

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS CURITIBANOS

**MCHELE FERNANDA CARDOSO**

**COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE AMOSTRAGEM DE  
ÁREA FIXA E PRODAN EM UM POVOAMENTO DE *Pinus sp.*  
COM 45 ANOS.**

**Curitibanos  
2015**

MICHELE FERNANDA CARDOSO

**COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE AMOSTRAGEM DE  
ÁREA FIXA E PRODAN EM UM POVOAMENTO DE *Pinus sp.*  
COM 45 ANOS.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido ao Programa de Graduação  
em Engenharia Florestal da  
Universidade Federal de Santa  
Catarina Campus Curitibanos, para a  
obtenção do Grau de Bacharel em  
Engenharia Florestal em 2015.

Orientador: Prof. Dr. Mário  
Dobner Jr.

CURITIBANOS  
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Cardoso, Michele Fernanda  
COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE AMOSTRAGEM DE ÁREA FIXA E  
PRODAN EM UM POVOAMENTO DE PINUS sp. COM 45 ANOS. /  
Michele Fernanda Cardoso ; orientadora, Mário Dobner Jr.  
Curitiba, SC, 2015.  
63 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus  
Curitiba. Graduação em Engenharia Florestal.

Inclui referências

1. Engenharia Florestal. 2. Inventário florestal. 3.  
Métodos de amostragem. 4. Volume. I. Dobner Jr., Mário .  
II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em  
Engenharia Florestal. III. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Florestal**  
Rodovia Ulysses Góes, km3  
CP: 101 CEP: 89520-000 - Curitiba/SC  
TELEFONE (048) 3721-4170 E-mail: alexandre.siminski@ufsc.br

MICHELE FERNANDA CARDOSO

## **COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE AMOSTRAGEM DE ÁREA FIXA E PRODAN EM UM POVOAMENTO DE PINUS SP. COM 45 ANOS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Colegiado do Curso de ENGENHARIA FLORESTAL, do Campus Curitibanos da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador(a): Prof. Dr. Mário Dobner Jr.

Data da defesa: 2 de dezembro de 2015.

**MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:**

Presidente e Orientador: Prof. Dr. Mário Dobner Jr.  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Campus Universitário Curitibanos

Membro Titular: M. Sc. Ian Pereira Sartório  
Membro externo

Local: Universidade Federal de Santa Catarina  
Campus de Curitibanos

Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Florestal

## RESUMO

A busca por técnicas que permitam uma melhor avaliação qualitativa e quantitativa dos povoamentos florestais se torna cada vez mais necessária. Atualmente a técnica mais empregada na realização de inventários florestais é a amostragem por parcelas com área fixa. Entretanto, este método apresenta maiores custos e tempo de execução quando comparado com outras alternativas, como é o caso da amostragem por Prodan. Com este estudo objetivou-se comparar a eficiência entre os métodos de amostragem de Área Fixa e Prodan, avaliando a precisão na estimativa dos parâmetros quantitativos (número de árvores, área basal e volume comercial total por hectare). O estudo foi realizado em um povoamento de *Pinus sp.* com 45 anos de idade localizado no município de Curitiba, SC, com área de, aproximadamente, 13 hectares. Foram instaladas 13 parcelas para o método de área fixa e 47 parcelas para o método de Prodan. Foram estimadas as variáveis: altura por meio de relações hipsométricas, e obtidos diâmetros ao longo do fuste com equação de afilamento, polinômio de 5º grau, ajustada para o povoamento. As estimativas observadas para o intervalo de confiança de 95% demonstraram que o método de área fixa apresentou um volume comercial total de 766,0 m<sup>3</sup>/ha ( $\pm 64,2$  m<sup>3</sup>/ha) e um erro de amostragem de 18%. O método do Prodan resultou um volume comercial total de 606,1 m<sup>3</sup>/ha ( $\pm 33,8$  m<sup>3</sup>/ha) e um erro de amostragem de 11%. O método de Área Fixa apresentou uma eficiência relativa 0,87 enquanto o método de Prodan apresentou uma eficiência relativa de 0,70 na estimativa do volume comercial por hectare. Conclui-se que o método de Área Fixa foi mais eficiente, pois apresentou o menor coeficiente de variação entre as parcelas, apesar de dispendar maior tempo na execução do inventário, e o método de Prodan foi mais preciso, por ter apresentado os menores erros de amostragem para estimar as variáveis dendrométricas.

**Palavras-chave:** Inventário florestal, métodos de amostragem, volume.

## ABSTRACT

The search for techniques that allow a better qualitative and quantitative evaluation of the forest stands has become increasingly necessary. Nowadays, the most used technique in the realization of forest inventory is the sampling by plots with a fixed area however, this method presents higher costs and longer time of execution when compared to other alternatives, as it is the case of sampling by the Prodan Method. This study aimed to compare the efficiency of the Fixed Area Sampling Method to the Prodan Method evaluating the precision in the quantitative parameters estimate (number of trees, basal area and total commercial volume per hectare). The study was held in a stand of *Pinus sp.*, 45 years old, located in Curitibanos, SC, with an area of about 13 hectares. For the Fixed Area Method 13 plots were installed and 47 plots were installed for the Prodan Method. The variables were estimated: height by hypsometric relations, and the diameters along the stem were obtained with thinning equation, 5th degree polynomial, adjusted to the stand. The observed estimates for the 95% confidence interval showed that the Fixed Area Method presented a total commercial volume of 766.0 m<sup>3</sup>/ha ( $\pm$  64.2 m<sup>3</sup>/ha) and 18% sampling error. The Prodan Method resulted in a total commercial volume of 606.1 m<sup>3</sup>/ha ( $\pm$ 33.8 m<sup>3</sup>/ha) and 11% sampling error. The Fixed Area Method presented a 0.87 relative efficiency while the Prodan Method presented a 0.70 relative efficiency in the commercial volume estimate per hectare. It can be concluded that the Fixed Area Method was more efficient since it presented lower variation coefficient between the stands despite of taking more time in the execution of the inventory, and the Prodan Method was more precise since it presented the sampling smallest errors to estimate the dendrometric variables.

**Key words:** Forest inventory, sampling methods, volume.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	7
1.1 OBJETIVOS .....	8
<b>1.1.1 Objetivo geral</b> .....	8
<b>1.1.2 Objetivos específicos</b> .....	8
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	9
2.1 INVENTÁRIO FLORESTAL.....	9
<b>2.1.1 Importância do inventário florestal</b> .....	9
2.2 AMOSTRAGEM .....	10
2.3 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM.....	10
<b>2.3.1 Método de área fixa</b> .....	11
2.3.1.1 Tamanho e forma das unidades amostrais.....	12
<b>2.3.2 Método de Prodan</b> .....	13
2.4 PROCESSOS DE AMOSTRAGEM.....	14
<b>2.4.1 Amostragem sistemática em único estágio</b> .....	14
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	16
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	16
<b>3.1.1 Localização e acesso</b> .....	16
<b>3.1.2. Solos</b> .....	17
<b>3.1.3. Clima e altitude</b> .....	17
3.2 COLETA DOS DADOS .....	18
<b>3.2.1 Inventário florestal</b> .....	18
3.2.1.1 Área fixa.....	18
3.2.1.2 Prodan .....	19
<b>3.2.2 Número de unidades amostrais</b> .....	21
<b>3.2.3 Medição das unidades amostrais</b> .....	21

3.3 CUBAGEM.....	23
<b>3.3.1 Cubagem não destrutiva.....</b>	<b>23</b>
3.4 ANÁLISE DOS DADOS.....	25
<b>3.4.1 Área fixa.....</b>	<b>25</b>
3.4.1.1 Fator de proporcionalidade .....	25
3.4.1.3 Área transversal.....	26
3.4.1.4 Área basal por hectare .....	26
<b>3.4.2 Prodan.....</b>	<b>26</b>
3.4.2.1 Estimativa do número de árvores por hectare .....	26
3.4.2.2 Estimativa área basal por hectare.....	27
3.4.3 Determinação da altura .....	27
3.4.3.1 Relação hipsométrica .....	27
3.4.4 Determinação do volume por hectare .....	28
3.4.4.1 Funções de afilamento .....	28
3.5 EFICIÊNCIA RELATIVA DOS MÉTODOS .....	29
<b>3.5.1 Cálculo da eficiência relativa .....</b>	<b>29</b>
3.6 ESTÁTISTICAS DO INVENTÁRIO FLORESTAL .....	29
<b>3.6.1 Variância.....</b>	<b>29</b>
<b>3.6.2 Variância da média .....</b>	<b>30</b>
<b>3.6.3 Erro padrão .....</b>	<b>30</b>
<b>3.6.4 Erro de amostragem .....</b>	<b>30</b>
3.7 PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	31
3.8 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO E ESCOLHA DOS MODELOS .	31
<b>3.8.1 Erro padrão da estimativa .....</b>	<b>31</b>
<b>3.8.2 Coeficiente de determinação .....</b>	<b>32</b>
<b>3.8.3 Valor de F .....</b>	<b>33</b>

<b>3.8.4 Distribuição gráfica dos resíduos</b> .....	34
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	35
4.1 AJUSTE DA EQUAÇÃO HIPSOMÉTRICA.....	35
<b>4.1.1 Método área fixa</b> .....	35
<b>4.2.2 Método de Prodan</b> .....	38
4.2 AJUSTE DA FUNÇÃO DE AFILAMENTO .....	41
4.3 DETERMINAÇÃO DO VOLUME .....	45
4.4 NÚMERO DE ÁRVORES.....	49
4.5 DETERMINAÇÃO DA ÁREA BASAL .....	51
4.6 EFICIÊNCIA RELATIVA.....	54
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	57
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	58



## 1 INTRODUÇÃO

O Inventário Florestal é a principal ferramenta para o planejamento do uso dos recursos florestais. Com as informações obtidas em um inventário florestal é possível elaborar um plano de manejo que permita o uso múltiplo da floresta, o desenvolvimento de subprodutos florestais, além de caracterizar uma determinada área e conhecer quantitativamente e qualitativamente as espécies que a compõe (SOARES et al., 2011).

Inventários Florestais permitem mensurar o potencial produtivo da floresta, mapear fatores bióticos e abióticos que influenciam a produção, determinar os custos de produção no caso de florestas plantadas e definir estratégias de manejo para obter uma produção sustentada (MORAIS FILHO et al., 2003).

Para a realização de um inventário florestal, é necessário que se faça a abordagem da população através dos métodos de amostragem. Esta abordagem pode ser feita através dos métodos de: área fixa ou variável (Bitterlich, de Strand, de Prodan, de 3-P), quadrantes, entre outros, com vantagens e desvantagens dependendo das características da população a ser amostrada (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

Entre os métodos citados, o método de área fixa é o mais utilizado em inventários florestais. A maioria das empresas optam por esse método devido à sua simplicidade e aplicação em Inventário Florestal Contínuo (IFC). Já o método de Prodan é pouco utilizado em inventários florestais, principalmente devido ao desconhecimento de seu potencial de uso (SANQUETTA et al., 2006).

A escolha do método depende da acurácia que se deseja obter nas estimativas. Deve-se levar em consideração que a obtenção destas estimativas apresentam custos que aumentam com o grau de detalhamento, precisão requerida, eficiência da forma como as variáveis são obtidas, entre outras informações. Em qualquer aplicação de amostragem, a precisão e o custo são duas variáveis intimamente interligadas, e a especificação de uma implica automaticamente a determinação da outra (PÉLLICO NETO; BRENA, 1997).

Em estudos em plantios de *Pinus caribaea*, na Venezuela, Maurício et al. (2005), concluíram que o método de inventário com parcela de área fixa é mais preciso que o de área variável, principalmente quanto à estimativa do 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 do inventário.

Gomes et al. (2011) realizaram um estudo em um povoamento de *Eucalyptus sp.* comparando os métodos de amostragem de Prodan e Bitterlich quanto à eficiência no inventário florestal, observaram que os métodos avaliados apresentaram mesma eficiência para estimativa do volume. Além disso o método de Prodan foi mais exato e apresentou melhor recobrimento de área.

O objetivo do presente trabalho foi a comparar a precisão das estimativas e a eficiência relativa dos métodos Área Fixa e Prodan, na quantificação de um povoamento de *Pinus sp.*

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Comparar os métodos de amostragem Área Fixa e Prodan em um plantio de *Pinus sp.* quanto a precisão das estimativas e a eficiência amostral.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Avaliar a precisão das estimativas obtidas entre os dois métodos: Área fixa e Prodan.

Comparar a eficiência relativa amostral em relação ao tempo, e intensidade amostral necessária entre os métodos.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 INVENTÁRIO FLORESTAL**

O inventário florestal é o instrumento básico utilizado para avaliar estatisticamente as reais potencialidades e capacidades produtivas dos recursos florestais de determinada área. Através do inventário podemos (CUNHA, 2004):

- a) Determinar o potencial produtivo da floresta;
- b) Mapear fatores bióticos e abióticos que influenciam a produção da floresta;
- c) Determinar os custos de produção no caso de florestas plantadas;
- d) Definir estratégias de manejo para obter uma produção auto suficiente.

Segundo Meunier (2001), as informações provenientes do inventário constituem um importante instrumento para a tomada de decisões, podendo auxiliar na definição de diretrizes da política florestal, organização da administração florestal, preparação de planos de corte e de manejo e estudos de impactos ambientais.

#### **2.1.1 Importância do inventário florestal**

O nível de desenvolvimento de uma nação é medido pela forma com que os recursos naturais colocados à disposição da população são aproveitados. Desde a implantação ou expansão de uma indústria em uma determinada região ou um Estudo de Impacto Ambiental – EIA, de um empreendimento potencial ou causador de impacto ambiental que demandam informações a respeito dos recursos da flora existente no local, a disponibilidade dos recursos florestais em termos de quantidade e qualidade para ampliação das indústrias que utilizam essa matéria prima, só poderão ser obtidas através da realização de um inventário florestal (SANQUETTA et al., 2014).

O Inventário florestal é a ferramenta utilizada no diagnóstico do potencial produtivo ou protetivo das florestas. É através dos resultados dos inventários florestais que se apoiam decisões importantes acerca da viabilidade dos empreendimentos florestais (CUNHA, 2004).

Para reflorestar antigas áreas ou implantar novas florestas são necessárias medidas silviculturais que ao serem implantadas necessitam de conhecimentos sobre os processos dinâmicos da floresta, taxas de crescimento, mortalidade, estimativas dos estoques madeireiros para se obter êxito e subsidiar as tomadas de decisões. Pois estas estimativas provenientes do inventário florestal são imprescindíveis para administrar e planejar os recursos florestais visando a sua utilização racional para as gerações futuras. (PÉLLICO NETO; BRENA, 1997).

## 2.2 AMOSTRAGEM

Amostragem é o processo pelo qual as estimativas dos parâmetros de uma população são obtidas por meio da medição de características de um conjunto de unidades amostrais, tomado como representativo desta população. Tais unidades de amostra são constituídas de parcelas de tamanho fixo ou variável e podem determinar ou estimar as características das florestas, sejam estas quantitativas ou qualitativas (MOSCOVICH et al., 1999).

Dentre as características quantitativas pode-se citar: volume, sortimento, área basal, altura média das árvores dominantes, biomassa, diâmetro médio quadrático, densidade, dominância, frequência, índice de valor de importância, posição sociológica, índice de regeneração natural, etc. Dentre as características qualitativas, pode-se citar: vitalidade das árvores, qualidade do fuste, tendência de valorização, etc. (SCOLFORO; MELLO, 1997).

Ao empregar técnicas de amostragem em uma população alvo do inventário, mede-se parte da mesma, ou seja, uma “amostra”, que a represente de forma adequada (SANQUETTA et al., 2014). A amostra trata-se de uma porção de uma dada população que é examinada, permitindo, que a partir desta se façam inferências estatísticas sobre a população em questão (SOARES et al., 2011).

## 2.3 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM

Para realização dos levantamentos florestais existem vários métodos de amostragem, entre eles pode-se citar: método de área fixa, e de área variável como Bitterlich, Strand, 3P de Grosenbaugh, em linhas e Prodan (PÉLLICO NETO; BRENA, 1997).

É importante atentar que a amostragem deve levar em consideração as características da população para obter maior precisão com menor custo, sendo possível, em tese, aplicar qualquer método de amostragem a uma população florestal na busca das informações que se deseja. Entretanto, a não utilização de um método adequado às características da população estudada, certamente, levará a um grande incremento no custo do inventário (CESARO et al., 1994).

### **2.3.1 Método de área fixa**

O método de área fixa é o mais antigo, conhecido e utilizado pelos profissionais envolvidos com inventários florestais. A maioria dos inventários por amostragem é realizado através desse método devido à simplicidade de sua utilização e pela vasta gama de estimativas possíveis de uso segundo essa metodologia (SANQUETTA et al., 2014).

O método de área fixa apresenta muitas vantagens das quais se pode citar (PÉLLICO NETO; BRENA, 1997):

- a) Obtenção de todos os estimadores como área basal, distribuição diamétrica, altura das árvores dominantes, volume, crescimento, mortalidade, etc., diretamente da unidade amostral medida.
- b) Praticidade e simplicidade no estabelecimento e na medição das variáveis dentro das unidades amostrais, principalmente quando se trata de parcelas permanentes;
- c) É o método mais utilizado em Inventário Florestal contínuo para fins de manejo florestal;
- d) As unidades permanentes oferecem grande vantagem de manter alta correlação entre duas ou mais medidas sucessivas.

Segundo os mesmos autores, este método apresenta também algumas desvantagens:

- a) Altos custos de instalação e de manutenção das unidades amostrais;
- b) A determinação do tamanho e da forma das parcelas que permita manter um número de árvores representativo para dar consistência às inferências.

### 2.3.1.1 Tamanho e forma das unidades amostrais

A unidade amostral é o espaço físico sobre o qual são observadas e medidas as características quantitativas e qualitativas da população de uma floresta. Para a determinação da forma e tamanho ideal das unidades amostrais há uma série de premissas a serem consideradas, pois a área da unidade amostral está diretamente relacionada com o número de indivíduos contidos na mesma (VASQUES, 1990).

O tamanho da unidade amostral deve ser suficientemente grande para incluir pelo menos 20 árvores, e pequena o suficiente para não requerer um tempo excessivo de medição. Ou seja, unidades amostrais grandes devem ser empregadas para povoamentos abertos, com grandes árvores, enquanto que unidades amostrais pequenas devem ser empregadas para povoamentos densos com árvores pequenas. A relação entre o tamanho da unidade amostral é fortemente influenciada, pela distribuição espacial dos indivíduos dentro do povoamento florestal. O tamanho deve ser decidido à base de experiência prática e o confronto entre custos e precisão (SANQUETTA et al., 2014; PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

As formas de unidades amostrais mais usadas em inventários florestais são as circulares, quadradas, retangulares, composição destas em grupos ou conglomerados (SANQUETTA et al., 2014).

As unidades circulares são menos utilizadas no Brasil. Porém seu uso vem sendo cada vez mais frequente em inventários florestais na atualidade. As parcelas circulares geralmente ganham eficiência porque entre todas as formas possíveis, e considerando-se a mesma área, são as que possuem menor perímetro e, conseqüentemente, minimizam o problema de árvores marginais (PÉLLICO NETO; BRENA, 1997).

A área da parcela circular é calculada somente com base no raio da mesma (R). A definição do raio é o aspecto mais importante. Raios grandes, acima de 15 m, não são operacionalmente viáveis e tornam o inventário ineficiente. Portanto uma parcela circular deve ter no máximo 700 m<sup>2</sup>, ficando, em média, com área entre 400 e 600 m<sup>2</sup> (SANQUETTA et al., 2014).

O tamanho e a forma das unidades de amostra influem diretamente na quantidade de trabalho, no custo e precisão do inventário florestal. Qualquer que seja a forma e tamanho da unidade amostral adotada será possível calcular o volume de madeira da floresta sem erros

sistemáticos; porém devido a certas características florestais a extensão e a forma ótima das unidades amostrais variam (CESARO et al., 1994).

### 2.3.2 Método de Prodan

O método de Prodan é pouco utilizado em inventários florestais no Brasil, principalmente devido ao desconhecimento de seu potencial de uso e eventuais vantagens comparativas em relação ao método tradicional de área fixa (SANQUETTA et al., 2014).

O método de Prodan também conhecido como método das 6 árvores foi proposto por Prodan em 1968. Em seu estudo, o autor verificou que o coeficiente de variação se tornava estável a partir da sexta árvore medida e considerou esse o número ótimo para definir sua unidade amostral, uma vez que minimiza os custos para sua medição. O método de Prodan é uma aplicação do conceito de métodos baseados em distâncias para o inventário florestal, e consiste basicamente em locar pontos na floresta segundo um delineamento amostral qualquer, onde em cada ponto se medem seis (6) árvores e assume-se que elas se encontrem numa parcela circular cujo raio é dado pela distância da última árvore (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

No método de Prodan não ocorre o problema de representatividade do número de árvores, pois a área das unidades amostrais é variável, de acordo com a distância entre o centro da unidade e o centro da sexta árvore mais próxima ao ponto utilizado como centro da unidade (CESARO et. al., 1994).

As principais vantagens desse método segundo são (PÉLLICO NETTO; BRENA 1997):

- a) Prático e de fácil operacionalidade no campo.
- b) Dado o tamanho da unidade, é possível levantar várias unidades em pouco tempo.
- c) Consegue-se uma visão mais abrangente do povoamento, devido à quantidade de pontos.
- d) Tempo de medição é menor quando comparado aos outros métodos.
- e) Não ocorrem erros de demarcação de unidades de amostragem.

Segundo os mesmos autores, as principais desvantagens desse método são:

- a) Os estimadores podem gerar tendências quando as árvores estão muito próximas ou muito dispersas no povoamento.
- b) Devido ao tamanho da unidade amostral não há como obter bons estimadores para variáveis de manejo florestal, como altura dominante, mortalidade e outras.

## 2.4 PROCESSOS DE AMOSTRAGEM

Os processos de amostragem abordam as características de distribuição de um conjunto de unidades de amostras na população amostrada. Existe uma forte vinculação entre os processos de amostragem e a periodicidade com que a amostragem será realizada. Se o inventário foi realizado em uma única ocasião ou temporário os processos são mais específicos e diretamente aplicados à população. Se a periodicidade for considerada como múltiplas ocasiões ou contínuos, então os processos poderão ser mais complexos, mais integrados e elaborados (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

A distribuição das unidades amostrais na população pode ser de forma aleatória, sistemática e mista se subdividindo em processos mais utilizados como: Amostragem Aleatória Simples, Estratificada, Sistemática, Amostragem em Dois Estágios, Amostragem em Conglomerados e Amostragem com Múltiplos Inícios Aleatórios (SANQUETTA et al., 2014).

No presente estudo emprega-se a amostragem sistemática com um único estágio, motivo qual será detalhada a seguir.

### 2.4.1 Amostragem sistemática em único estágio

A Amostragem Sistemática está entre os processos probabilísticos não aleatórios, em que o critério de probabilidade se estabelece pela aleatorização da primeira unidade amostral (PÉLLICO NETO; BRENA, 1997).

Em um processo sistemático, as unidades amostrais são selecionadas a partir de um sistema rígido e pré-estabelecido de sistematização, com o propósito de cobrir a população, em toda a sua extensão, e obter um modelo sistemático simples e uniforme (SANQUETTA et al., 2014).

As vantagens do uso da amostragem sistemática são (PÉLLICO NETO; BRENA, 1997):

- a) Boa estimativa da média e do total, devido à distribuição uniforme da amostra em toda a população.
- b) Maior rapidez e menor custo que uma aleatória, desde que a escolha das unidades amostrais seja mecânica e uniforme.
- c) O deslocamento entre as unidades é mais fácil pelo fato de seguir uma direção fixa e preestabelecida, resultando em um menor tempo gasto e, por consequência, um menor custo de amostragem.
- d) O tamanho da população não precisa ser conhecido uma vez que cada unidade ocorre dentro de um intervalo de amostragem fixado, sendo selecionado sequencialmente após ser definida a unidade amostral inicial.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

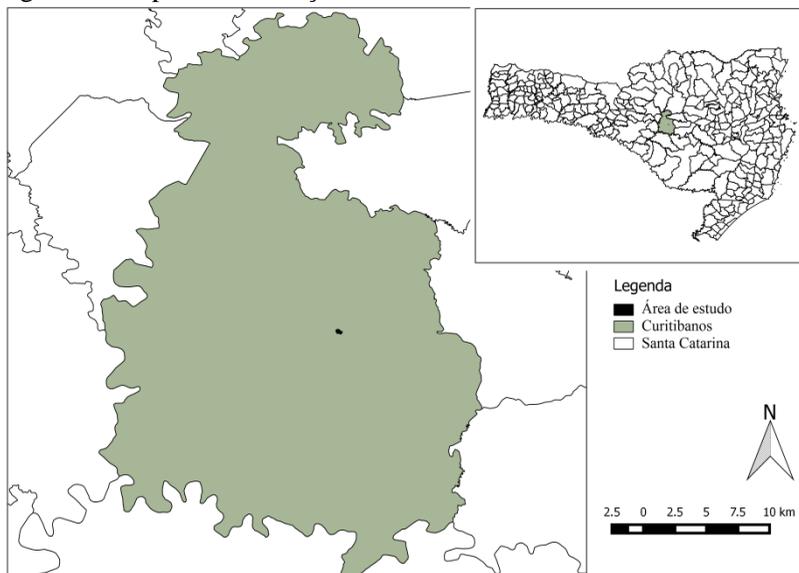
#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

##### 3.1.1 Localização e acesso

A área de estudo, com 13,9 ha, integra a área do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), com uma área total de 22,2 ha e localiza-se entre as coordenadas 27°16'58" de Latitude Sul e 50°35'04 de Longitude Oeste, no município de Curitibanos (Figura 1), distante em linha reta 200 km de Florianópolis, capital do estado de Santa Catarina.

A área objeto de estudo, foi destinada ao Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal – IBDF, em 1967 para desenvolver políticas públicas federais no ramo florestal, porém, atualmente não atende mais as finalidades florestais executadas pelo IBDF. No local há povoamentos de *Pinus sp.*, *Araucaria angustifolia* (pinheiro brasileiro) e *Eucalyptus sp.* com idades superiores a 40 anos.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: O Autor.

### 3.1.2. Solos

Os solos que recobrem a área de estudo são classificados como Latossolo Bruno. Estes solos apresentam cores amarelas avermelhadas (brunadas) com enriquecimento de matéria orgânica, podendo ser argilosos ou muito argilosos, desenvolvidos em condições de clima subtropical e derivados de rochas basálticas e riodacíticas do Sul do Brasil, apresentando horizonte superficial húmico e teores de carbono orgânico superiores a 1% até 70 cm ou mais de profundidade (EMBRAPA, 2006).

### 3.1.3. Clima e altitude

De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Cfb – Clima temperado, com verão ameno. Chuvas uniformemente distribuídas, sem estação seca e a temperatura média do mês mais quente não chega a 22 °C. Precipitação de 1.100 a 2.000 mm. Geadas severas e frequentes, com ocorrência de

10 a 25 por ano. A região possui altitude média de 950 m acima do nível do mar (AYOADE, 1998).

## 3.2 COLETA DOS DADOS

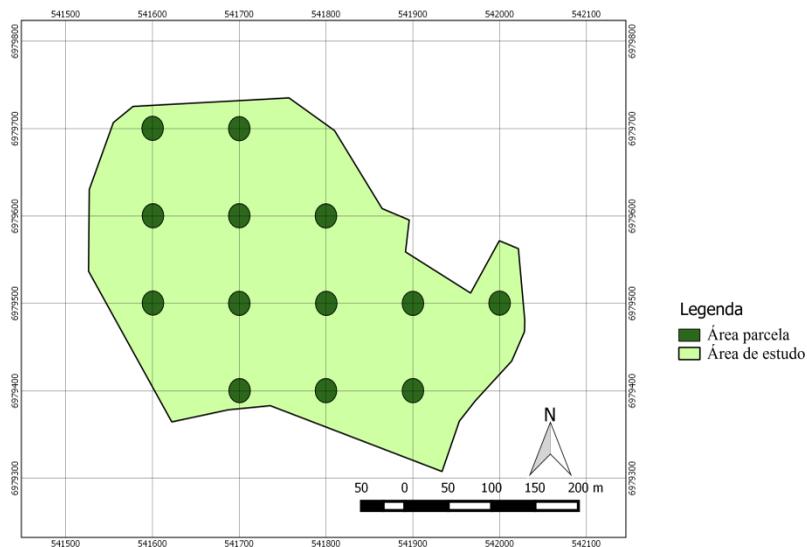
### 3.2.1 Inventário florestal

#### 3.2.1.1 Área fixa

O povoamento foi inventariado por meio dos métodos de amostragem de Área Fixa e de Prodan.

Para o método de área fixa, a amostragem foi sistemática com início aleatório simples. Utilizaram-se parcelas circulares com raio de 12,62 metros, correspondente a uma área de 500 metros quadrados. Foram instaladas utilizando as intersecções dos pontos das coordenadas UTM como centro da parcela em intervalos de 100 m x 100 m (Figura 2).

Figura 2 - Mapa com a grade de coordenadas UTM em intervalos de 100 m e localização das parcelas com áreas de 500 m<sup>2</sup> pelo método de Área Fixa.

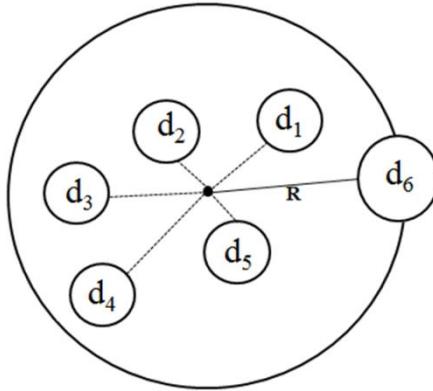


Fonte: O Autor.

### 3.2.1.2 Prodan

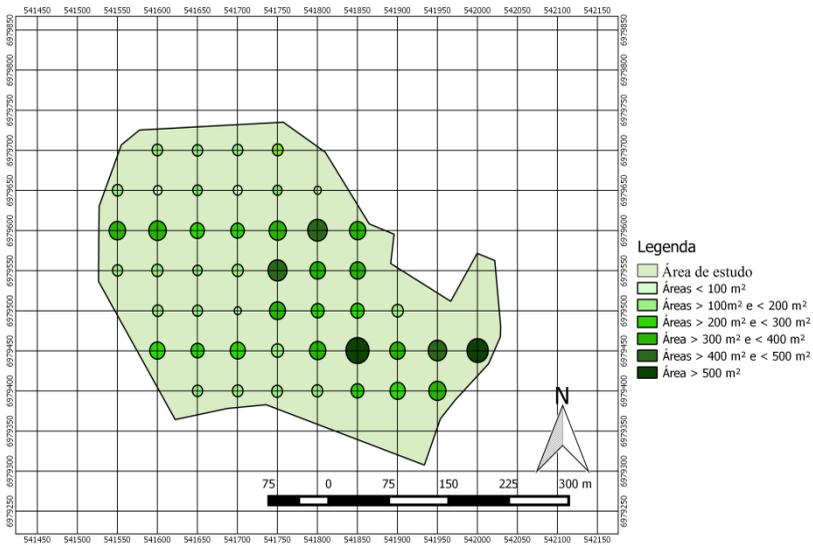
Para o método de Prodan (Figura 3), a amostragem foi também sistemática com início aleatório simples. Entretanto as parcelas (Figura 5) foram instaladas tendo como vértice, as intersecções das coordenadas UTM, em intervalos de 50 m x 50 m.

Figura 3 - Método de Prodan exemplificando a distância da sexta árvore como raio da parcela circular.



Fonte: O Autor.

Figura 4 - Mapa com a grade de coordenadas UTM em intervalos de 50 m e localização das parcelas e suas respectivas áreas pelo método de Prodan.



Fonte: O Autor.

### 3.2.2 Número de unidades amostrais

Foram instaladas 13 unidades amostrais para o método de área Fixa e 47 unidades amostrais para o método de Prodan. Foram realizados cálculos de intensidade amostral a fim de saber se o número de unidades amostrais utilizadas foi suficiente para satisfazer o limite de erro ao nível de probabilidade desejada. A intensidade amostral foi calculada em função da variância da população, precisão requerida e confiabilidade fixada. Para este estudo fixou-se um limite de erro aceitável de 15% e uma probabilidade de 95%, sendo considerada população finita para ambos os métodos, ou seja, fator de correção para populações finitas, menor que 0,95. Assim, a intensidade amostral pode ser calculada da utilizando a seguinte equação (SOARES et al., 2011):

$$n = \frac{Nt^2s_x^2}{N(LE\bar{x})^2 + t^2s_x^2} \quad (1)$$

Sendo:

$n$  = número ótimo de parcelas;

$N$  = número total de parcelas que cabem na área;

$s_x$  = variância populacional;

$LE$  = limite de erro admitido (0,15);

$\bar{x}$  = estimativa da média;

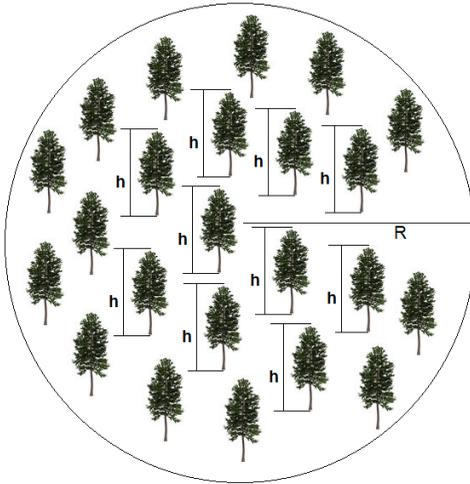
$t$  = valor de “t” tabelado, da distribuição de Student, em função dos graus de liberdade.

### 3.2.3 Medição das unidades amostrais

A coleta de dados foi igual para os dois métodos. Foram coletados com auxílio da suta os diâmetros a 1,30 m de altura do solo (DAP) de todas as árvores. A altura foi medida com hipsômetro Vertex, de forma alternada dentro da parcela, sendo medidas as dez primeiras árvores localizadas mais próximas ao centro da parcela no método de área fixa (Figura 5), e as três primeiras árvores utilizando o mesmo critério no método de Prodan (Figura 6) desconsiderando a altura das árvores bifurcadas. Optou-se utilizar esta metodologia buscando facilitar a obtenção das alturas em menor tempo devido ao espaçamento irregular do povoamento.

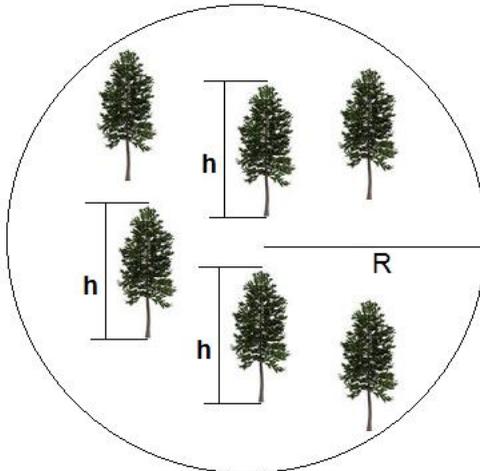
As alturas das demais árvores contidas na parcela foram estimadas com equação hipsométrica, ajustadas para os diferentes métodos de amostragem.

Figura 5 - Exemplo da obtenção das alturas das dez árvores mais próximas ao centro da parcela pelo método de Área fixa.



Fonte: O Autor.

Figura 6 – Exemplo da obtenção das alturas das três árvores mais próximas ao centro da parcela pelo método de Prodan.



Fonte: O Autor

### 3.3 CUBAGEM

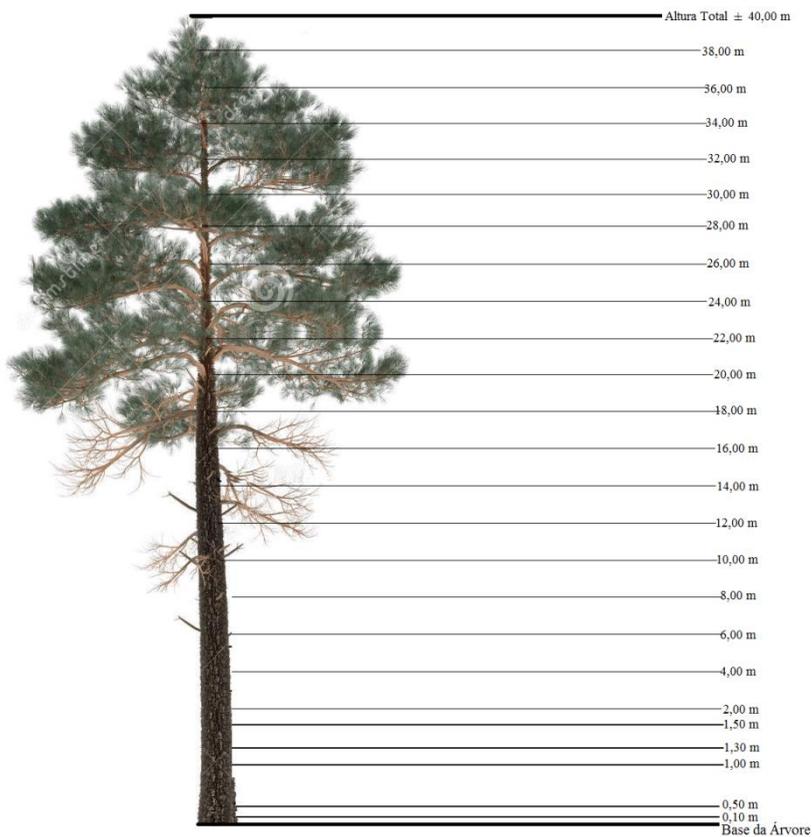
#### 3.3.1 Cubagem não destrutiva

A cubagem não destrutiva é um método indireto que pode ser utilizado para obtenção do volume e biomassa, sem o abate das árvores. Para isso o método requer a medida de diâmetros ao longo do fuste da árvore em pé (LEITE; ANDRADE, 2002).

O número de árvores a serem cubadas está relacionado à homogeneidade do povoamento. Quanto mais homogêneo for o povoamento menor é a quantidade de árvores a cubar e, quanto mais heterogêneo for o povoamento, em relação à variável de interesse (volume), maior será o número de árvores a cubar (SCOLFORO; MELLO, 1997).

Foram coletados em todo povoamento os diâmetros em diferentes alturas ao longo do fuste de 25 árvores em diferentes classes, para garantir a abrangência de toda variação diamétrica existente, utilizando o equipamento digital Criterion. As medidas foram tomadas a 0,1 m; 0,5 m; 1,0 m; 1,3 m; 1,5 m; 2,0 m e, após esta altura, em intervalos de 2,0 m até o limite do aparelho (~ 15 cm  $\varnothing$ ) (Figura 7).

Figura 7 - Cubagem não destrutiva, exemplo da obtenção dos diâmetros em diferentes alturas ao longo do fuste.



Fonte: Adaptado de <http://www.dreamstime.com/stock-image-tree-pine-isolated-pinus-see-my-other-works-portfolio-image35674191>.

Os dados da cubagem não destrutiva foram utilizados para o ajuste de uma equação de afilamento.

### 3.4 ANÁLISE DOS DADOS

#### 3.4.1 Área fixa

##### 3.4.1.1 Fator de proporcionalidade

O Fator de Proporcionalidade é uma das variáveis mais importantes no método de área fixa. Trata-se do valor que expressa quantas vezes as variáveis coletadas em uma unidade amostral representa, em termos numéricos, grandezas em um hectare (SANQUETTA et al., 2014).

Os estimadores do número de árvores, área basal e volume por hectare são calculados através do fator de proporcionalidade (F), que é expresso pela fórmula (PÉLLICO NETTO; BRENA ,1997):

$$F = \frac{1}{a} \quad (2)$$

Sendo:

F = fator de proporcionalidade;  
 1 = área de 1,00 hectare (10.000 m<sup>2</sup>);  
 a = área da unidade amostral.

Como as unidades amostrais possuem 500 m<sup>2</sup> o fator de proporcionalidade da unidade amostral para o hectare foi de 20.

##### 3.4.1.2 Estimativa do número de árvores por hectare

A estimativa de número de árvores por hectare (N) pelo método de área fixa é expressa pela fórmula (SANQUETTA et al., 2014):

$$N = m.F \quad (3)$$

Sendo:

N = número de árvores por hectare;  
 m = número de árvores incluídas na unidade amostral;  
 F = fator de proporcionalidade.

### 3.4.1.3 Área transversal

A área transversal ( $g$ ) refere-se à área da seção transversal, perpendicular ao eixo da árvore, no ponto de medição do diâmetro e é obtida pela fórmula:

$$g = \frac{\pi \cdot (DAP)^2}{40000} \quad (4)$$

Sendo:

$g$  = área transversal;  
 DAP = diâmetro a 1,30;  
 $\pi$  = Pi = 3,1415.

### 3.4.1.4 Área basal por hectare

A área basal corresponde à soma das áreas transversais de árvores individuais a 1,30 m, projetadas sobre o solo, em uma parcela ou hectare. É dada em  $m^2$  por unidade de área sendo mais comum  $m^2/ha$ . Obtida pela fórmula:

$$G = \sum_{i=1}^n g_i \cdot F \quad (5)$$

Sendo:

$G$  = área basal;  
 $n$  = número de árvores consideradas;  
 $g_i$  = área transversal da árvore  $i$ ;  
 $F$  = fator de proporcionalidade.

## 3.4.2 Prodan

### 3.4.2.1 Estimativa do número de árvores por hectare

O número de árvores por hectare ( $N$ ) foi obtido pela seguinte expressão (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997):

$$N = \frac{55.000}{\pi R_6^2} \quad (6)$$

Sendo:

$R_6$  = raio da sexta árvore medida

### 3.4.2.2 Estimativa área basal por hectare

A estimativa de área basal por hectare foi obtida através da seguinte expressão (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997):

$$G = \frac{d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + d_4^2 + d_5^2 + \frac{d_6^2}{2}}{R_6^2} \cdot 2500 \quad (7)$$

Sendo:

$d_i$  = diâmetro a altura do peito (DAP) de cada árvore;

$R_6$  = raio da sexta árvore medida.

## 3.4.3 Determinação da altura

### 3.4.3.1 Relação hipsométrica

Equações hipsométricas estimam a altura das árvores com base no diâmetro (CUNHA, 2004). Para o ajuste da equação foram utilizados separadamente os dados (diâmetro e altura) coletados dos indivíduos mensurados nas parcelas de Área Fixa e Prodan.

Foram testados os modelos descritos na Tabela 1, e após as análises estatísticas da qualidade do ajuste foi aplicada a equação que se ajustou melhor ao povoamento para ambos os métodos.

Tabela 1 – Modelos de Relação Hipsométrica.

<b>Autor</b>	<b>Modelos</b>	
Trorey	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot d^2$	(8)
Stoffels	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(d)$	(9)
Curtis	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/d)$	(10)

Onde:  $\ln$  = logaritmo neperiano;  $h$  = altura;  $d$  = diâmetro;  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  = coeficientes a serem estimados.

### 3.4.4 Determinação do volume por hectare

#### 3.4.4.1 Funções de afilamento

As funções de afilamento, ou funções de forma, constituem uma importante ferramenta estatística na determinação dos perfis de troncos, pois permitem ao usuário estimar três características básicas das árvores: diâmetro em qualquer ponto do fuste; altura total ou a que se encontra em um determinado diâmetro limite especificado no fuste; e o volume entre pontos quaisquer do fuste (PRODAN et al., 1997).

Utilizando os dados obtidos na cubagem a campo foi ajustada à função de afilamento capaz de estimar os diâmetros ao longo do fuste, utilizando o modelo abaixo (Polinômio de 5º grau).

$$\begin{aligned} \frac{d_i}{dap} = & \beta_0 + \beta_1 \cdot \left(\frac{h_i}{h_t}\right) + \beta_2 \cdot \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^2 + \\ & + \beta_3 \cdot \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^3 + \beta_4 \cdot \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^4 + \beta_5 \cdot \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^5 + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (11)$$

### 3.5 EFICIÊNCIA RELATIVA DOS MÉTODOS

A fim de comparar a eficiência relativa dos métodos, o tempo na demarcação das parcelas, foi mensurado com auxílio de um cronômetro. Esse tempo constituiu o tempo de medição gasto na medição de cada uma das unidades amostrais em cada um dos métodos de amostragem.

#### 3.5.1 Cálculo da eficiência relativa

Para calcular a eficiência relativa dos métodos de amostragem, aplicou-se a equação (PÉLLICO NETO; BRENA, 1997):

$$E = \frac{1}{T(CV^2)} \quad (12)$$

Sendo:

CV = coeficiente de variação obtido no inventário;

T = tempo de medição gasto no inventário.

### 3.6 ESTÁTISTICAS DO INVENTÁRIO FLORESTAL

#### 3.6.1 Variância

A variância é a característica da floresta mais importante a influenciar a decisão sobre técnica de amostragem a adotar, sendo que a variação da característica de interesse entre as diferentes parcelas com área previamente definida é que propiciará a quantificação da variabilidade do povoamento. A variância é a medida que expressa a variação de uma determinada característica entre os indivíduos de uma população em relação a média (SANQUETTA et al., 2014). Expressa pela seguinte fórmula:

$$s^2_x = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (13)$$

Sendo:

$x_i$  = variável de interesse;

$\bar{x}$  = média;

n = número de unidades amostradas ou medidas.

### 3.6.2 Variância da média

Determina a precisão da média estimada e representa a variação teórica das médias das diversas amostras que hipoteticamente poderiam ser tomadas na população. Expressa pela fórmula:

$$s_{\bar{x}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)} \quad (14)$$

Sendo:

$x_i$  = variável de interesse;

$\bar{x}$  = média;

n = número de unidades amostradas ou medidas;

### 3.6.3 Erro padrão

O erro padrão da média expressa a precisão do inventário de forma análoga à variância da média, porém em termos lineares, na mesma medida da média. É uma variação ou diferença entre o valor paramétrico e o valor estimado, expresso pela diferença hipotética entre as médias das possíveis amostras tomadas na população (SANQUETTA et al., 2014). Expresso pela fórmula:

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{s_{\bar{x}}^2} \quad (15)$$

Sendo:

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

### 3.6.4 Erro de amostragem

O erro de amostragem é o erro que se comete por não medir toda a população. Representa uma estimativa da diferença entre a média

paramétrica e a média estimada pela amostragem e não um erro cometido pelo executor. Pode ser absoluto, uma diferença na unidade da variável sob análise, ou relativo, que expressa a diferença em termos percentuais. Obtido pelas seguintes fórmulas:

Absoluto:

$$E_a = \mp t \cdot s_{\bar{x}} \quad (16)$$

Relativo:

$$E_r = \mp \frac{t \cdot s_{\bar{x}}}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (17)$$

Sendo:

t = valor t tabelado, da distribuição de Student, em função dos graus de liberdade;

$s_{\bar{x}}$  = erro padrão;

$\bar{x}$  = média.

### 3.7 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Para processamento dos dados, foi utilizado o programa Excel do pacote Microsoft Office ®.

### 3.8 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO E ESCOLHA DOS MODELOS

Com o objetivo de selecionar o melhor modelo de regressão foram comparados os ajustes de cada equação, observando os critérios estatísticos definidos pelo: erro padrão da estimativa, coeficiente de determinação, valor de F, e a distribuição gráfica dos resíduos.

#### 3.8.1 Erro padrão da estimativa

O erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) informa a qualidade do ajuste e o quanto, relativamente, o modelo erra em média ao estimar a variável dependente (MACHADO et al., 2008).

O erro padrão da estimativa é uma medida de dispersão entre os valores observados e estimados pela regressão. Portanto quanto menor o erro padrão da estimativa, melhor são as estimativas obtidas na equação (SCHNEIDER, 1998).

O erro padrão da estimativa foi obtido a partir da raiz do quadrado médio do erro e a diferença entre o número de observações e o número de parâmetros de cada equação, através da seguinte fórmula:

$$s_{xy} = \sqrt{\frac{\sum_i^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{(n - p)}} \quad (18)$$

Sendo:

$y_i$  = valor real de cada observação;

$\hat{y}_i$  = valor estimado de cada observação;

$n$  = número de observações;

$p$  = número de cada coeficiente de cada equação, incluindo  $b_0$ .

As relações hipsométricas que trabalham na escala logarítmica fornecem o logaritmo da altura sendo assim, é necessário calcular o antilogaritmo desta altura para obtê-la na sua forma real. Entretanto, na realização deste procedimento existe um erro conhecido como discrepância logarítmica que geralmente subestima a altura, então para minimizar esta discrepância, é utilizado um fator, conhecido como Fator de correção de Meyer (Fm), que consegue resolver este problema, tanto para modelos que usam a base 10, como a base natural. A fórmula para o Fator de Meyer, na sua forma natural é (MIGUEL, 2009):

$$Fm = e^{0,5 * QM_{res}} \quad (19)$$

Sendo:

$e$  = base do logaritmo natural, 2,718281828;

$QM_{res}$  = quadrado médio dos resíduos.

### 3.8.2 Coeficiente de determinação

O Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) mede a correlação entre o valor estimado e o real e indica a proporção da variação da variável dependente. Pode variar entre 0 e 1, sendo tanto melhor quanto mais próximo a 1. É dado pela seguinte equação:

$$R^2 = \frac{\sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad (19)$$

Sendo:

$y_i$  = valor real de cada observação;

$\hat{y}_i$  = valor estimado de cada observação;

$\bar{y}$  = média aritmética real.

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. É necessário reajustar esses coeficientes, para que seja possível comparar as equações, já que os graus de liberdade da regressão diferem entre os modelos testados. Este reajuste ou correção é referido como índice de Schlaegel e sua expressão matemática é:

$$R^2_{\text{ajust.}} = \left( \frac{n - 1}{n - p - 1} \right) \cdot \frac{SQ_{\text{res}}}{SQ_{\text{tot}}} \quad (20)$$

Sendo:

$R^2_{\text{ajust.}}$  = Coeficiente de determinação ajustado;

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

$p$  = número de Variáveis independentes do modelo em questão;

$SQ_{\text{res}}$  = soma de quadrado do resíduo;

$SQ_{\text{tot}}$  = soma de quadrado total.

### 3.8.3 Valor de F

O valor para F é encontrado pela razão:

$$F = \frac{QMregressão}{QMerro} \quad (20)$$

Sendo:

QMregressão = quadrado médio da regressão;

QMerro = quadrado médio do erro.

Foi comparado o resultado ao valor de F tabelado em função dos graus de liberdade da regressão do erro, a um determinado nível de probabilidade. Se o valor do F calculado for maior que o F tabelado comprovou-se o nível de significância da regressão para o nível de probabilidade desejado.

### 3.8.4 Distribuição gráfica dos resíduos

A distribuição gráfica dos resíduos em um ajuste de regressão é o critério determinante de escolha de um modelo, mesmo que as estimativas de ajuste de precisão apresentem valores aceitáveis. A dispersão dos pontos ao longo do eixo da variável independente indica de forma clara se o ajuste subestima ou superestima a variável dependente ou se há tendenciosidade nas estimativas (MACHADO et al., 2008).

Para verificar a possível tendenciosidade foi realizada a análise gráfica dos resíduos em percentagem através da equação:

$$resíduo_i\% = \frac{(y_i - \hat{y}_i)}{y_i} \cdot 100 \quad (21)$$

Sendo:

$y_i$  = volume real para cada observação;

$\hat{y}_i$  = volume estimado para cada observação.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 AJUSTE DA EQUAÇÃO HIPSOMÉTRICA

#### 4.1.1 Método área fixa

Com o ajuste das equações matemáticas descritas no subitem 3.4.3, foram obtidos os estimadores dos parâmetros que permitiram selecionar o modelo estatístico que melhor se ajustou aos dados para os dois métodos utilizados no estudo. Os valores dos coeficientes ( $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ), o coeficiente de determinação ( $R^2_{\text{ajust.}}$ ), o erro padrão de estimativa  $S_{yx}$  % são apresentados na Tabela 2 e 3.

Tabela 2 - Coeficientes ajustados dos Modelos Hipsométricos para o método de Área Fixa.

Modelo	Coeficientes		
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$
<b>8</b>	20,7246	0,2562	-0,0009
<b>9</b>	2,4836	0,2428	
<b>10</b>	3,6475	-10,5816	

Fonte: O Autor.

Tabela 3 - Análise Estatística dos Modelos Hipsométricos para o método de Área Fixa.

Modelo	$R^2$	$S_{yx(m)}$	$S_{yx(\%)}$
<b>8</b>	0,20	2,69	8,8
<b>9</b>	0,21*	2,47	8,1
<b>10</b>	0,20*	2,48	8,1

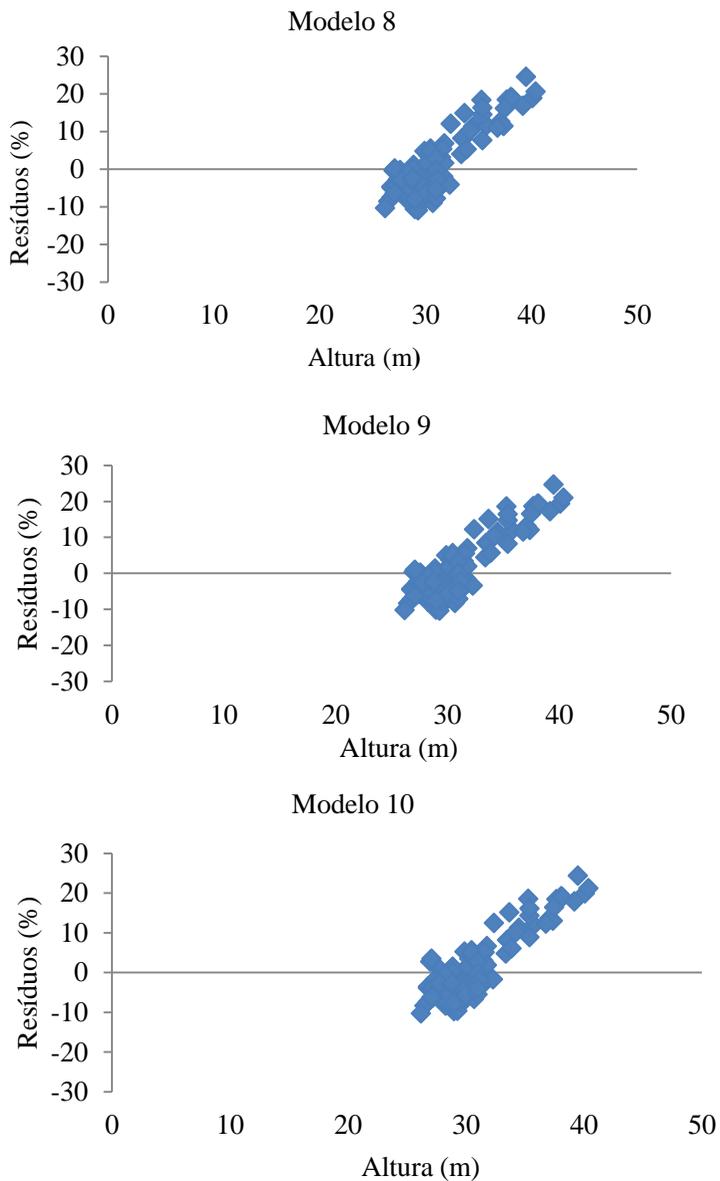
\*valor ajustado I.A.

Fonte: O Autor.

Foi observado que todos os modelos apresentaram coeficientes de determinação ajustado superiores a 0,20 e variações no erro padrão da estimativa de 8,1 a 8,8. Sendo que entre os três modelos testados, o que apresentou melhor ajuste foi o Modelo 9 (Stoffels), apresentando maior coeficiente de determinação ( $R^2_{\text{ajust.}} = 0,21$ ), e menor erro padrão da estimativa ( $S_{yx} \% = 8,1$ ).

Nas análises gráficas dos resíduos (Figura 8) pode-se verificar o comportamento da distribuição dos resíduos entre a altura observada e a altura estimada pelas equações em função do diâmetro à altura do peito. Observa-se tendência em superestimar as alturas de árvores com diâmetros maiores e subestimar árvores com diâmetros menores para todos os modelos testados. Por isso foi levado em consideração as estimativas de maior  $R^2_{\text{ajust}}$  e menor  $S_{yx}$  %. Portanto o modelo utilizado para as análises seguintes foi o Modelo 9 (Stoffels).

Figura 8 - Análise gráfica da dispersão dos resíduos em percentagem em função da altura real.



Fonte: O Autor.

Soares et al. (2004), buscando diferentes alternativas para viabilizar a relação hipsométrica de um povoamento florestal, testou modelos descritos na literatura e verificou que o modelo de Curtis e o modelo de Stoffels, foram os modelos que apresentaram melhor desempenho nos ajustes feitos por parcela, por idade, por sítio e por sítio e idade. Já no ajuste feito para o agrupamento de todas as parcelas, o modelo de Stoffels foi o que apresentou melhor ajuste.

#### 4.2.2 Método de Prodan

Assim como no método de Área Fixa, com o ajuste das equações matemáticas descritas no subitem 3.4.3, foram obtidos os estimadores dos parâmetros que permitiram selecionar o modelo estatístico que melhor se ajustou aos dados. Os valores dos coeficientes ( $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ), o coeficiente de determinação ( $R^2_{ajust.}$ ), o erro padrão de estimativa ( $S_{yx}$  %) são apresentados na Tabela 4 e 5.

Tabela 4 - Coeficientes ajustados dos Modelos Hipsométricos para o método de Prodan.

Modelo	Coeficientes		
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$
<b>8</b>	22,1080	0,1925	-0,0013
<b>9</b>	2,9263	0,1055	
<b>10</b>	3,4426	-5,0742	

Fonte: O Autor.

Tabela 5 - Análise Estatística dos Modelos Hipsométricos para o método de Prodan.

Modelo	$R^2$	$S_{yx(m)}$	$S_{yx}(\%)$
<b>8</b>	0,03	3,16	11,1
<b>9</b>	0,03*	3,12	11,0
<b>10</b>	0,03*	2,95	10,4

\*Valores ajustados

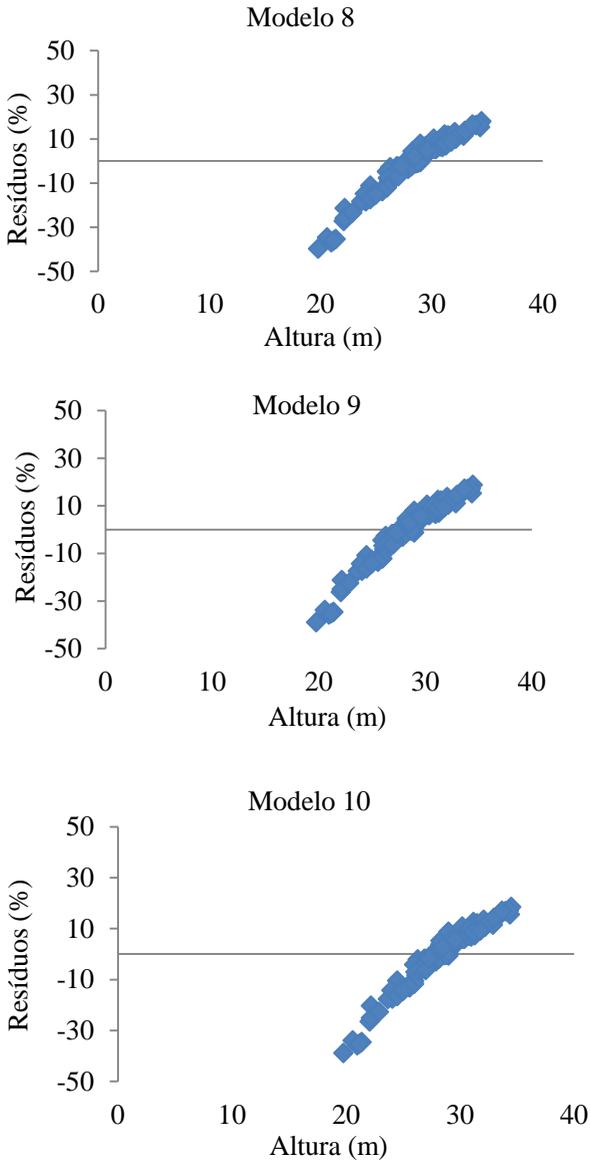
Fonte: O Autor.

Observa-se que os coeficientes de determinação ajustados foram iguais para os modelos testados, com valor de 0,03 e os erros

padrão da estimativa variaram de 10,4 a 11,1%. Sendo que entre as três equações testadas, o modelo 10 apresentou melhor ajuste, com coeficiente de determinação ( $R^2_{\text{ajust.}} = 0,03$ ) e erro padrão da estimativa ( $S_{yx} \% = 10,4$ ).

Na análise gráfica dos resíduos (Figura 9) para o método de Prodan também observou-se a tendência em superestimar árvores com diâmetros maiores e subestimar árvores com diâmetros menores para todos os modelos testados. Em todos os gráficos foi possível verificar que a dispersão dos resíduos estão muito parecidos, por isso foi considerado as estimativas de maior  $R^2_{\text{ajust.}}$  e menor  $S_{yx} \%$  (Tabela 5), utilizou-se o modelo 10 (Curtis).

Figura 9 - Análise gráfica da dispersão dos resíduos em percentagem em função da altura real.



Figueiredo et al. (2009), ao comparar modelos para expressar a relação hipsométrica em plantios de *Pinus taeda* L. constatou que o modelo de Curtis obteve o melhor resultado para estimar a altura total em função do DAP . Barros et al. (2002) ao testar diversos modelos descritos na literatura constatou que o modelo tradicional de Curtis foi o mais adequado para estimativa de altura em plantios de *Pinus oocarpa* verificando um melhor comportamento para diversos tratamentos.

A partir dos modelos testados para o ajuste da equação hipsométrica foi possível constatar que os resultados dos ajustes não se mostraram satisfatórios para todos os modelos testados. Este fato se deu devido à baixa correlação da variável dependente (altura) com a independente (diâmetro). Uma das possíveis razões é porque esse povoamento apresenta árvores sem espaçamento definido e diferentes classes diamétricas, demonstrando que possivelmente foram realizados desramas e desbastes, sem critérios em maior ou menor quantidade em toda extensão do povoamento, tornando-o heterogêneo.

Apesar dos resultados obtidos nos modelos testados, optou-se em utilizá-los, pois se trata de um estudo científico que buscou testar os modelos e adquirir conhecimento. Os mesmos modelos não seriam utilizados em uma avaliação técnica, buscar ia-se alternativas para resolver esse problema, sendo testando outros modelos, ou alterando a metodologia medindo todas as árvores das parcelas, aumentando o número de unidades amostrais ou estratificando a área.

## 4.2 AJUSTE DA FUNÇÃO DE AFILAMENTO

A equação, polinômio de 5º grau, foi ajustada e submetida às análises estatísticas, obtendo-se os seguintes resultados (Tabela 6):

Tabela 6 - Coeficientes ajustados do polinômio de 5º grau e suas respectivas estatísticas.

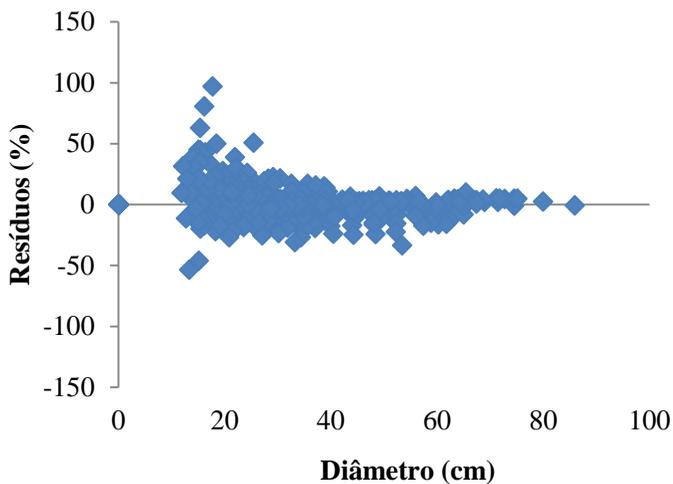
	<b>Coeficientes</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>S<sub>yx</sub></b>	<b>S<sub>yx</sub>(%)</b>
<b>β0</b>	1,1851	0,93	3,87	12,0
<b>β1</b>	-4,8312			
<b>β2</b>	23,8714			
<b>β3</b>	59,9479			
<b>β4</b>	66,9323			
<b>β5</b>	27,2168			

Fonte: O Autor.

Observa-se que a equação apresentou um coeficiente de determinação R<sup>2</sup> ajustado de 0,93 e um erro padrão da estimativa de S<sub>yx</sub> 12%.

Além das análises estatísticas foi avaliada a dispersão dos resíduos em relação ao diâmetro real. Foi observado o gráfico de distribuição juntamente com aos valores do coeficiente de determinação ajustado e do erro padrão da estimativa S<sub>yx</sub>%, buscando verificar o comportamento do modelo matemático em toda a linha de regressão. Analisando esse critério, foi possível observar que existe uma distribuição homogênea, sem tendenciosidade nas estimativas (Figura 10).

Figura 10 - Análise gráfica da dispersão dos resíduos do polinômio de 5º grau, em relação ao diâmetro real.

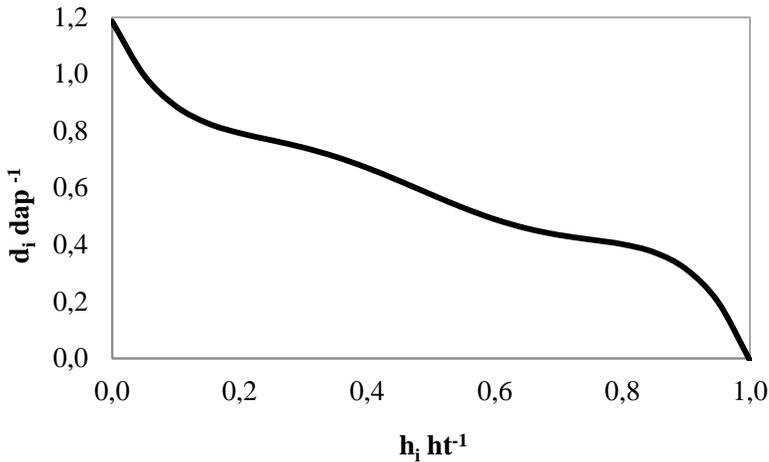


Fonte: O Autor.

Considerando a análise da Tabela 6 e a Figura 10, é possível afirmar que o ajuste do polinômio de 5º grau foi aceitável, por não apresentar tendência de superestimar ou subestimar os diâmetros.

Os dados da equação ajustada e sua representação gráfica são apresentados na Figura 11.

Figura 11 – Representação gráfica do perfil de afilamento obtido com a equação ajustada, apresentada abaixo.



$$\frac{d_i}{d_{ap}} = 1,185165 - 4,83121 \left(\frac{h_i}{h_t}\right) + 23,87143 \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^2 - 59,948 \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^3 + 66,93234 \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^4 - 27,2168 \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^5 \quad (20)$$

Fonte: O Autor.

O Polinômio de 5º Grau ou modelo de Schöepfer é considerado por muitos autores o mais adequado para a estimativa de diâmetro a qualquer altura do fuste. Souza et al. (2008), verificou que o modelo de Schöepfer para povoamentos de *Pinus taeda* L. localizados em Santa Catarina foi o modelo que melhor descreveu o perfil dos fustes, sem tendências e com resíduos de pequena variação. Em um estudo realizado por Yoshitani Jr. et al. (2012) com *Pinus taeda*, analisando também outros modelos constatou-se, que o modelo de Schöepfer obteve resultados satisfatórios para estimativa de diâmetro e volume ao longo do fuste, por se tratar de um modelo que descreve bem as extremidades superiores e inferiores do fuste. Ainda, Scolforo (1998) recomendou o modelo de afilamento principalmente para a estimativa uniforme do diâmetro ao longo do fuste associada à alta precisão que o mesmo oferece.

### 4.3 DETERMINAÇÃO DO VOLUME

Para a comparação dos métodos Área Fixa e Prodan o povoamento foi quantificado, e obteve-se o estoque volumétrico comercial, considerando um diâmetro mínimo de 10 cm, como também o volume de toras em diferentes sortimentos que são apresentados nos resultados a seguir (Tabela 7).

Tabela 7 – Comparação entre os Métodos de Amostragem considerando a estimativa do volume comercial.

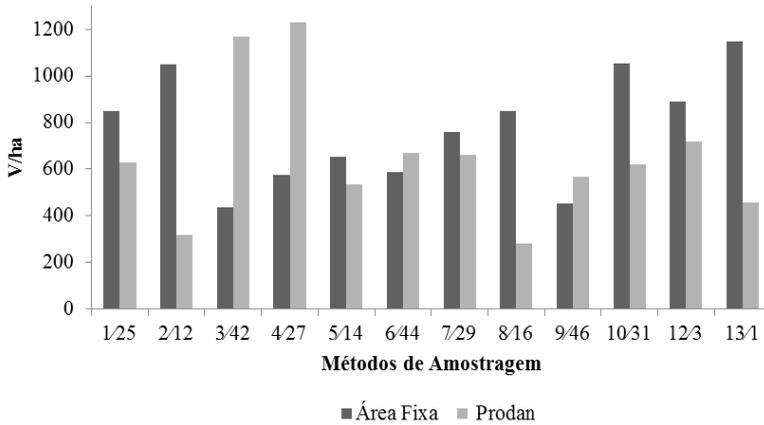
<b>Método</b>	<b>Volume Comercial Total (m<sup>3</sup>/ha)</b>	
	<b>Área Fixa</b>	<b>Prodan</b>
<b>Média</b>	766,0	606,1
<b>Desvio Padrão</b>	231,4	231,4
<b>Variância</b>	53.539,70	53.562,20
<b>Variância Média</b>	4.118,40	1.139,60
<b>Erro Padrão</b>	64,9	33,8
<b>Erro Absoluto</b>	139,9	68,0
<b>Erro Relativo</b>	18	11
<b>Número ideal de amostras</b>	18	25
<b>Número real de amostras</b>	13	47

Fonte: O Autor.

Com base nos cálculos obtidos pelos dois métodos, pôde-se observar algumas diferenças. O método de área fixa apresentou um volume comercial total de 766,0 m<sup>3</sup>/ha ( $\pm$  64,2 m<sup>3</sup>/ha) e um erro relativo de amostragem de 18%. Essa estimativa foi superior ao método do Prodan, que apresentou um volume comercial total de 606,1 m<sup>3</sup>/ha ( $\pm$ 33,8 m<sup>3</sup>/ha) e um erro relativo de amostragem de 11%, ambos com intervalo de confiança de 95%.

Comparando as parcelas de área fixa e Prodan que foram instaladas nos mesmos pontos de coordenadas UTM, observa-se que o método de área fixa estimou volumes superiores em 8 das 12 unidades amostrais (Figura 12).

Figura 12 - Volume por hectare em cada unidade amostral de acordo com os métodos de amostragem aplicados, comparando as parcelas de mesmo ponto amostral.



Fonte: O Autor.

Esta variabilidade no volume entre os métodos observa-se também entre as unidades amostrais conforme pode ser verificado nas tabelas 8 e 9 que representam a caracterização e quantificação do povoamento.

Tabela 8 - Caracterização e quantificação do povoamento pelo Método de Área Fixa e suas respectivas análises estatísticas.

	Nárv	G	vi	Volume por sortimento de tora			Volume Comercial	
				>40cm	30-40cm	20-30cm	10-20cm	Total
<b>Valores Totais</b>	<b>Árv total</b>	<b>m<sup>2</sup>/total</b>	<b>m<sup>3</sup>/ind</b>	<b>m<sup>3</sup>/total</b>				
Limite Inferior	5882	940,1	2,5	3789,6	4061,7	3097,2	1155,5	11531,5
$\bar{x}$	5189	865,8	2,3	3258,0	3677,8	2735,7	968,6	10640,1
Limite Superior	4495	791,5	2,1	2726,3	3293,9	2374,2	781,7	9748,7
<b>Valores por ha</b>	<b>Árv/ha</b>	<b>m<sup>2</sup>/ha</b>	<b>m<sup>3</sup>/ind</b>	<b>m<sup>3</sup>/ha</b>				
Limite Inferior	423	67,7	2,5	272,8	292,4	223,0	83,2	830,2
$\bar{x}$	374	62,3	2,3	234,6	264,8	197,0	69,7	766,0
Limite Superior	324	57,0	2,1	196,3	237,1	170,9	56,3	701,9
<b>Parcela</b>	<b>N/ha</b>	<b>G</b>	<b>vi</b>	<b>m<sup>3</sup>/ha</b>				
<b>1</b>	420	71,8	2,0	227,4	327,9	218,8	77,5	851,5
<b>2</b>	620	90,8	1,7	170,1	433,3	316,5	131,3	1051,3
<b>3</b>	240	37,6	1,8	81,0	189,4	120,2	43,6	434,2
<b>4</b>	280	48,0	2,1	160,7	225,8	141,4	48,4	576,3
<b>5</b>	340	54,3	1,9	182,1	230,4	174,3	67,4	654,2
<b>6</b>	160	46,6	3,7	381,5	117,2	75,9	11,8	586,4
<b>7</b>	320	63,1	2,4	299,3	254,0	161,7	43,5	758,5
<b>8</b>	480	71,1	1,8	158,3	346,3	239,4	106,5	850,5
<b>9</b>	200	34,6	2,3	116,8	178,0	117,9	38,5	451,2
<b>10</b>	320	76,3	3,3	561,4	264,1	191,1	36,9	1053,5
<b>11</b>	180	47,8	3,6	398,8	137,3	105,6	11,1	652,7
<b>12</b>	560	73,7	1,6	134,3	323,1	310,5	122,6	890,5
<b>13</b>	739	94,8	1,6	177,6	415,4	387,1	167,5	1147,7
<b>Média</b>	374	62,3	2,3	234,6	264,8	197,0	69,7	766,0
<b>Desvio Padrão</b>	180,1	19,3	0,8	138,0	99,6	93,8	48,5	231,4
<b>Variância</b>	32418,3	371,9	0,6	19044,8	9929,9	8805,4	2353,0	53539,7
<b>Variância da Média</b>	2493,7	28,6	0,0	1465,0	763,8	677,3	181,0	4118,4
<b>Erro Padrão</b>	49,9	5,3	0,2	38,3	27,6	26,0	13,5	64,2
<b>Erro Absouto</b>	108,8	11,7	0,5	83,4	60,2	56,7	29,3	139,8
<b>Erro Relativo</b>	29	19	20	36	23	29	42	18
<b>Número ideal de amostras</b>	42	19	21	58	27	41	75	18
<b>Número real de amostras</b>	13	13	13	13	13	13	13	13

Fonte: O Autor.

Tabela 9 - Caracterização e quantificação do povoamento pelo método de Prodan e suas respectivas análises estatísticas.

	Núrv	G	vi	Volume por sortimento de tora			Volume Comercial	
				>40cm	30-40cm	20-30cm	10-20cm	Total
Valores Totais	Árv total	m <sup>2</sup> /total	m <sup>3</sup> /ind	m <sup>3</sup> /total				
Limite Inferior	3994	705,4	12,7	2552,7	2500,7	1964,4	663,8	7949,3
$\bar{x}$	4356	748,0	13,3	2805,8	2709,1	2151,2	752,1	8418,2
Limite Superior	4718	790,5	13,9	3058,9	2917,6	2338,0	840,5	8887,1
Valores por ha	Árv/ha	m <sup>2</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ind	m <sup>3</sup> /ha				
Limite Inferior	288	50,8	12,7	183,8	180,0	141,4	47,8	572,3
$\bar{x}$	314	53,9	13,3	202,0	195,0	154,9	54,2	606,1
Limite Superior	340	56,9	13,9	220,2	210,0	168,3	60,5	639,8
Parcela	Nha	G	vi	m <sup>3</sup> /ha				
1	395	42,3	7,5	22,1	110,5	234,3	89,8	456,8
2	409	60,2	10,2	162,9	214,0	228,7	69,3	674,8
3	421	64,2	10,3	146,8	276,5	217,7	78,4	719,3
4	379	56,7	10,9	118,7	247,4	218,6	75,2	659,9
5	398	50,2	8,6	65,9	185,9	224,8	73,1	549,6
6	598	56,0	5,9	0,0	110,9	347,0	144,3	602,2
7	480	74,6	10,4	118,1	389,7	229,5	89,5	826,8
8	564	65,9	7,8	0,0	318,3	266,0	135,3	719,5
9	528	66,0	8,8	104,9	229,0	274,0	115,9	723,7
10	835	125,2	9,8	374,7	473,6	378,9	168,9	1396,0
11	160	32,5	14,2	149,3	115,6	78,9	23,4	367,2
12	141	28,3	13,3	116,4	122,5	63,7	15,7	318,3
13	221	51,4	16,5	296,9	160,0	107,7	21,9	586,5
14	239	46,9	14,2	266,2	112,3	128,1	29,7	536,2
15	147	43,9	21,1	323,2	100,3	71,3	13,6	508,4
16	114	24,7	14,7	133,0	76,4	60,7	10,6	280,8
17	164	40,0	15,6	265,9	74,7	88,1	17,5	446,1
18	422	62,8	9,8	41,8	384,7	188,2	87,6	702,3
19	349	52,2	9,9	148,8	204,4	179,5	66,2	598,8
20	503	71,7	9,8	172,9	302,6	237,9	114,5	827,9
21	357	70,2	14,2	398,3	151,6	201,5	49,8	801,2
22	122	41,2	22,8	333,4	87,4	45,6	11,7	478,1
23	179	35,5	14,0	164,4	148,9	81,8	24,9	420,0
24	183	42,4	16,1	242,0	120,9	90,0	18,6	471,5
25	402	59,2	9,7	148,9	224,2	180,7	76,5	630,3
26	441	74,5	9,8	191,9	278,2	227,4	48,8	746,2
27	884	119,4	8,8	173,8	437,4	448,3	171,1	1230,6
28	172	37,8	14,0	170,4	143,0	74,9	17,5	405,7
29	264	54,2	14,7	298,3	188,6	135,1	39,0	661,0
30	245	63,5	16,7	373,6	190,0	115,1	18,2	696,9
31	340	61,5	10,7	204,6	210,3	153,5	51,2	619,6
32	185	42,3	15,9	231,4	122,0	86,1	20,2	459,6
33	254	48,9	13,3	245,5	174,6	133,3	34,7	588,1
34	190	34,3	11,4	110,7	141,7	83,8	25,4	361,6
35	298	46,6	10,2	134,8	177,6	144,1	57,7	514,2
36	163	47,7	20,1	319,1	141,9	64,5	11,7	537,1
37	81	24,5	20,1	175,9	52,8	29,3	9,4	267,4
38	182	42,1	15,7	244,6	128,2	101,8	19,8	494,4
39	128	33,6	18,4	231,0	93,5	60,8	10,5	395,8
40	96	17,9	13,1	82,7	68,3	51,3	11,1	213,5
41	417	60,5	10,0	128,8	260,5	222,7	81,4	693,4
42	384	91,7	17,2	591,9	344,9	172,5	58,8	1168,2
43	375	54,0	10,1	76,3	313,1	160,3	88,3	638,0
44	369	58,9	11,2	104,9	342,2	140,5	81,0	668,6
45	226	69,6	20,8	527,3	150,1	87,4	26,5	791,3
46	187	47,1	17,9	309,5	152,0	82,8	24,3	568,7
47	148	36,5	19,4	251,6	114,2	80,6	16,7	463,1
<b>Média</b>	<b>314</b>	<b>53,9</b>	<b>13,3</b>	<b>202,0</b>	<b>195,0</b>	<b>154,9</b>	<b>54,2</b>	<b>606,1</b>
Desvio Padrão	178,8	21,0	4,1	124,9	102,9	92,2	43,6	231,4
Variancia	31953,0	441,7	17,0	15607,5	10583,8	8498,4	1902,6	53562,3
Varriância da Média	679,9	9,4	0,4	332,1	225,2	180,8	40,5	1139,6
Erro Padrão	26,1	3,1	0,6	18,2	15,0	13,5	6,4	33,8
Erro Absouto	52,5	6,2	1,2	36,7	30,2	27,1	12,8	68,0
Erro Relativo	17	11	9	18	15	17	24	11
Número ideal de amostras	54	26	17	62	46	58	99	25
Número real de amostras	47	47	47	47	47	47	47	47

Fonte: O Autor.

Observa-se a diferença do volume estimado para todo o povoamento obtendo-se 10.640,1 m<sup>3</sup> ( $\pm 891,39$  m<sup>3</sup>) para o método de Área Fixa e 8.418,2 m<sup>3</sup> ( $\pm 468,9$  m<sup>3</sup>) para o método de Prodan.

As discrepâncias entre os valores encontrados da média e do erro de amostragem para os métodos testados, principalmente para o método de Área fixa que apresentou um erro amostral de 18%, não significam que determinado método estimou corretamente o volume exato do plantio, pois isso só é possível com a realização de um inventário 100% (censo).

Este fato pode estar relacionado aos desbastes desuniformes realizados na área, que favoreceram a existência das discrepâncias diamétricas. Pode-se observar que a retirada de árvores influenciou diretamente no povoamento, com a retirada de alguns indivíduos possibilitou-se a abertura para que outros fossem privilegiados e obtivessem um incremento diamétrico e maior crescimento resultando nessa diferença encontrada entre os métodos na estimativa de volume. O método da área fixa por possuir unidades de área maior incluiu um número maior de indivíduos com diâmetros maiores o que influenciou diretamente no resultado.

#### 4.4 NÚMERO DE ÁRVORES

Além do volume é possível observar nas tabelas 8 e 9, que as variáveis quantitativas (número de árvores e área basal) obtiveram grande variabilidade.

O método de Área Fixa apresentou uma média maior de árvores por hectare (Tabela 10).

Tabela 10 - Comparação entre os Métodos de Amostragem considerando as estimativas de número de árvores por hectare e área basal por hectare.

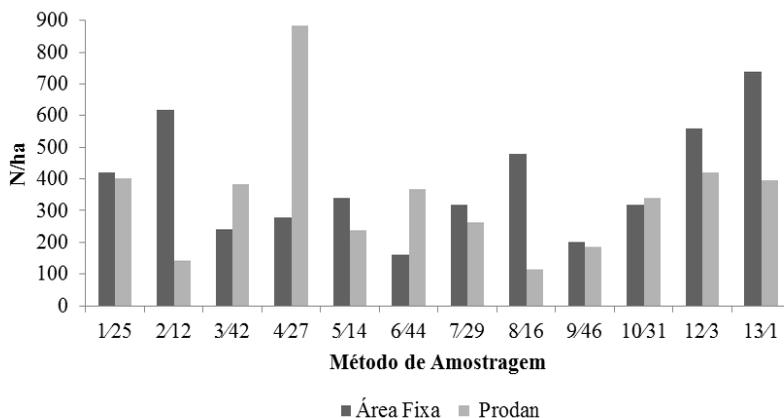
<b>Método</b>	<b>N/há</b>	
	<b>Área Fixa</b>	<b>Prodan</b>
<b>Média</b>	374	314
<b>Desvio Padrão</b>	180,0	178,7
<b>Variância</b>	32418,3	31952,9
<b>Variância da Média</b>	2493,72	679,85
<b>Erro Padrão</b>	50	26
<b>Erro Absoluto</b>	108,8	52,5
<b>Erro Relativo</b>	29	17
<b>Número ideal de amostras</b>	42	54
<b>Número real de amostras</b>	13	47

Fonte: O Autor.

O número de árvores por hectare, estimado a partir das unidades amostrais, variou de 160 a 739 no método de Área Fixa e de 81 a 884 no método de Prodan, evidenciando que partes do povoamento sofreram desbastes mais intensos, onde foram retirados árvores em maior quantidade.

Comparando as parcelas de Área Fixa e Prodan que foram instaladas nos mesmos pontos de coordenadas UTM (Figura 13). Pode-se observar que o método de área fixa estimou um número de árvores maior, em 8 das 12 unidades amostrais. Observa-se ainda que a unidade 27 do método de Prodan apresentou um número muito superior de indivíduos, o que pode ter acontecido é que nesta unidade, os indivíduos estavam muito próximos e a área da parcela se tornou pequena e na estimativa por hectare resultou em um número superior de indivíduos. O mesmo aconteceu para as parcelas 2,8 e 13 pelo método de área fixa.

Figura 13 – Número de árvores por hectare em cada unidade amostral de acordo com os métodos de amostragem aplicados, correlacionando as parcelas de mesmo ponto amostral.



Fonte: O Autor.

Druszcz et al., (2010), quando compararam os métodos de área fixa e área variável (Bitterlich) com parcelas de área circular, em plantio de *Pinus taeda*, localizado no município de Carambeí –PR, quanto à precisão e eficiência na estimativa das variáveis DAP médio, número de árvores, área basal e volume total por hectare, não encontraram diferenças significativas entre os métodos. Contudo o método de área fixa com parcela circular foi mais preciso e eficiente para a estimativa das variáveis DAP médio e número de árvores, pois se trata de um método que a seleção dos indivíduos é proporcional à área da parcela. O método de área variável, 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 total.

#### 4.5 DETERMINAÇÃO DA ÁREA BASAL

Comparando os valores de área basal entre os métodos, pôde-se verificar que o método de área fixa apresentou área basal de 62,33 m<sup>2</sup>/ha ( $\pm 5,35$  m<sup>2</sup>/ha) e um erro relativo de amostragem de 19%. O método de Prodan apresentou área basal de 53,85 m<sup>2</sup>/ha ( $\pm 3,07$  m<sup>2</sup>/ha) e um erro relativo de amostragem de 11%. Intervalo de confiança de 95% de probabilidade de acerto.

Tabela 11 – Comparação entre os Métodos de Amostragem considerando as estimativas de área basal por hectare.

Método	G (m <sup>2</sup> /ha)	
	Área Fixa	Prodan
<b>Média</b>	62,3	53,8
<b>Desvio Padrão</b>	19,3	21,0
<b>Variância</b>	372,0	441,7
<b>Variância da Média</b>	28,6	9,4
<b>Erro Padrão</b>	5,3	3,0
<b>Erro Absoluto</b>	11,6	6,1
<b>Erro Relativo</b>	19	11
<b>Número ideal de amostras</b>	19	26
<b>Número real de amostras</b>	13	47

Fonte: O Autor.

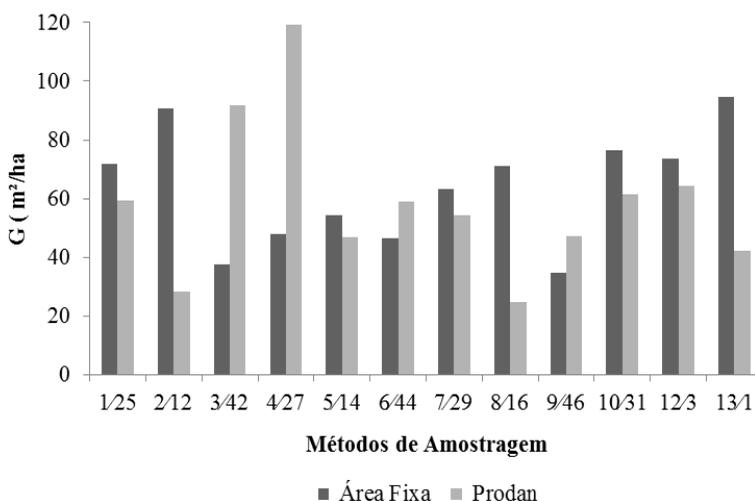
O erro de amostragem de 19 % para o método de Área Fixa pode ser explicado por dois motivos: o número de parcelas utilizadas foi menor do que o necessário para captar a variabilidade do local e o espaçamento irregular das árvores na área, fez com que existam locais com baixa densidade de indivíduos e outros com alta densidade. Considerando que as parcelas foram alocadas aleatoriamente, o espaçamento irregular favoreceu a inclusão de árvores com maior diâmetro e também áreas de maior densidade, aumentando os estimados valores e erros para todas as variáveis quantitativas apresentadas.

Aumentar o número de parcelas seria uma solução para reduzir os erros, contudo demandaria um tempo maior a campo aumentando os custos do inventário, inviável para essa proposta.

Comparando as parcelas de área fixa e Prodan que foram instaladas nos mesmos pontos de coordenadas UTM (Figura 14). Pode-se observar que o Método de Área Fixa estimou uma área basal na maior parte das unidades amostrais. Observa-se que as unidades amostrais 42 e 27 no método de Prodan apresentaram um valor superior na área basal comparando ao método de área fixa, que pode estar associado ao tamanho da parcela que é variável, e neste ponto observou-se uma alta densidade de indivíduos que influenciou no tamanho da parcela e estes apresentaram diâmetros superiores, o que explica a discrepância quando

comparado ao método de área fixa. Ainda considerando as unidades amostrais 2 e 13 do método de área fixa observa-se que estas também estimaram valores superiores na área basal quando comparado ao método de Prodan, fato este que pode ser atribuído, ao espaçamento e a baixa densidade de indivíduos, o que favoreceu a ocorrência de indivíduos com diâmetros superiores.

Figura 14 – Área Basal por hectare em cada unidade amostral de acordo com os métodos de amostragem aplicados, correlacionando as parcelas de mesmo ponto amostral.



Fonte: O Autor.

Segundo Soares et al. (2011) a precisão é um conceito qualitativo e usado para caracterizar a magnitude dos erros presente na medida, ou seja, quanto menor a magnitude dos erros, maior a precisão requerida da medida em estudo. Ao analisarmos os resultados apresentados verifica-se que o método de Prodan apresentou os menores erros nas estimativas, ou seja foi mais preciso.

Miranda et al., (2015) ao comparar os métodos de amostragem Área Fixa, Bitterlich e Prodan quanto à precisão e eficiência relativa em um povoamento de teca, observaram que para as estimativas das variáveis DAP e número de árvores por hectare, o método de área fixa foi o mais preciso. No entanto, para as estimativas de área basal e volume os métodos de áreas variáveis se mostraram mais precisos,

demonstrando que a precisão não está diretamente associada à eficiência relativa e que métodos de amostragem menos usuais que o de área fixa podem ser utilizados com precisão e eficiência, em inventários florestais.

#### 4.6 EFICIÊNCIA RELATIVA

O tempo de medição das unidades foi cronometrado desde o início da demarcação e instalação das parcelas até o fim das atividades realizadas nelas. Essa operação será realizada apenas uma vez, com objetivo avaliar a eficiência dos métodos. O tempo médio de instalação e obtenção das estimativas no povoamento está apresentado nas tabelas 12 e 13.

Tabela 12 – Tempo de execução do inventário pelos métodos Área Fixa e Prodan.

<b>Método de Amostragem</b>	<b>Número unidades amostrais</b>	<b>Área medida (% da área total)</b>	<b>Tempo médio por Parcela (min./seg.)</b>	<b>Tempo total (h/min.)</b>
<b>Área Fixa</b>	13	5	58:15	12:36
<b>Prodan</b>	47	7	13:00	09:51

Fonte: O Autor.

Observa-se que o método de área fixa apresentou o maior tempo de execução do inventário, 12 horas e 36 minutos, enquanto o tempo de execução para método de Prodan foi de 09 horas e 51 minutos.

A eficiência relativa para as estimativas das variáveis é apresentada na Tabela 13.

Tabela 13 - Eficiência relativa comparada, quando aplicados os métodos de amostragem de área fixa e Prodan.

<b>Método de amostragem</b>	<b>Tempo (h)</b>	<b>N (árv/ha)</b>		<b>G (m<sup>2</sup>/ha)</b>		<b>Volume (m<sup>3</sup>/ha)</b>	
		<b>CV</b>	<b>ER</b>	<b>CV</b>	<b>ER</b>	<b>CV</b>	<b>ER</b>
<b>Á. Fixa</b>	12,60	0,48	0,34	0,31	0,83	0,30	0,87
<b>Prodan</b>	9,85	0,57	0,31	0,39	0,67	0,38	0,70

CV = Coeficiente de variação; ER = Eficiência relativa.

Fonte: O Autor.

O método que apresentou maior valor e foi o mais eficiente para todas as estimativas, considerando a equação no item 3.5.1 foi o método de área fixa. A eficiência do método de área fixa esta relacionada ao coeficiente de variação que foi menor quando comparado ao método de Prodan. Apesar de o método apresentar maior tempo de execução, esse fator não influenciou na sua eficiência relativa.

O método de Prodan apresentou maior agilidade em sua execução, porém apresentou o maior coeficiente de variação, afetando o resultado da sua eficiência.

Analisando os resultados obtidos com os encontrados na literatura pode-se constatar a semelhança com o estudo de outros autores. Cesaro et al. (1994), 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 Prodan.

O mesmo resultado não foi encontrado por Moscovich et al. (1999), no estudo desenvolvido em uma floresta de *Araucaria angustifolia*, ao comparar os métodos de amostragem área fixa e área variável na determinação da eficiência de cada um deles nas estimativas dos parâmetros quantitativos (volume comercial com casca, número de árvores e área basal) e qualitativos (abrangência das espécies) da população, verificou que não existe diferença significativa na estimativa de volume, área basal e número de árvores por hectare. Porém constatou a eficiência relativa dos métodos de áreas variáveis devido ao tempo gasto na estimação dos parâmetros. Os métodos de áreas variáveis apresentaram melhor conjunto de resultados, tanto quantitativos como qualitativos em menor tempo.

A precisão do método não está diretamente associada à eficiência relativa, ou seja, o método que obteve os melhores resultados para a precisão, não precisa necessariamente apresentar os melhores resultados para a eficiência relativa. Dependendo da finalidade do inventário, a precisão não deve ser o único parâmetro a ser levado em consideração. Em inventários com alto rigor quantitativo, pode-se optar pelo método mais preciso, mas para inventários de levantamento rápido de estoque ou estratégicos, pode-se optar por outros métodos de amostragem, por aquele que apresente maior eficiência relativa (MIRANDA et al., 2015).

Portanto, constatou-se que o método de área fixa foi mais eficiente, contudo não foi o mais preciso, pois apresentou os maiores erros de amostragem nas estimativas das variáveis dendrométricas. Considerando que nos inventários florestais, variáveis dendrométricas

confiáveis são imprescindíveis para o planejamento florestal, o ideal é escolher o método que apresente um menor erro amostral e que ao mesmo tempo seja eficiente. Porém dependendo do tipo de povoamento, nem sempre isso será possível, a decisão de qual método utilizar fica a critério do objetivo pré-estabelecido e qual o rigor se deseja obter.

## 5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, é possível concluir que:

- O método de amostragem de área fixa foi mais eficiente, pois apesar do maior tempo dispendido, o coeficiente de variação entre as unidades amostrais foi menor.

Entretanto, o método de amostragem de Prodan apresentou maior precisão, pois apresentou menores erros de amostragem para estimar as variáveis dendrométricas, possivelmente, em função do maior número de unidades amostrais.

## REFERÊNCIAS

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

BARROS, D. A.; MACHADO, S.A.; ACERBI JR., F. W.; SCOLFORO, J. R. S. Comportamento de Modelos Hipsométricos Tradicionais e Genéricos para Plantações de *Pinus oocarpa* em Diferentes Tratamentos. **Bol. Pesq. FI.**, Colombo-PR, n. 45, p. 3-28, 2002.

CESARO, A.; ENGEL, O. A.; FINGER, C. A. 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. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria-Rs, v.4, n.1, p. 97-108, 1994.

CUNHA, S. C. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Manaus, 1ª Ed. p. 49-52, 2004.

DREAMSTIME. **Image tree pine**. Disponível em:<  
<http://www.dreamstime.com/stock-image-tree-pine-isolated-pinus-see-my-other-works-portfolio-image35674191>>. Acesso em 25 Nov.2015.

DRUSZCZ, J. P.; NAKAJIMA, N. Y.; PÉLLICO NETO, S.; YOSHITANI JUNIOR, M. Comparação entre os métodos de amostragem de Bitterlich e de área fixa com parcela circular em plantação de *Pinus taeda*. **Revista Floresta**, Curitiba-PR, v.40, n.4, p. 739 – 754, out./dez. 2010.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

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

FIGUEIREDO, R.; NASCIMENTO, A. F.; FIGUEIREDO, A. F.; MIRANDA, G. M.; ARCE, J. E.; DIAS A. N. **Comparação de modelos para expressar a relação hipsométrica em plantios de *Pinus taeda* L.** Universidade Estadual do Centro-Oeste/Setor de Ciências Agrárias, Irati-PR, 2009.

GOMES, K. B. P.; MACHADO FILHO, V. A.; SILVA, V. P.; SILVA, A. G. Comparação dos métodos de amostragem casual simples: Bitterlich e Prodan. **Revista Agrogeoambiental**, v. 3, p. 101-104, 2011.

LEITE, H.G.; ANDRADE, V. C. L. Uso do método da altura relativa em inventário florestal de um povoamento de pinus. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.6, p. 865-873, 2004.

MACHADO, S. do A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba: Ed. dos Autores, p. 309, 2003.

MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; SILVA, L. C. R.; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TÊO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.56, p.5-16, jan./jun., 2008.

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.

MEUNIER, I. M. J.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C. **Inventário florestal**: Programas de Estudo. Recife: Imprensa Universitária da UFRPE, 2001.

MIGUEL, E. P. **Desenvolvimento de equações hipsométricas e volumétrica para estimar o volume total e comercial de *Eucalyptus urophylla* na região norte do estado de Goiás**. Dissertação de Mestrado, apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Paraná. Curitiba: UFPR, 2009.

MIRANDA, D. L. C.; FRANCO, J.; SANTOS, J. P. SANQUETTA, C. R., DALLA CORTE, A. P. Precisão e eficiência relativa de métodos de

amostragem em teca. **Pesquisa Floresta Brasileira**, Colombo, v.35, n.83, p. 247-254, 2015.

MORAIS FILHO, A. D.; BRAVO, C. V.; ROQUE, R. A. M.; ANDRADE, W. F.; **Utilização de métodos estatísticos em inventário florestal**. Seminário apresentado à disciplina estatística experimental. USP/ESALQ, Departamento de Ciências Exatas, Piracicaba, 2003.

MOSCOVICH, F. A.; BRENA, D. 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.

NASCIMENTO, A. R. T.; SCARIOT, A.; SILVA, J. A.; SEVILHA, A. C.; Estimativas de área basal e uso do relascópio de Bitterlich em amostragem de Floresta Estacional Decidual. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 02, p. 169-176, 2004.

PÉLLICO NETO, S.; BRENA, D. A. **Inventário florestal**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1997.

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

SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICK, L.F.; CORTE, A.P.D.; FERNANDES, L.A.V. **Inventários florestais: planejamento e execução**. Curitiba: UFPR, 2006.

SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICK, L.F.; CORTE, A.P.D.; RODRIGUES, L.A. **Inventários florestais: planejamento e execução**. Curitiba: UFPR, 3ª Ed. 2014.

SCHNEIDER, P. **Análise de Regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2ª Ed. Santa Maria: UFSM/CEPEF 1998.

SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. **Inventário florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997.

SCOLFORO, J.R.S.; RIOS, M.S.; OLIVEIRA, A.D. de; MELLO, J.M. de; MAESTRI, R. Acuracidade de equações de afilamento para

representar o perfil do fuste de *Pinus elliottii*. **Revista Cerne**, v.4, n.1, p.100-122, 1998.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F. de.; SOUZA, A. L. de. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa-MG. 2ª ed., Ed. da UFV, 2011.

SOARES, T. S.; SCOLFORO, J. R. S.; FERREIRA, S. O.; MELLO, J. M. Uso de diferentes alternativas para viabilizar a relação hipsométrica no povoamento florestal. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 28, n. 6, p. 526-528, 2004.

SOUZA, C.A.M. de; CHASSOT, T.; FINGER, C.A.G.; SCHNEIDER, P.R.; FLEIG, F.D. Modelos de afilamento para o sortimento do fuste de *Pinus taeda* L. **Ciência Rural**, Santa Maria-RS, v.38, n.9, p.2506-2511, 2008.

VASQUES, A.G. Método de amostragem em linhas: desenvolvimento e aplicação em uma floresta implantada com *Pinus taeda* L. **Revista Floresta**, Curitiba-PR, v.20, n.1/2, p.79-80, 1990.

YOSHITANI JUNIOR, M.; NAKAJIMA, N.Y.; ARCE, J.E.; MACHADO, S.A.; DRUSZCZ, J.P.; HOSOKAWA, R.T.; MELLO, A.A.de. Funções de afilamento para plantios desbastados de *Pinus taeda*. **Revista Floresta**, Curitiba-PR, v.42, n.1, p.169-176, 2012.