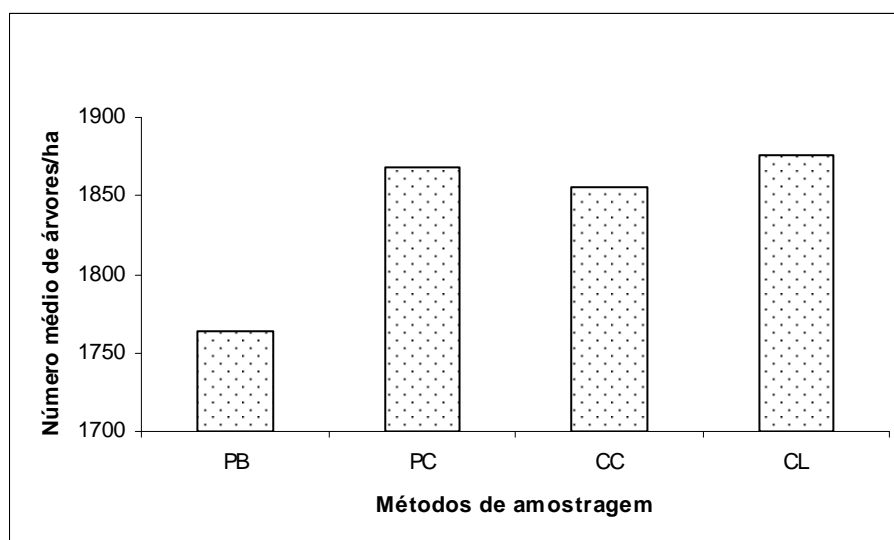


GRÁFICO 37 - ESTIMATIVA DO NÚMERO DE ÁRVORES EM SEUS RESPECTIVOS MÉTODOS - CONDIÇÃO 3

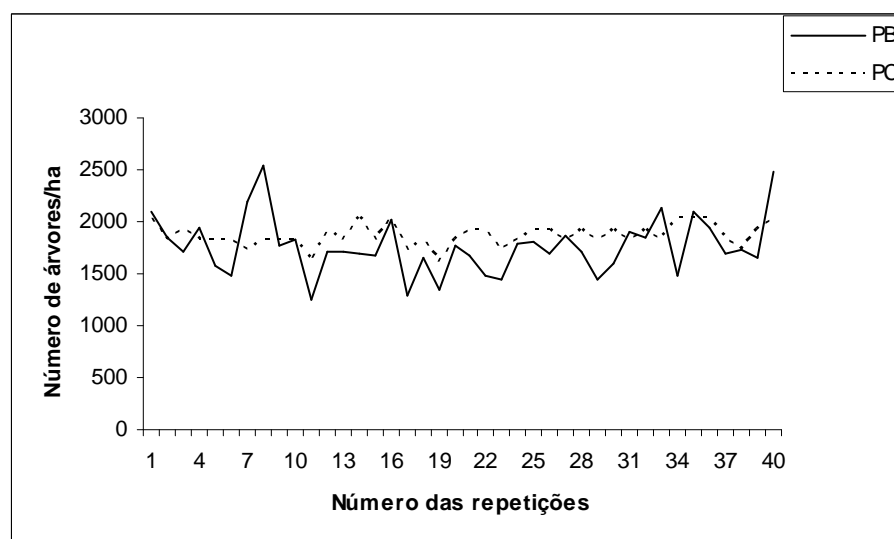


GRÁFICO 38 - ESTIMATIVA DO NÚMERO DE ÁRVORES EM CADA REPETIÇÃO NOS MÉTODOS PB E DE ÁREA FIXA COM PC - CONDIÇÃO 3

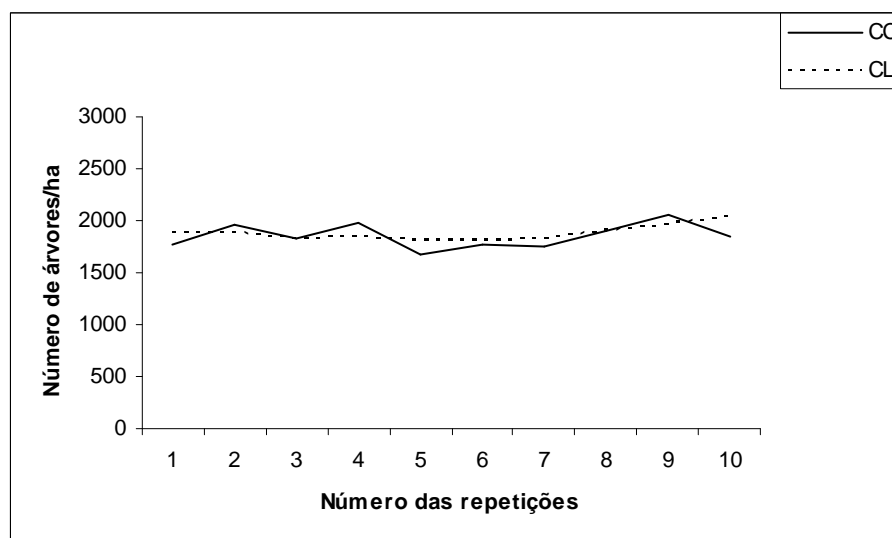


GRÁFICO 39 - ESTIMATIVA DO NÚMERO DE ÁRVORES EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO DE ÁREA FIXA COM CC E CL - CONDIÇÃO 3

#### 4.3.3.3.3 Análise estatística da estimativa de área basal

Com base nos dados coletados e estimados, fez-se a análise estatística da variável área basal, apresentada na Tabela 34.

TABELA 34 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE ÁREA BASAL - CONDIÇÃO 3

Métodos	PB	PC	CC	CL
Área basal média (m <sup>2</sup> /ha)	33,00	35,90	34,76	35,72
Desvio padrão (m <sup>2</sup> /ha)	±3,62	±4,05	±4,03	±4,23
Erro padrão (m <sup>2</sup> /ha)	±0,57	±0,64	±0,74	±0,71
Coefficiente de variação (m <sup>2</sup> /ha)	10,98	11,27	11,59	11,84
Erro de amostragem relativo (m <sup>2</sup> /ha)	±3,51	±3,61	±4,28	±4,01
Intervalo de confiança (m <sup>2</sup> /ha)	±1,16	±1,29	±1,49	±1,43
Intensidade amostral	40	40	10	10

Na estimativa da área basal, o menor erro de amostragem foi para o método de amostragem por ponto de Bitterlich (PB), seguido do método de área fixa com parcela Circular (PC), do de área fixa com conglomerado em Linha (CL) e, por último, do método de área fixa com conglomerado em Cruz (CC). LOETSCH *et al.* (1973) observam que, no método PB, devido à probabilidade de a amostragem ser proporcional à área basal das árvores, a área basal por hectare é mais bem estimada que em métodos de área fixa. Neste caso em particular, isto não ocorreu.

A melhor estimativa foi pelo método PC. NAKAJIMA *et al.* (1995, 1996) obtiveram para as condições das Florestas Experimentais de Shiragadake (Floresta Mista) Japão, o método Bitterlich, seguido do método de área fixa com parcela Circular Concêntrica, Strand e de área fixa com parcela Circular. Para as condições dos reflorestamentos da Floresta Experimental de Takakuma, os resultados foram: parcela Circular Concêntrica, parcela Circular ou Bitterlich e Strand.

Nos Gráficos 40, 41 e 42, são mostrados os resultados da área basal por hectare em seus respectivos métodos de amostragem e suas repetições.

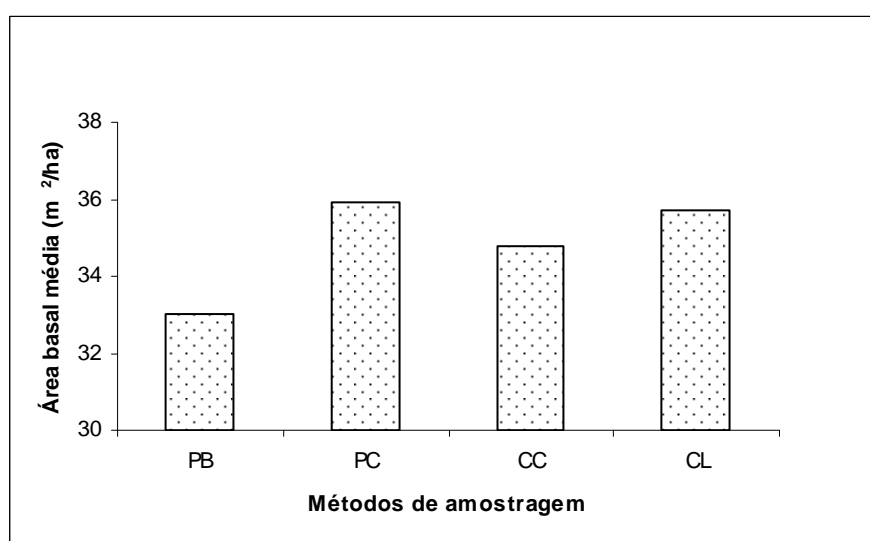


GRÁFICO 40 - ESTIMATIVA DA ÁREA BASAL EM SEUS RESPECTIVOS MÉTODOS - CONDIÇÃO 3

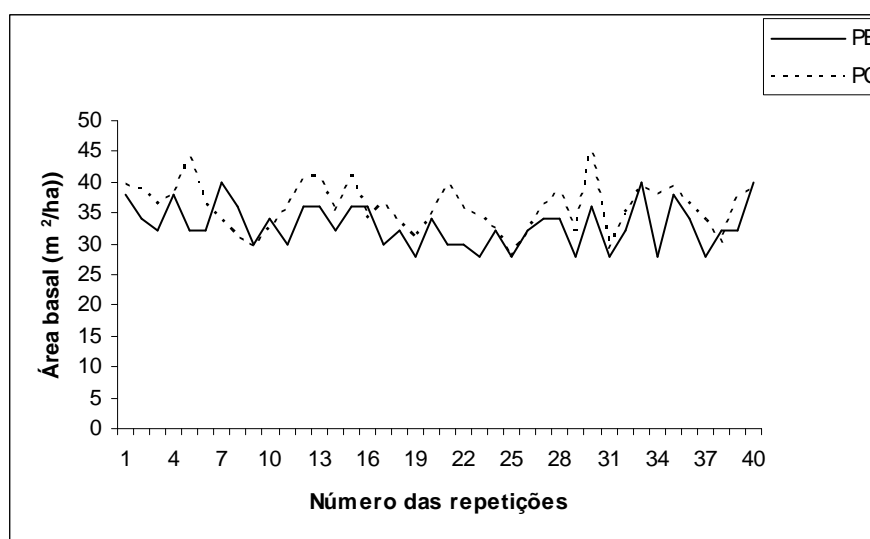


GRÁFICO 41 - ESTIMATIVA DA ÁREA BASAL EM CADA REPETIÇÃO NOS MÉTODOS PB E DE ÁREA FIXA COM PC - CONDIÇÃO 3



GRÁFICO 42 - ESTIMATIVA DA ÁREA BASAL EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO DE ÁREA FIXA COM CC E CL - CONDIÇÃO 3

#### 4.3.3.3.4 Análise estatística da estimativa de volume

Com base nos dados coletados e estimados, fez-se a análise estatística da variável volume, apresentada na Tabela 35.

TABELA 35 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE VOLUME - CONDIÇÃO 3

Métodos	PB	PC	CC	CL
Volume médio (m <sup>3</sup> /ha)	176,44	192,56	185,88	191,17
Desvio padrão (m <sup>3</sup> /ha)	±19,26	±23,05	±22,23	±23,61
Erro padrão (m <sup>3</sup> /ha)	±3,05	±3,64	±4,20	±4,04
Coeficiente de variação (m <sup>3</sup> /ha)	10,92	11,97	11,96	12,35
Erro de amostragem relativo (m <sup>3</sup> /ha)	<b>±3,49</b>	±3,83	±4,57	±4,28
Intervalo de confiança (m <sup>3</sup> /ha)	±6,16	±7,37	±8,50	±8,17
Intensidade amostral	40	40	10	10

Na estimativa do volume, o menor erro de amostragem foi para o método por ponto de Bitterlich (PB), seguido do método de área fixa com parcela Circular (PC), do de área fixa com conglomerado em Linha (CL), e do método de área fixa com conglomerado em Cruz (CC). NAKAJIMA *et al.* (1995, 1996) obtiveram para as condições das Florestas Experimentais de Shiragadake (Floresta Mista), Japão, o método por ponto de Bitterlich, seguido do método de área fixa com parcela Circular Concêntrica, de Strand e método de área fixa com parcela Circular. Para as condições dos reflorestamentos da Floresta Experimental de Takakuma, os

resultados foram: método de área fixa com parcela Circular Concêntrica, de área fixa com parcela Circular ou Bitterlich e de Strand. YOSHIDA (1991), citado por NAKAJIMA (1997), também em reflorestamentos de Cedro japonês, obteve na estimativa de volume por hectare, os seguintes resultados: método de Strand, de área fixa com parcela Circular, Bitterlich e de área fixa com parcela Circular Concêntrica. MAHRER e VOLLENWEIDER (1983), em reflorestamentos da Suíça, obtiveram as seguintes classificações: método de área fixa com parcela Circular Concêntrica, de Strand, Bitterlich e de área fixa com parcela Circular.

Nos Gráficos 43, 44 e 45, são mostrados os resultados do volume por hectare em seus respectivos métodos de amostragem e suas repetições.

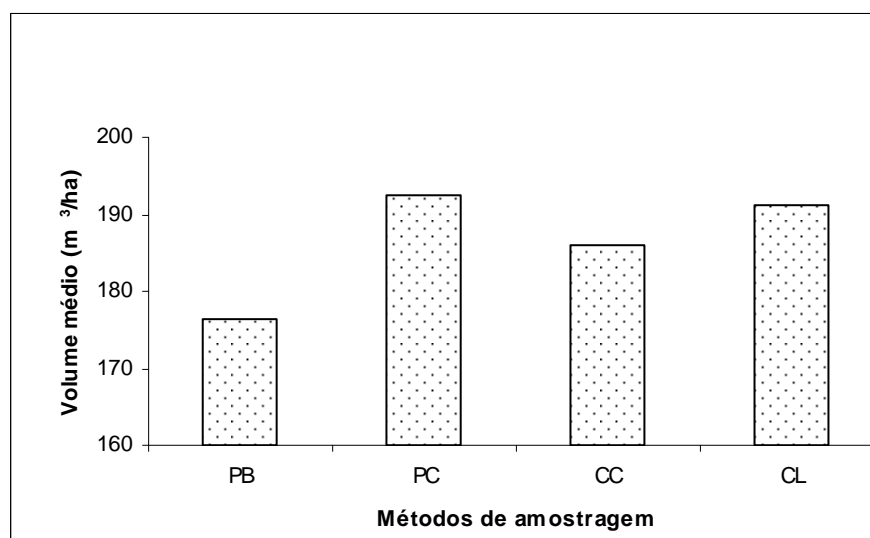


GRÁFICO 43 - ESTIMATIVA DO VOLUME EM SEUS RESPECTIVOS MÉTODOS – CONDIÇÃO 3



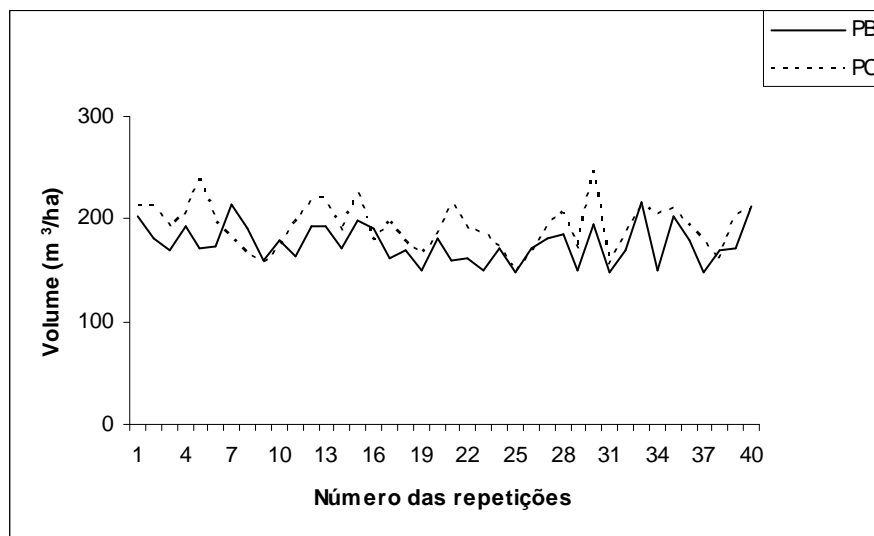


GRÁFICO 44 - ESTIMATIVA DO VOLUME EM CADA REPETIÇÃO NOS MÉTODOS PB E DE ÁREA FIXA COM PC - CONDIÇÃO 3

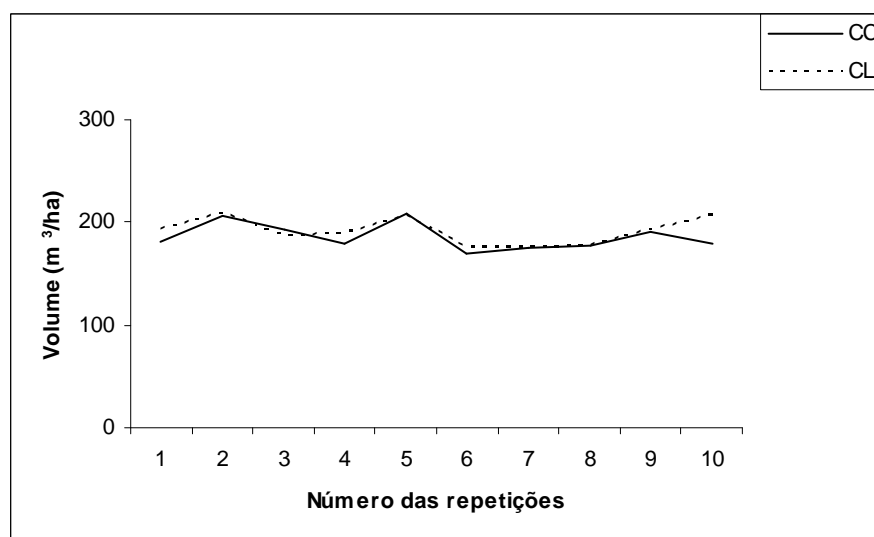


GRÁFICO 45 - ESTIMATIVA DO VOLUME EM CADA REPETIÇÃO NO MÉTODO DE ÁREA FIXA COM CC E CL - CONDIÇÃO 3

4.3.3.4 Teste t de Student para as estimativas DAP médio, número de árvores, área basal e volume.

Segundo BANZATTO e KRONKA (1992, p. 37), este teste serve para confrontar médias ou grupos de médias empregando contrastes de médias.

A Tabela 36 mostra os resultados do Teste t de Student, entre os métodos e as variáveis analisadas.

TABELA 36 – TESTE T DE STUDENT PARA AS ESTIMATIVAS DAS VARIÁVEIS – CONDIÇÃO 3

Método	PB vs. PC	PB vs. CC	PB vs. CL	PC vs. CC	PC vs. CL	CC vs. CL
DAP médio	0,50ns	0,32ns	0,33ns	0,64ns	0,01ns	0,52ns
N/ha	2,19*	1,16ns	1,57ns	0,20ns	0,12ns	0,24ns
G/ha	3,38**	1,26ns	1,87ns	0,80ns	0,12ns	0,52ns
V/ha	3,39**	1,23ns	1,83ns	0,84ns	0,17ns	0,52ns

\*\* - significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0.01$ );

\* - significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0.01 \leq p < 0.05$ );

ns - não significativo ( $p \geq 0.05$ );

vs. - versus

Para a variável estimada DAP médio, o Teste t de Student revelou que não existem diferenças significativas entre o método PB e os de área fixa com PC, com CC e com CL.

Para a variável estimada número de árvores, o Teste t de Student revelou que existe diferença ao nível de 5% de probabilidade apenas entre o método PB vs. PC.

Para a variável estimada área basal, o Teste t de Student revelou que existe diferença significativa entre o método PB vs. PC ao nível de 1% de probabilidade.

Para a variável estimada volume, o Teste t de Student revelou que existe diferença significativa entre o método PB vs. PC ao nível de 1% de probabilidade.

#### 4.3.3.5 Classificação dos métodos

A classificação dos métodos de amostragem na precisão das estimativas das variáveis é apresentada na Tabela 37.

TABELA 37 - CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS COM BASE NO ERRO DE AMOSTRAGEM - CONDIÇÃO 3

Classificação	1º Lugar	2º Lugar	3º Lugar	4º Lugar
DAP médio (cm)	PC	PB	CL	CC
Número de árvores/ha	PC	CL	CC	PB
Área Basal/ha	PB	PC	CL	CC
Volume/ha	PB	PC	CL	CC

Com base no erro de amostragem dos métodos testados, estabeleceu-se a seguinte ordem de classificação:

- Para a estimativa do DAP médio, a maior precisão foi para o método de área fixa com parcela Circular (PC), seguido do método por ponto de Bitterlich (PB), do de

área fixa com conglomerado em Linha (CL) e, por último, do método de área fixa com conglomerado em Cruz (CC).

- Para a estimativa do número de árvores por hectare, a maior precisão foi para o método de área fixa com parcela Circular (PC), seguido do método de área fixa com conglomerado em Linha, do de área fixa com conglomerado em Cruz (CC) e, por último, do método por ponto de Bitterlich (PB).
- Para a estimativa da área basal e volume, por hectare, a maior precisão foi para o método por ponto de Bitterlich (PB), seguido do método de área fixa com parcela Circular (PC), do de área fixa com conglomerado em Linha (CL) e, por último, do método de área fixa com conglomerado em Cruz (CC).

#### 4.3.3.6 Análise da eficiência relativa comparada

A análise da eficiência relativa teve como objetivo comparar os métodos simultaneamente através do inverso dos produtos dos quadrados dos coeficientes de variação pelos respectivos tempos. A Tabela 38 apresenta a eficiência relativa para as estimativas das variáveis, sendo que o método que apresentou o maior valor entre os inversos foi o mais eficiente.

TABELA 38 - EFICIÊNCIA RELATIVA COMPARADA - CONDIÇÃO 3

Método	Tempo (min)	DAP (cm)		Árvores/ha		Área basal (m <sup>2</sup> /ha)		Volume (m <sup>3</sup> /ha)	
		cv%	ER	cv%	ER	cv%	ER	cv%	ER
PB	71,58	5,96	3,94	15,92	0,55	10,98	<b>1,16</b>	10,92	<b>1,17</b>
PC	69,40	5,65	<b>4,51</b>	5,75	<b>4,36</b>	11,27	1,13	11,97	1,01
CC	111,60	5,91	2,57	10,99	0,74	11,59	0,67	11,96	0,63
CL	115,60	5,51	2,85	9,30	1,00	11,84	0,62	12,35	0,57

Com base no coeficiente de variação e tempo total de cada método, a eficiência relativa foi a seguinte:

- Na estimativa do DAP médio, o método de área fixa com parcela Circular (PC) foi o mais eficiente, seguido do método por ponto de Bitterlich (PB), do de área fixa com conglomerado em Linha (CL) e do de área fixa com conglomerado em Cruz (CC).
- Na estimativa do número de árvores por hectare, o método de área fixa com parcela Circular (PC) foi o mais eficiente, seguido do de área fixa com

conglomerado em Linha (CL), do de área fixa com conglomerado em Cruz (CC) e, por último, do método por ponto de Bitterlich (PB). MOSCOVICH, BRENA e LONGHI (1999, p.189), em trabalho realizado em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (município de São Francisco de Paula – RS), encontraram as seguintes eficiências relativas: método de Strand, seguido do método de Prodan, Área Fixa e Bitterlich.

- Na estimativa da área basal e volume, por hectare, o método por ponto de Bitterlich (PB) foi o mais eficiente, seguido do método de área fixa com parcela Circular (PC), do de área fixa com conglomerado em Cruz (CC) e, por último, do método de área fixa com conglomerado em Linha (CL). MOSCOVICH, BRENA e LONGHI (1999, p.189), em trabalho realizado em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (município de São Francisco de Paula – RS), acharam as seguintes eficiências relativas: método de Strand, seguido do método de Bitterlich, Prodan e Área Fixa. Já CESARO *et al.* (1994, p. 107), na estimativa de volume por hectare em povoamento de *Pinus* sp., constataram maior eficiência para o método de Área Fixa, seguido do método de Bitterlich e do de Seis Árvores.

#### 4.4 COMPARAÇÃO SIMULTÂNEA DAS TRÊS CONDIÇÕES ATRAVÉS DO DELINEAMENTO EM BLOCOS AO ACASO

Para esta análise, o delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, uma vez que a topografia foi um diferencial, onde cada condição foi considerada como um bloco. Em todas as condições, foram verificadas a homocedasticidade ou homogeneidade de variância, seguida de uma análise de variância (ANOVA) e, por fim, caso necessário, o teste de contraste de médias de Tukey. Todas as análises foram efetuadas ao nível de 5% de probabilidade.

Para estas análises, utilizou-se o software ASSISTAT, versão 7.5 Beta (ASSISTAT, 2008).

#### 4.4.1 Teste de Tukey para o erro de amostragem e eficiência relativa na estimativa de DAP médio, considerando as três condições simultaneamente

As variâncias dos erros de amostragem e eficiência relativa foram homogêneas ao nível de 5% de probabilidade através do Teste de Bartlett.

A análise de variância mostrou que existem diferenças significativas entre pelo menos uma das médias dos tratamentos, tanto para o erro de amostragem, quanto para a eficiência relativa e, sendo assim, para saber quais médias diferem entre si, foi realizado o Teste de Tukey (Tabela 39).

TABELA 39 – TESTE DE TUKEY PARA O ERRO DE AMOSTRAGEM E EFICIÊNCIA RELATIVA NA ESTIMATIVA DE DAP MÉDIO PARA AS TRÊS CONDIÇÕES SIMULTANEAMENTE

Método	Erro de amostragem	Método	Eficiência Relativa
PB	2.33667 bc	PB	2.57000 a b
PC	<b>1.81000</b> c	PC	<b>4.02333</b> a
CC	3.05667 a	CC	2.42667 b
CL	2.45333 ab	CL	2.69000 a b
DMS = 0.61677		DMS = 1.55711	
MG = 2.41417	CV% = 9.03065	MG = 2.92750	CV% = 18.80124

MG = Média geral

CV% = Coeficiente de variação em %

DMS = Diferença mínima significativa

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Para o erro de amostragem, em relação a estimativa do DAP médio, o Teste de Tukey demonstrou que entre o CC e o CL não há diferença estatística, sendo o CC diferente do PB e PC. Já entre o CL e PB e entre PB e o PC não há diferença estatística, mas existe diferença entre PC e CL.

Esta análise confirma o PC como o método mais preciso e mais indicado para a estimativa do DAP médio, conforme verificado quando as condições foram analisadas em separado.

Para a eficiência relativa, conforme o Teste de Tukey, os únicos que diferem entre si são o PC e o CC, sendo o PC o método mais eficiente para a estimativa do DAP médio. Este resultado vem confirmar o que foi verificado quando as condições foram analisadas em separado e o PC foi o método mais eficiente.

#### 4.4.2 Teste de Tukey para o erro de amostragem e eficiência relativa na estimativa de número de árvores, considerando as três condições simultaneamente

As variâncias dos erros de amostragem e eficiência relativa foram homogêneas ao nível de 5% de probabilidade segundo o Teste de Bartlett.

A análise de variância mostrou que existem diferenças significativas para as médias dos tratamentos, tanto para o erro de amostragem, quanto para a eficiência relativa e, assim, para saber quais médias diferem entre si, foi realizado o Teste de Tukey (Tabela 40).

TABELA 40 – TESTE DE TUKEY PARA O ERRO DE AMOSTRAGEM E EFICIÊNCIA RELATIVA NA ESTIMATIVA DE NÚMERO DE ÁRVORES PARA AS TRÊS CONDIÇÕES SIMULTANEAMENTE

Método	Erro de amostragem	Método	Eficiência relativa
PB	5.46667 a	PB	0.44333 b
PC	<b>2.20000</b> c	PC	<b>1.03750</b> a
CC	3.69333 b	CC	0.92333 b
CL	2.93000 bc	CL	0.97667 b
	DMS = 0.93239		DMS = 1.83276
MG = 3.57250	CV% = 13.04683	MG = 1.32917	CV% = 48.74051

MG = Média geral

CV% = Coeficiente de variação em %

DMS = Diferença mínima significativa

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Para o erro de amostragem na estimativa do número de árvores, verifica-se que o PB difere estatisticamente dos demais, sendo que o CC e o CL não diferem entre si, o mesmo ocorrendo com CL e PC.

Este resultado confirma o PC como o método mais preciso na estimativa de número de árvores, já que, como verificado quando as condições foram analisadas em separado, apesar de o PC e o CL apresentem basicamente, a mesma precisão, nas três condições, quando analisadas em separado.

Para a eficiência relativa, verifica-se que o PC difere estatisticamente dos demais métodos, sendo o mais eficiente para a estimativa de número de árvores. O PC foi também mais eficiente para a estimativa de número de árvores nas três condições, quando analisadas em separado.

Segundo NAKAJIMA (1997), pelo fato de no método de área fixa a probabilidade de amostragem das árvores ser proporcional à frequência, na

estimativa da variável número de árvores esse método tende a ser superior ao método de área variável, conforme também constatado nesta pesquisa.

#### 4.4.3 Teste de Tukey para o erro de amostragem e eficiência relativa na estimativa de área basal, considerando as três condições simultaneamente

As variâncias dos erros de amostragem e eficiência relativa foram homogêneas ao nível de 5% de probabilidade segundo o Teste de Bartlett.

A análise de variância para o erro de amostragem na estimativa de área basal, mostrou que não há diferenças estatísticas entre as médias dos tratamentos não se necessitando realizar o Teste de Tukey. O PB é o método mais preciso na estimativa de área basal, conforme o erro de amostragem apresentado na tabela 41, confirmando-se a tendência de ser o método mais preciso como foi evidenciado quando as três condições foram analisadas em separado.

A análise de variância da eficiência relativa para a estimativa de área basal mostrou que existem diferenças estatísticas entre pelo menos uma das médias dos tratamentos e, para verificar quais médias diferem entre si, foi realizado o Teste de Tukey (Tabela 41).

TABELA 41 – TESTE DE TUKEY PARA A EFICIÊNCIA RELATIVA NA ESTIMATIVA DE ÁREA BASAL PARA AS TRÊS CONDIÇÕES SIMULTANEAMENTE

Método	Erro de amostragem	Método	Eficiência relativa
PB	<b>3.20000</b>	PB	<b>1.31000 a</b>
PC	3.56000	PC	1.04333 ab
CC	5.26333	CC	0.6133 b
CL	4.38000	CL	0.75000 ab
-		DMS = 0.67177	
-		MG = 0.92917	CV% = 25.55597

MG = Média geral

CV% = Coeficiente de variação em %

DMS = Diferença mínima significativa

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O teste revelou que apenas o PB e a PC diferem estatisticamente entre si e confirmando a tendência apresentada pelo PB, quando analisadas as três condições separadamente, de ser o método mais eficiente para a estimativa de área basal.

Segundo NAKAJIMA (1997), pelo fato de no método de ponto de Bitterlich a probabilidade de amostragem das árvores ser proporcional à área basal, na

estimativa desta variável este método tende a ser superior ao método de área fixa, conforme também constatado nesta pesquisa.

#### 4.4.4 Teste de Tukey para o erro de amostragem e eficiência relativa na estimativa de volume, considerando as três condições simultaneamente

As variâncias dos erros de amostragem e eficiência relativa foram homogêneas ao nível de 5% de probabilidade segundo o Teste de Bartlett.

A análise de variância para o erro de amostragem na estimativa de volume, mostrou que não existem diferenças estatísticas, não se necessitando realizar o Teste de Tukey. O PB é o método mais preciso na estimativa de volume, conforme o erro de amostragem, apresentado na Tabela 42, confirmando-se a tendência de ser o método mais preciso, conforme evidenciado quando as três condições foram analisadas em separado.

A análise de variância da eficiência relativa para a estimativa de volume, mostrou que existem diferenças estatísticas entre as médias dos tratamentos e, para verificar quais médias diferem entre si, foi realizado o Teste de Tukey (Tabela 42).

TABELA 42 – TESTE DE TUKEY PARA A EFICIÊNCIA RELATIVA NA ESTIMATIVA DE VOLUME PARA AS TRÊS CONDIÇÕES SIMULTANEAMENTE

Método	Erro de amostragem	Método	Eficiência relativa
PB	<b>3.41333</b>	PB	<b>1.17667 a</b>
PC	3.96667	PC	0.84333 ab
CC	6.02000	CC	0.52000 b
CL	5.09667	CL	0.63667 ab
-	-	DMS = 0.59632	
-	-	MG = 0.79417	CV% = 26.54173

MG = Média geral

CV% = Coeficiente de variação em %

DMS = Diferença mínima significativa

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O teste revelou que apenas o PB e o PC diferem estatisticamente entre si e confirmou-se a tendência que o PB apresentou, quando analisadas as três condições separadamente, de ser o método mais eficiente para a estimativa de volume.



Para NAKAJIMA (1997), o método PB foi o que apresentou o menor erro de amostragem na estimativa da variável volume, também confirmado nesta pesquisa.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Considerando os resultados analisados simultaneamente para as três condições estudadas pode-se concluir que:

- Para a estimativa de DAP médio, o método de área fixa com parcela Circular (PC) como o mais preciso e eficiente. O segundo método mais preciso foi o de Bitterlich (PB) e o segundo mais eficiente foi o de área fixa com conglomerado em Linha (CL), sendo que não há diferenças significativas entre os métodos, tanto para o erro de amostragem, quanto para a eficiência relativa.
- Para a estimativa de número de árvores, o método de área fixa com parcela Circular (PC) como o mais preciso e eficiente. O segundo método mais preciso e eficiente foi o de área fixa com conglomerado em Linha (CL), sendo que há diferença significativa entre o método de área fixa com parcela Circular (PC) e o de área fixa com conglomerado em Linha (CL) apenas em relação à eficiência relativa.
- Para a estimativa de área basal, o método de Bitterlich (PB) foi o mais preciso e eficiente. O segundo método mais preciso e eficiente foi o de área fixa com parcela Circular (PC), sendo que não há diferença estatisticamente significativa entre eles, tanto para o erro de amostragem, quanto para a eficiência relativa.
- Para a estimativa de volume, o método por ponto de Bitterlich (PB) foi o mais preciso e eficiente. O segundo método mais preciso e eficiente foi o de área fixa com parcela Circular (PC), sendo que não há diferença estatisticamente significativa entre eles, tanto para o erro de amostragem, quanto para a eficiência relativa.

Apesar de não serem métodos tradicionalmente usados em plantios, os dois métodos de conglomerados utilizados neste estudo se mostraram precisos e eficientes, sendo o conglomerado em Linha (CL) um pouco superior.

A medição dos conglomerados utilizados nesta pesquisa, por concentrarem quatro subunidades em um mesmo ponto para formar uma unidade amostral, foi mais rápida em relação ao método de Bitterlich e ao de área fixa com parcela Circular, já que nestes dois últimos se têm quatro vezes mais pontos para

deslocamento. Isto significa mais tempo de caminamento entre as parcelas e, conseqüentemente, maior tempo para fazer a amostragem, influenciando o custo final do inventário.

Os resultados obtidos demonstraram que é interessante realizar mais pesquisas sobre o método de área fixa com conglomerado em Cruz e em Linha, tanto no que diz respeito a melhores configurações e formas de subunidades a serem usadas, como também quanto ao número ideal de subunidades e à distância entre elas.

Recomenda-se a utilização do método de Bitterlich em situações em que o volume é a variável de maior importância, já que os resultados mostraram ser este um método preciso para estimativa direta desta mesma variável. É um método rápido por não haver necessidade de mensurar os diâmetros das árvores. Um exemplo de utilização deste método de amostragem seria em inventários de estoques ou pré-corte para plantações florestais.

Recomenda-se a utilização da parcela Circular, conglomerado em Cruz ou em Linha em inventários florestais contínuos e momentâneos, já que os resultados foram precisos. Tanto a parcela Circular e principalmente os conglomerados não são utilizados com a finalidade de monitorar o desenvolvimento da floresta, mas, por serem métodos de área fixa, têm alta correlação entre medições seqüenciais. Sendo assim, podem ser usados com sucesso.

## REFERÊNCIAS

ARA, A. B.; MUSETTI, A. V.; SCHNEIDERMAN, B. **Introdução à estatística**. 1 ed. São Paulo: Instituto Mauá de Tecnologia, 2003. 152 p.

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

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal, FUNEP, 1992. 247 p.

BARROS, D. A. **Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes idades e regimes de manejo**. 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

BARTOSZECK, A. C. P. S. **Evolução da relação hipsométrica e da distribuição diamétrica em função dos fatores idade, sítio e densidade inicial em bracingais da região metropolitana de Curitiba**. 214 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

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.

BONNOR, G. M. A test of 3-P sampling in forest inventories. **Forest Science**, v. 18, n. 3, p. 198-202, 1972.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 2ª ed. Viçosa: UFV, 2006, 470 p.

CASTILLO, S. J. **Ensayo para determinar la eficiencia comparativa de sítios de muestreo em bosques de clima templado e frio**. México, 1964.

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.

FARIAS, C. A.; SOARES, C. P. B.; SOUZA, A. L.; L. H. G. Comparação de métodos de amostragem para análise estrutural de florestas inequidâneas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 5, p. 541-548, 2002.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM CEPEF/FATEC, 1993, 263 p.

FREESE, F. **Elementary forest sampling**. Washington U.S. Forest Service, 1962, 91 p.

GOMES, F. P. C. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba, 1973, 430 p.

HUSCH, B. **Forest mensuration and statistics**. New York, Ronald Press, 1963, 474 p.

HUSCH, B. **Planning a forest inventory**. Roma, FAO, 1971, 120 p.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. New York, John Wiley e Sons, 1982, 402 p.

LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory**. 2<sup>a</sup> ed. Munich: BLV Verlagsgesellschaft, 1973, 469 p.

MACHADO, S. A.; BARBOSA DA CONCEIÇÃO, M.; FIGUEIREDO, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Revista Ciência Exatas e Naturais**, v. 4, n. 2, p. 186-197, jul./dez. 2002.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba, 2003, 309 p.

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

MARTINS, G. A. **Estatística geral e aplicada**. 3<sup>a</sup> ed. São Paulo: Atlas 2006, 421 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**, 49(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.** v. 77, n. 6, p. 573-580, 1995.

NAKAJIMA, N. Y.; YOSHIDA, S.; IMANAGA, M. Comparison of the accuracies of four ground-survey methods used for estimating forest stand values on two occasions. **J. For. Plann.** v. 2, n. 2, p. 137-144, 1996.

NAKAJIMA, N. Y.; YOSHIDA, S.; IMANAGA, M. Comparison of change estimation between four ground-survey methods for use in a continuous forest inventory system. **J. For. Plann.** v. 2, n. 2, p. 145-150, 1996.

NAKAJIMA, N. Y. **Comparison of four ground-survey methods when used as permanent samples in the continuous forest inventory for forest management.** Kagoshima University. The United Graduate School of Agricultural Sciences, 1997, 91 p.

OGAYA, N. **Sobre a influência del tamaño de las parcelas em los errores de muestreo em inventário florestales tropicales.** Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Centro de Estudios Forestales de Pós-grado, 1977, 153 p.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. **Inventário florestal.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1997, 316 p.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura forestal.** San José, Costa Rica : IICA, 1997, 586 p.

QUEIROZ, W. T. Efeitos da variação estrutural em unidades amostrais na aplicação do processo de amostragem em conglomerados nas florestas do planalto do Tapajós. **Revista Floresta**, v. 8, n.1, 1977.

QUEIROZ, W. T. **Técnicas de amostragem em inventário florestal nos trópicos.** Belém, 1998, 147 p.

RAMER, H.; AKÇA, A. **Leitfaden für Dendrometrie und Bestandesinventur**. Frankfurt, a. M.: Sauerland, 1982, 251 p.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; DALLA CÔRTE, A.; FERNANDES, L. A. V. **Inventários florestais: planejamento e execução**. Curitiba, 2006, 271 p.

SANT' ANA JUNIOR, M.; RAYZEL, T. A.; WANZUITA, M. C. M. Indústria consumidora de pinus no Brasil. **REVISTA DA MADEIRA**, Curitiba, n. 83, p. 10-12, ago. 2004.

SILVA, L. B. X. **Tamanhos e formas de unidades de amostra em amostragem aleatória e sistemática para florestas plantadas de *Eucalyptus alba* Rewien**. 141 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1977.

SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. **Economia Florestal**. Viçosa: UFV, 2002, 178 p.

SPARKS, J.; MASTERS, R.; PAYTON, M. Comparative evaluation of accuracy and efficiency of six forest sampling methods. **Proc. Okla. Acad. Sci**, v. 82, p.49-56, 2002.

SPURR, S. H. **Forest inventory**. New York, Ronald Press Co., 1955, 479 p.

SPURR, S. H. **Forest inventory**. New York, Ronald Press Co., 1971, 476 p.

STERBA, H. **Holzmesselehre**. Wien: Inst. f. Forstl. Ertragslehre der Univ. f. Bodenkultur, 1986, 169 p.

TOMASELLI, I.; SIQUEIRA, J. D.P. Gestão fundiária inadequada: principal problema do setor florestal brasileiro. **STCP Informativo**, Curitiba, n. 9, p. 4-11, 2006.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE. **ASSISTAT**, versão 7.5 (beta). Campina Grande – PB, 2008, <http://www.assistat.com>.

VASQUEZ, A. G. **Método de amostragem em linhas: desenvolvimento e aplicação em uma floresta implantada com *Pinus taeda* L.** 129 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

VERUETTE, F. J.; PIMENTEL, B. L. **Muestreo comparativo entre sitios circulares y sitios de dimensiones variables**. México, 1964, p. 167-173.

YATES, F. R. S. **Sampling methods for censuses and surveys**. London: Lowe and Brydone, 1971, 195 p.

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, Japan, 1991.

ZEIDE, B. Plot size optimization. **Forest Science**, University of Arkansas, v. 26, n. 2, p. 251-257, 1980.