

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
DOUGLAS DE CÓRDOVA CARNEIRO

**USO DE SENSORIAMENTO REMOTO COMO FERRAMENTA PARA ESTIMAR  
CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DE UM POVOAMENTO DE *Pinus taeda*  
L.**

Curitibanos

2015

**Douglas de Córdova Carneiro**

**USO DE SENSORIAMENTO REMOTO COMO FERRAMENTA PARA ESTIMAR  
CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DE UM POVOAMENTO DE *Pinus taeda*  
L.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Banca Examinadora da  
Universidade Federal de Santa  
Catarina para a obtenção do grau de  
bacharel em Engenharia Florestal.  
Orientador: Prof. Dr. Mário Dobner Jr.  
Co-orientador: Prof. Dr. Alexandre ten  
Caten.

Curitiba

2015



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

DOUGLAS DE CÔRDOVA CARNEIRO

## **USO DE SENSORIAMENTO REMOTO COMO FERRAMENTA PARA ESTIMAR CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DE UM POVOAMENTO DE *PINUS TAEDA***

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: Prof. Dr. Mário Dobner Jr.**  
**Co-orientador: Prof. Dr. Alexandre ten Caten**

Data da defesa: 2 de dezembro de 2015.

### **MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:**

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

**Membro Titular: Prof. Dr. Alexandre ten Caten**  
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

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à minha família que sempre esteve ao meu lado, apoiando-me nas decisões, ajudando-me nos trabalhos de campo, assim também como minha namorada que teve papel importante, sempre que eu achava que as coisas não dariam certo, ela estava lá para me levantar e me apoiar. Agradeço também os meus companheiros de estágio que me ajudaram diretamente no trabalho. E, não menos importante, aos meus professores/orientadores que possibilitaram que esse trabalho fosse realizado. Obrigado.

## RESUMO

O sensoriamento remoto é uma ferramenta cuja aplicação é crescente em áreas florestais e agrônômicas. O uso de tecnologias de sensoriamento remoto em inventários florestais permite estimar as características dendrométricas dos povoamentos em tempo reduzido e, conseqüentemente, com menor custo. Mensurações de campo (dap, altura, cubagem) são fundamentais para estimativa do volume e qualificação da produtividade de um determinado local, porém são atividades que demandam muito tempo. Tais operações no campo podem ser substancialmente reduzidas quando combinadas ao sensoriamento remoto. Com o presente estudo, objetivou-se utilizar o sensoriamento remoto combinado ao inventário tradicional para estimar características individuais e coletivas de um povoamento de *Pinus taeda*. Para isso foram mensurados o diâmetro e altura de 30 árvores no campo, com coordenadas geográficas conhecidas. As copas destas árvores foram então vetorizadas com auxílio do software Quantum GIS para a determinação das áreas das copas. Os valores coletados em campo foram correlacionados às áreas das copas, permitindo, assim, estimar os diâmetros e alturas das árvores presentes nas unidades amostrais, anteriormente medidos de forma tradicional. Os resultados mostram que foi possível a utilização do sensoriamento remoto para estimativa de características individuais e coletivas. Entretanto, constatou-se que o número de árvores coletadas para a construção da correlação 'área de copa x dap' pode não ter sido suficiente, motivo pelo qual as estimativas não atingiram precisão equivalente à obtida no inventário convencional. Conclui-se que a combinação do inventário florestal convencional com ferramentas do sensoriamento remoto possui um grande potencial de uso. Entretanto, quanto maior a precisão e o nível de detalhamento requerido nas quantificações dendrométricas, maior deverá ser a intensidade do inventário convencional para a construção de correlações robustas dos dados de campo com as variáveis obtidas pelo sensoriamento remoto.

**Palavras-chave:** Dendrometria. Inventário Florestal. SIG.

## ABSTRACT

Remote sensing is a tool which application is growing in forest and agronomic areas. The use of remote sensing technologies for forest inventories allows the estimation of dendrometric characteristics of settlements in a reduced time and, therefore, at reduced cost. Field measurements (dbh, height, scaling) are fundamental to estimate the quantity and qualification of the productivity of a given site. However, those activities require a lot of time. Such operations in the field can be substantially reduced when combined with remote sensing. With aid of the present study, the focus was to use the use the remote sensing combined to traditional inventory in order to estimate individual and aggregate characteristics of a stand of loblolly pine. For this, the diameter and height of 30 trees were measured in the field with known geographic coordinates. The tops of these trees were then vectorized with aid of Quantum GIS software in order to determine the areas of these treetops. The data collected in the field were correlated to the areas of the treetops, allowing to estimate the diameter and height of trees present in the sample units, previously measured in the traditional way. The results show that it was possible to use remote sensing to estimate individual and aggregate characteristics. However, it was noticed that the number of trees collected for the construction of the correlation 'top area x dbh' may not have been enough, which is why the estimations did not achieve comparable accuracy to that obtained in the conventional inventory. It was concluded that the combination of conventional forest inventory with remote sensing tools possess great potential for use. However, the higher the precision and level of detail required in dendrometric quantifications, the greater will be the intensity of conventional inventory in order to build robust correlations of field data with the variables obtained by remote sensing.

**Keywords:** Dendometry. Forest Inventory. GIS.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Mapa de localização da área em que o projeto foi realizado.....	22
<b>Figura 2</b> - Área total obtida após a medição com RTK, com área total de 20,40 ha.	23
<b>Figura 3</b> - Área em que o experimento foi realizado. Área equivalente a 15,04 ha. .	23
<b>Figura 4</b> - Mapa com grade de coordenadas geográficas utilizado para alocar as parcelas no campo. ....	24
<b>Figura 5</b> - Localização das parcelas alocadas na área do experimento. ....	25
<b>Figura 6</b> - Representação das 30 árvores que forma coletadas com auxílio do RTK. ....	27
<b>Figura 7</b> - Vetorização das copas das árvores com imagem do Google Earth. ....	28
<b>Figura 8</b> - Imagem referente à divisão dos estratos. ....	30
<b>Figura 9</b> - Gráfico de ajuste da equação e nuvem de pontos referente ao DAP e área da copa.....	32
<b>Figura 10</b> - Gráfico de ajuste da equação e nuvem de pontos referente à altura e a área da copa. ....	33

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Estatísticas do ajuste realizado para a equação volumétrica. ....	29
<b>Tabela 2</b> - Área basal, DAP, altura e volume das parcelas.....	29
<b>Tabela 3</b> - Área basal, DAP, altura e volume das parcelas do estrato 1.....	31
<b>Tabela 4</b> - Área basal, DAP, altura e volume das parcelas do estrato 2.....	31
<b>Tabela 5</b> - Estatísticas de regressão realizada para área da copa em função do DAP.....	32
<b>Tabela 6</b> - Estatísticas de regressão realizada para área da copa em função do DAP.....	32
<b>Tabela 7</b> - DAP, altura, área basal e volume das parcelas do estrato 1 feitas pela imagem.....	33
<b>Tabela 8</b> - DAP, altura, área basal e volume das parcelas do estrato 2 feitas pela imagem.....	33



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DAP – Diâmetro à altura do peito, em centímetros.  
g – Área transversal, em m<sup>2</sup>/ha.  
G – Área basal, em m<sup>2</sup>/ha.  
vi – Volume individual, em m<sup>3</sup>.  
V – Volume total, em m<sup>3</sup>.  
ha – Hectare  
GPS – Sistema de posicionamento global por satélite.  
SIG – Sistemas de informações geográficas.  
SR – Sensoriamento Remoto.  
REM – Radiação eletromagnética.  
TM – *Thematic Mapper*.  
SPOT – *Systheme Probatoire d'Observation de la Terre*.  
SAR – *Synthetic Aperture Radar*.  
VANT – Veículo aéreo não tripulado.  
LASER – *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*.  
LIDAR – *Light Detection and Ranging*.  
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis.  
RTK – *Real Time Kinematic*.

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação (1)</b> - Área transversal.....	25
<b>Equação (2)</b> - Volume individual por Schumacher-Hall.....	25
<b>Equação (3)</b> - Volume total da parcela.....	26
<b>Equação (4)</b> - Volume total por ha.....	26
<b>Equação (5)</b> - Número ideal de amostras.....	26
<b>Equação (6)</b> - Intervalo de classe médio.....	26
<b>Equação (7)</b> - Intervalo de classe da população.....	27
<b>Equação (8)</b> - Equação ajustada.....	29
<b>Equação (9)</b> - DAP estimado remotamente.....	31
<b>Equação (10)</b> - Altura estimada remotamente.....	32

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	12
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	Objetivo geral	13
1.1.2	Objetivos específicos	13
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	14
2.1	SENSORIAMENTO REMOTO (SR)	14
2.1.1	Classificação de imagens	14
2.1.2	Aplicação do SR em florestas implantadas	15
2.1.3	Estudos florestais a partir do SR	16
2.2	INVENTÁRIO FLORESTAL	19
2.2.1	Processos de amostragem	20
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	22
3.1	LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	22
3.2	MAPEAMENTO DO LOCAL	22
3.3	INVENTÁRIO DE CAMPO	24
3.4	INVENTÁRIO FEITO COM AUXÍLIO DO SENSORIAMENTO REMOTO	27
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	29
4.1	AJUSTE DE EQUAÇÃO	29
4.2	INVENTÁRIO DE CAMPO	29
4.3	INVENTÁRIO FEITO COM AUXÍLIO DO SENSORIAMENTO REMOTO	31
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	35
	<b>REFERÊNCIAS</b>	36

## 1 INTRODUÇÃO

O Sensoriamento Remoto (SR) é uma ferramenta amplamente utilizada para aplicações florestais. É muito utilizado para o mapeamento da vegetação, porém pode ser usado também como uma alternativa para diminuição de custos na obtenção de dados para o inventário florestal. É um método que pode complementar os métodos tradicionais.

Outra ferramenta também utilizada na área florestal é o geoprocessamento, que utiliza dados oriundos dos GPSs (Sistema de Posicionamento Global por satélite) e dos SIGs (Sistemas de informações geográficas). O processamento de informações através do GPS e do SIG nos permite avaliar características de uma vegetação ou povoamento de uma forma mais rápida e isso possibilita uma mudança no planejamento das atividades, visto que é possível uma otimização das análises a serem realizadas. O tempo médio para obtenção dos dados através desse processo pode ser diminuído por semanas e isso acaba justificando a alta demanda por essas tecnologias (BOLFE, 2002).

O inventário florestal é a principal ferramenta do manejo e também uma das mais trabalhosas a se fazer. Essa atividade envolve todo um planejamento que diz respeito a qual método será utilizado, a área em que será efetuada. O inventário florestal exige uma equipe capacitada para realizar o processo, além disso, é também uma atividade que depende de questões climáticas.

O conhecimento e obtenção de informações confiáveis sobre um povoamento são os primeiros passos, para o planejamento adequado da exploração desses recursos de uma forma sustentável. O inventário florestal por meio da teoria de amostragem é a ferramenta utilizada para obtenção dessas informações com tais níveis de precisão exigidos para o “bom manejo florestal” e, também, para aprovação perante aos órgãos legais (AVARENGA, 2012).

Embora as medições de campo em povoamentos florestais demandem muito tempo e recursos financeiros, esta é base para estimativa do volume e qualificação da produtividade em determinado local, sendo o volume fundamental na fase de planejamento da produção para qualquer empresa florestal. (MORAIS, 2003).

Nesse contexto, a adoção de novas tecnologias e técnicas de sensoriamento remoto para o inventário florestal permitem a geração de estimativas de grande precisão do volume da madeira para cada talhão manejado. Ou seja, enquanto as técnicas convencionais nos dão estimativas volumétricas precisas para áreas grandes, como por exemplo, estratos ou conjuntos de talhões, as técnicas mais desenvolvidas nos permitem tomar decisões de manejo ao nível de talhão, garantindo um máximo retorno financeiro. (ANDRADE, 2013)

O uso do sensoriamento remoto para inventário florestal seria muito interessante pois a partir da utilização de imagens de satélite e do processamento das mesmas, poderíamos medir a área da copa, por exemplo, e assim a partir de amostragens reduzidas na população, ajustar modelos matemáticos que expressem a relação das variáveis de obtenção possíveis via sensoriamento remoto com as variáveis convencionais de diâmetro à altura do peito (DAP), altura (H) e volume individual ( $v_i$ ).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Com o presente estudo, objetivou-se utilizar o sensoriamento remoto combinado ao inventário tradicional para estimar características individuais e coletivas de um povoamento de *Pinus taeda L.*

### 1.1.2 Objetivos específicos

A partir de imagens de satélite, medir a área de copa das árvores.

Estimar variáveis dendrométricas individuais (dap, h, v) e coletivas, área basal (G) e volume total (V) para um povoamento de *Pinus taeda L.* a partir do sensoriamento remoto.

Comparar os dados obtidos com o sensoriamento remoto com os dados do inventário feito a campo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 SENSORIAMENTO REMOTO (SR)

SR é conceituado de maneira mais usual, como sendo uma técnica utilizada para estudo de objetos, em que os dados coletados por instrumentos, não estejam em contato direto com os mesmos (AVERY; BERLIN, 1992; MENESES, 2001).

Outros autores como Florenzano (2002) e Campbell (1996), restringem esse conceito ao uso destes sensores para o monitoramento da superfície terrestre. Para esses o sensoriamento é a utilização de sensores para a captação de imagens da superfície terrestre, utilizando, para isso, a energia refletida ou emitida por esta superfície.

O princípio que envolve o sensoriamento remoto nada mais é que a energia refletida ou emitida pela superfície terrestre. Para que isso faça sentido, o SR depende de três elementos fundamentais:

**Sensor:** aparelho que capta a energia refletida ou emitida em diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético.

**Radiação eletromagnética (REM):** junção de campo magnético e campo eletromagnético que se propagam no vácuo transportando energia.

**Alvo:** corpo em estuque que, em função de sua natureza (física, química e biológica), reflete a energia, em diferentes comprimentos de onda no espectro eletromagnético (FLORENZANO, 2002).

#### 2.1.1 Classificação de imagens

A classificação de imagens pode ser de forma visual, baseada pixel a pixel ou baseada em objetos.

A classificação visual é realizada com base em objetos ou segmentos de imagem, uma vez que ficaria muito difícil ao interprete classificar a um nível de detalhamento tão pequeno quanto o pixel. Já a classificação pixel a pixel é feita de maneira automatizada, por computação, em que algoritmos especializados classificam ao nível de detalhamento (DEFINIENS, 2003).

Para cada objeto, são calculadas características do objeto e arquivadas em bancos de dados. Em comparação às concepções de classificação baseadas em

pixel, que somente utilizam as características espectrais, os objetos de imagem conhecem, já no estado não classificado, os seus vizinhos e contêm diversas informações adicionais, tais como textura, forma, relações com, sobre, ou sub-objetos e diversas outras (ANDERSEN et al., 2005).

Dentro desse contexto de classificação de imagens sabemos que as bandas situadas na região visível do espectro eletromagnético estão relacionadas à atividade fotossintética, as bandas do infravermelho próximo com a estrutura do dossel, e as bandas do infravermelho médio com ao conteúdo de água na folha.

### 2.1.2 Aplicação do SR em florestas implantadas

Em planejamento florestal, é comum que a base de informações seja oriunda de dados remotos, obtidos por imagens de satélites, fotografias aéreas e imagens de radar. Moreira (1984) relata que os satélites da série Landsat aparecem em destaque, quando se objetiva o monitoramento dos recursos florestais no Brasil, uma vez que eles fornecem dados com características multiespectrais e repetitividade a cada dezesseis dias a um custo irrisório quando comparados aos métodos alternativos.

Nas empresas do setor florestal, uma atividade que exige o monitoramento contínuo é o inventário de suas áreas plantadas, haja vista o seu caráter dinâmico, caracterizado pela variabilidade de estágios de desenvolvimento e de espécies de cada talhão, áreas afetadas por incêndios, pragas, controle de corte e plantio, entre outros fatores (SOUZA et al., 2007).

Diferentes tecnologias do SR têm sido utilizadas para o mapeamento, atualização de inventários florestais e avaliação de danos florestais, por meio de fotografias aéreas e imagens digitais. A rápida evolução tecnológica de sensores remotos proporciona a obtenção de dados digitais com uma resolução e agilidade espacial cada vez maior.

Bolfe *et al.* (2003) levantaram os povoamentos florestais a partir de técnicas de classificação digital supervisionada, pelo método de máxima verossimilhança, no qual o algoritmo de classificação consiste num princípio estatístico paramétrico, considerando as classes envolvidas numa função densidade de probabilidade gaussiana. Tais classes temáticas foram estabelecidas em função dos temas de interesse: florestas implantadas de *Pinus* sp., *Eucalyptus* sp. e florestas nativas (florestas primárias, florestas secundárias, mata de galerias e capoeiras).

Ducati *et al.* (1999), observou como as espécies de árvores *Araucaria angustifolia*, *Eucalyptus* sp. e *Pinus elliottii* apresentam reflectâncias diferentes, nas bandas Landsat. Para isso, foi usado sensibilidade diferencial do sensor que opera o *Thematic Mapper* (TM) a bordo do satélite Landsat – 5, com respeito às reflectâncias de várias espécies vegetais que compõem as cenas imageadas. A partir disso, foi possível separar estas espécies e quantificar as áreas ocupadas por cada uma.

### 2.1.3 Estudos florestais a partir do SR

#### 2.1.3.1 Estudos com satélites

Alguns estudos que relatam o uso de sensoriamento remoto para aplicações florestais mostram, por exemplo, o uso de imagens do satélite Landsat 7 nos sensores TM (*Thematic Mapper*) e no SPOT (*Système Probatoire d’Observation de La Terre*).

Diversos autores têm reportado sobre a utilidade de dados TM e SPOT para a estimada de volume de madeira. Assim, observa-se que, com exceção da banda situada no infravermelho próximo, as bandas do Landsat TM ou SPOT mostram correlação negativa com o volume de madeira e com os parâmetros relacionados com este volume (RIPPLE *et al.*, 1991; ARDO, 1992). Na banda do infravermelho próximo a correlação se apresenta bastante variável. Pode ser positiva (SPANNER *et al.*, 1990), negativa (RIPPLE, 1991; DANSON e CURRAN, 1993), ou ainda invariável (FRANKLIN, 1986). Uma correção positiva ocorre para altos índices de área foliar em florestas de dossel fechado. Já uma correlação negativa acontece em florestas de dossel aberto quando o sub-bosque tem maior refletância que o dossel no infravermelho próximo.

Um limitante para o uso de imagens desse satélite seria a cobertura de nuvens que pode atrapalhar o estudo da vegetação, visto que o Landsat é um satélite de sensor óptico.

Isso nos leva a utilização de satélites com sensores radar. Esses satélites trabalham com a transmissão e recepção de micro-ondas, o que é uma vantagem para esse estudo pois as micro-ondas são capazes de atravessar nuvens e chuvas. Os dados de radar também contêm informações relacionadas as propriedades físicas da vegetação, principalmente sobre sua estrutura e conteúdo hídrico.



Os primeiros radares imageadores eram do tipo radar de abertura real que, por trabalhar com as dimensões de antena, apresentavam limitações na resolução espacial de imagens geradas. Já no *radar de abertura sintética* (SAR – *Synthetic Aperture Radar*) o problema de baixa resolução azimutal foi resolvido pela simulação de uma antena centenas de vezes maior que seu tamanho real.

A representação de uma floresta numa imagem SAR será a combinação das respostas geradas através dos diferentes mecanismos de espalhamento e inclui a contribuição direta do solo, do tronco, da copa das árvores, da interação copa-sola e da reflexão dupla tronco-solo (LECKIE; RANSON 1998).

Os resultados de estudos com dados SAR para inventários florestais são variados. A baixa correlação entre altura de árvores e volume de madeira medidos em campo e dados SAR na banda L e C foi observada por Hyypä et al. (2000) e atribuída à grande variação dos dados de campo. Dados na banda L (CASTEL et al. 2000) e na banda P-HIV (RAUSTE et al 1994), entretanto, foram indicados como adequados para estimativa de volume de madeira.

Outra forma de obtenção de dados florestais utilizando ferramentas do sensoriamento remoto seria o uso de fotografias aéreas em grande escala (1:5.000).

O alto nível de detalhamento de imagem aérea digital de alta resolução favorece pensar em árvores individuais e nas informações contidas nelas ao invés de pensar em talhão florestal ou na floresta como um todo (GOUGEON, 2000).

### 2.1.3.2 Uso de Veículo aéreo não tripulado (VANT)

Alguns estudos comprovam a eficiência do uso de dados obtidos por VANTs na geração de informações sobre a cobertura florestal para distintas abordagens. Berni *et al.* (2009), utilizou dados do infravermelho termal e multiespectrais para o monitoramento da vegetação; Dunfor *et al.* (2009), caracterizou florestais ripárias no Mediterrâneo; Wallace *et al.* (2012), com obtenção de dados LIDAR (*Light Detection and Ranging*) com VANT, gerou informações de alturas e identificação de árvores para apoio no inventário florestal.

Nunes *et al.* 2014, realizou estudo com objetivo de uso de informações obtidas por um VANT em talhão florestal de *Eucalyptus urograndis* H13, que pode permitir a

obtenção indireta de parâmetros florestais, servindo de subsídios para a realização de inventários florestais, quantificação e gerenciamento de plantios florestais.

Para o estudo o planejamento do voo aerofotogramétrico, foi utilizado o *software Mission Planner*. Foi acoplada uma câmera RGB Cannon T3i no VANT, configurada com distância focal de 21 mm. Para a realização das análises das informações do sobrevoo pós pouso é utilizado o *software Payload Analyzer*. Para a seleção das parcelas, foi utilizado a extensão *Hwath's Tools* junto ao sistema de informações geográficas ArcGIS 10.2. E por fim o *software eCognition*, via classificação orientada de objetos, realizou a extração de variáveis florestais tendo em vista a detecção de indivíduos verificando de área de copa por hectare e área média de copa por indivíduo.

Como resultado pode-se verificar que no geral a detecção automática subestima o valor real obtido pela contagem manual dos indivíduos, chegou a uma perda de até 25 indivíduos em relação à verdade de campo.

No geral a superfície da copa por hectare variou de 15,2 a 20,3% tendo como uma média de 0,18 há ocupado pelas copas, e ele conclui que isso pode ser um indicio do crescimento e desenvolvimento da espécie de *Eucalyptus urugrandis* H13 para as condições de sítio em questão.

Nunes conclui que o método de contagem automatizada de indivíduos e cálculo de área de copa por hectare, com uso de fotografias áreas obtidas por VANTS, demonstrou grande potencial para a obtenção rápida e precisa em estimativas de parâmetros dendrométricos, além de servir de ferramenta para a tomada de decisão das práticas silviculturas e em inventários florestais, podendo até mesmo servir de subsidio para relações com diâmetro na altura do peito (DAP) e geração de informações volumétricas de talhões florestais.

### 2.1.2.3 LIDAR

Os sistemas de laser aerotransportados, baseados na tecnologia LIDAR, permitem a obtenção de informações tridimensionais acerca da superfície terrestre com alta precisão. A tecnologia LIDAR utiliza a energia LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) para medir distância de objetos a um determinado alvo (Daniele *et al.* 2007).

Esses sistemas são capazes de fornecer modelos acurados a respeito das copas das árvores e da altura da vegetação. Essa característica ocorre em função da pequena divergência de pulsos laser que, de fato, permite que a energia coerente penetre em áreas com vegetação densa. Essa tecnologia pode ser considerada superior aos métodos fotogramétricos para aplicações florestais, sobretudo em função do conhecimento da superfície do terreno, que para estas áreas, é dificilmente visualizada em fotografias aéreas (POPESCU, 2002).

As técnicas tradicionais de inventário florestal demandam tempo e recursos e em alguns casos são inviáveis pelas dificuldades de acesso. Os trabalhos já desenvolvidos e publicados indicam que é possível a extração de variáveis dendrométricas como: altura individual e diâmetro da copa a partir dos dados LIDAR, e com isso obter um ganho na precisão das estimativas de volume e biomassa florestal.

Um dos benefícios da tecnologia LIDAR é justamente a obtenção da altura individual das árvores e informações sobre a estrutura das copas, possibilitando a inclusão de novas variáveis nos modelos de regressão. Pode-se também realizar uma estratificação florestal através da altura, que poderá ser utilizada como uma ferramenta auxiliar para a definição e alocação das parcelas em campo, reduzindo o erro amostral das estimativas.

## 2.2 INVENTÁRIO FLORESTAL

Inventário florestal pode ser conceituado como o uso de fundamentos de amostragem, para a determinação ou estimação de características quantitativas e/ou qualitativas das florestas (SCOLFORO; MELLO, 2006).

Existem alguns conceitos básicos no que se diz respeito a amostragem dentro do inventário florestal, esses conceitos seriam:

**População:** é um conjunto de indivíduos ou valores unitários comuns, com características semelhantes sobre os quais fazemos inferências. Do ponto de vista de inventário florestal, pode-se ter a população alvo, aquela que se refere à área de estudo em questão e à população estatística.

**Amostra:** é o conjunto de unidades amostrais retiradas da população, que deve ser representativa da mesma e sobre as quais fazemos inferências com o uso das

estimativas dos parâmetros. No caso da avaliação de toda a população (censo), já não existe mais amostra e, neste caso, a inferência é obtenção do próprio parâmetro.

Precisão: em toda situação em que há amostragem existe um erro associado a esta amostragem. Desta forma, a precisão diz respeito ao erro de amostragem, que existe devido a fração não amostrada da população. Quanto menor for este erro maior será a precisão da amostragem (ASSIS et al., 2009).

Para entender como ocorre o inventário florestal é necessário ter conhecimento sobre dois conceitos básicos, sendo eles o método e sistema de amostragem. Quando falamos sobre método de amostragem, está relacionado às unidades amostrais: tamanho da parcela, forma, área fixa ou variável, temporária ou permanente, etc. Já os sistemas de amostragem dizem respeito sobre como as unidades amostrais serão alocadas.

A amostragem de uma população pode ser realizada através de vários métodos, 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 método de amostragem a uma população florestal na busca das informações que se deseje. Entretanto, a não utilização de um método adequado a característica da população estudada, certamente, acarretará a um grande incremento no custo do inventário. Outro fator, comum a qualquer método de amostragem, e que influi diretamente na quantidade de trabalho, no custo e precisão do inventário florestal, se refere ao tamanho e forma das unidades amostrais (CESARO *et al.*, 1994).

### 2.2.1 Processos de amostragem

#### **Amostragem Casual Simples**

Neste procedimento, não existe nenhuma restrição à casualização das parcelas, ou seja, todas as  $N$  amostras cabíveis na população possuem a mesma probabilidade de compor a amostra. A área florestal é tratada como uma população única, em que cada amostra de parcela fixa, compõem as unidades espaciais, que caracterizam a população estatística (THOMPSON, 1992).

Esse tipo de amostragem possui algumas desvantagens em relação ao tempo de deslocamento entre unidades amostrais, menor precisão em populações heterogêneas, o que exige mais unidades amostrais.

Com isso, autores como Péllico Neto e Brena (1997) recomendam que esse método seja utilizado para populações menores e de baixa heterogeneidade.

### **Amostragem Sistemática**

Loetsch *et al.* (1973) define o processo sistemático de amostragem como um sistema rígido de locação de amostras, com a finalidade de distribuir as parcelas uniformemente em toda a área de estudo.

É um processo indicado para populações de grande extensão e que não se possui conhecimentos prévios. Possui vantagem por se tratar de um método rápido e de menor custo, em relação a um procedimento aleatório. Isto, porque o deslocamento entre as unidades amostrais é menor, pelo fato de seguir uma direção fixa preestabelecida, resultando em menor tempo e, conseqüentemente menor custo (PÉLLICO NETTO; BRENA 1997).

### **Amostragem Casual Estratificada**

A amostragem casual estratificada consiste em subdividir a população em estudo, em estrato ou subpopulações mais homogêneas. A estratificação é utilizada, quando a floresta apresenta alto grau de variabilidade na característica de interesse (BOLFARINE; BUSSAB, 2005).

Péllico Neto e Brena (1997) afirmam que a intensidade amostral depende da variabilidade da floresta. Desta maneira, a estratificação se torna uma ferramenta valiosa no aumento da precisão do inventário florestal.

Entre algumas vantagens desse método estão: a diminuição dos custos do inventário em consequência de diminuição do número de unidades amostrais e também o aumento da precisão (MELLO; SCOLFORO, 2000).

A desvantagem deste procedimento está em qual informação se baseará a estratificação, uma vez que se esta não apresentar correlação com a característica de interesse, a estratificação pode ser ineficaz e até diminuir a precisão do inventário florestal.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O trabalho foi realizado numa área pertencente ao IBAMA que está localizado na cidade de Curitibanos – SC ao lado do parque Pouso do Tropeiro, conforme a figura 1. A área conta com um plantio de *Pinus taeda* L. com mais de 30 anos, há também algumas áreas com *Eucalyptus* sp. e algumas áreas com mata nativa.



**Figura 1** - Mapa de localização da área em que o projeto foi realizado.

Fonte: Autor.

#### 3.2 MAPEAMENTO DO LOCAL

A primeira etapa do trabalho foi realizar um levantamento planimétrico da área em que foi realizado o estudo. Por se tratar de um inventário florestal é necessário que saibamos a área exata do povoamento.

Para o levantamento planimétrico foi utilizado o aparelho RTK em que foram coletados pontos por toda a área fechando assim o perímetro. A área total obtida após a medição foi de 20,40 ha (figura 2), porém a área de estudo equivale a 15,04 ha (figura 3), isso porque foram desconsideradas algumas áreas em que não haviam apenas o plantio de pinus.



**Figura 2** - Área total obtida após a medição com RTK, com área total de 20,40 ha.

Fonte: Autor.



**Figura 3** - Área em que o experimento foi realizado. Área equivalente a 15,04 ha.

Fonte: Autor.

### 3.3 INVENTÁRIO DE CAMPO

O inventário de campo foi realizado a partir do método de amostragem de área fixa com processo sistemático de início aleatório de distribuição de unidades amostrais. Para isso foi utilizado um mapa com grade de coordenadas para localização no campo (figura 4) e com auxílio de um GPS de mão foi rastreado as coordenadas pelo mapa e em cada interseção de coordenadas foi alocada uma amostra.



**Figura 4** - Mapa com grade de coordenadas geográficas utilizado para alocar as parcelas no campo.

Fonte: Autor.

O processo foi sistemático porque foi determinado que seriam feitas as parcelas a partir das coordenadas presentes no mapa, e teve início aleatório de distribuição pois não foi determinado uma sequência a ser seguida para distribuir as parcelas.

Foram realizadas 13 parcelas circulares de 500 m<sup>2</sup> e essas foram determinadas a partir de coordenadas geográficas, a fim de evitar tendenciosidade na alocação amostras. As parcelas podem ser observadas na figura abaixo:





**Figura 5** - Localização das parcelas alocadas na área do experimento.

Fonte: Autor.

Com as parcelas alocadas e medidas foram calculados a área transversal ( $g$ ), volume individual ( $v_i$ ) e volume total ( $V$ ). O volume foi calculado pela equação de Schumacher-Hall, que foi ajustada com a cubagem realizada no povoamento.

A cubagem foi realizada com o aparelho Criterion, sendo feita a cubagem de 25 árvores em pé. Foi calculado o volume para cada sortimento de tora a partir do método de Smalian.

As equações utilizadas para os cálculos de área transversal, volume individual e volume total da parcela, e volume total em ha estão representadas abaixo:

$$g = \frac{(DAP)^2 \pi}{40000} \quad (1)$$

Em que:  $g$  representa a área transversal da árvore.  
DAP - Diâmetro à altura do peito.

$$v_i = \ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \beta_2 \ln(h) \quad (2)$$

Em que:  $v_i$  - volume individual;  
 $\beta_0$  - valor obtido pela regressão;  
 $\beta_1$  - valor obtido pela regressão;  
 $\beta_2$  - valor obtido pela regressão;  
DAP - Diâmetro à altura do peito;  
h - altura.

$$V \text{ Parcela} = \sum V_i \quad (3)$$

Em que:  $\sum V_i$  – somatório dos volumes individuais.

$$V \text{ por ha} = 500\text{m}^2 \text{ ----- } \sum V_i \quad (4)$$

$$10000\text{m}^2 \text{ ----- } x$$

Em que x representa o volume total extrapolado para ha.

A partir do volume obtido foi encontrado a variância das parcelas e a partir da variância foi possível calcular o número ideal de amostras. Por se tratar de uma população finita, ou seja, foi amostrado 2% de toda população, foi utilizado a seguinte equação:

$$n = \frac{Nt^2 Sx^2}{NE^2 + t^2 Sx^2} \quad (5)$$

Em que: n - número ideal de amostras;  
N - número potencial de amostras;  
T - valor tabelado;  
 $Sx^2$  - variância;  
E - Erro de amostragem.

Para finalizar os cálculos do inventário de campo foram determinados os intervalos de classes médio e o intervalo de classe da população, conforme as formulas à seguir:

$$IC = x \pm t E \quad (6)$$

Em que: x = média do volume das parcelas;  
t = valor tabelado;

$E$  = Erro amostral absoluto.

$$IC = (\bar{x} A) \pm ((t E)A) \quad (7)$$

Em que:  $\bar{x}$  = média do volume das parcelas;

$t$  = valor tabelado;

$E$  = Erro amostral absoluto.

$A$  = Área total do estrato.

### 3.4 INVENTÁRIO FEITO COM AUXÍLIO DO SENSORIAMENTO REMOTO

Foi necessário voltar a campo com os RTKs para coletar coordenadas de algumas árvores, foram coletadas coordenadas de 30 árvores por todo o povoamento, conforme a figura 6, sendo que destas árvores foram medidas o DAP e altura. Com esses dados e medindo a área de copa das árvores pela imagem, foi possível a partir de equações estimar o DAP e altura das demais árvores que foram medidas na imagem.



**Figura 6** - Representação das 30 árvores que foram coletadas com auxílio do RTK.

Fonte: Autor.

Foi utilizado as mesmas parcelas de 500m<sup>2</sup> para a medição das copas das árvores. A medição foi feita a partir de vetorização no *software* Quantun Gis versão Lyon 2.12.1, medindo árvore por árvore, utilizando imagens do Google Earth, como pode ser observado na Figura 7.



**Figura 7** - Vetorização das copas das árvores com imagem do Google Earth.

Fonte: Google Earth.

Tendo todas as copas medidas foram feitos os cálculos para estimar as variáveis de DAP e altura das árvores.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 AJUSTE DE EQUAÇÃO

A equação de Schumacher-Hall ajustada, assim como os coeficientes obtidos podem ser observados abaixo:

$$v_i = \ln(V) = -9,978 + 2,315 \ln(DAP) + 0,642 \ln(h) \quad (8)$$

As estatísticas do ajuste da equação podem ser observadas na tabela a seguir:

**Tabela 1** - Estatísticas do ajuste realizado para a equação volumétrica.

R múltiplo	0,98
R-quadrado ajustado	0,95
Erro padrão	0,18

### 4.2 INVENTÁRIO DE CAMPO

Para o inventário feito a campo foi obtido um número ideal de 35 unidades amostrais, para a variável de volume. Isso ocorreu devido à grande variância que há entre as parcelas. Por se tratar de um povoamento que não possui nenhum tipo de manejo, algumas parcelas resultaram em um volume superior do que as outras. Isso pode ser observado na tabela 2.

**Tabela 2** - Área basal, DAP, altura e volume das parcelas.

Parcela	DAP (cm)	h (m)	G (m <sup>2</sup> /ha)	V (m <sup>3</sup> /ha)
1	46,1	29,5	71,8	1267,0
2	42,7	28,8	90,9	1538,4
3	44,1	28,8	37,6	645,4
4	46,3	29,7	48,1	851,7
5	44,2	29,5	54,4	964,5
6	60,4	31,3	46,6	927,6
7	49,7	29,9	63,1	1143,9
8	42,9	29,8	71,1	1235,3
9	46,2	33,0	34,6	652,4
10	54,7	34,3	76,3	1556,1
11	57,9	34,1	47,8	984,1
12	40,7	29,9	75,2	1303,5
13	39,5	29,9	94,6	1628,1

Como solução para isso foi decidido estratificar o povoamento afim de tentar diminuir o número ideal de amostras e também o erro amostral.

Foram feitos dois estratos, estrato um com as parcelas com o volume maior e o estrato dois com as parcelas com o volume menor. Os estratos ficaram com área equivalente a 8,22 ha e 6,81 ha respectivamente, e foram determinados de forma manual, como podem ser observados na figura 8.



**Figura 8** - Imagem referente à divisão dos estratos.

Fonte: Autor.

Com a divisão dos estratos foi recalculado o número ideal de amostras para cada um dos estratos e foi obtido para o estrato um N igual a 10 e para o estrato dois um N igual a 19. Apesar de o número de amostras ainda ser inferior ao número ideal sugerido, optou-se por aceitar o número real de amostras realizadas pois o erro amostral diminui consideravelmente. Os novos estratos podem ser observados nas tabelas a seguir:

**Tabela 3** - Área basal, DAP, altura e volume das parcelas do estrato 1.

Parcela	DAP (cm)	h (m)	G (m <sup>2</sup> /ha)	V (m <sup>3</sup> /ha)
1	46,1	29,5	71,8	1267,0
2	42,7	28,8	90,9	1538,4
7	49,7	29,9	63,1	1143,9
8	42,9	29,8	71,1	1235,3
10	54,7	34,3	76,3	1556,1
12	40,7	29,9	75,2	1303,5
13	39,5	29,9	94,6	1628,1
<b>Média</b>	45,2	30,3	77,6	1381,8

**Tabela 4** - Área basal, DAP, altura e volume das parcelas do estrato 2.

Parcela	DAP (cm)	h (m)	G (m <sup>2</sup> /ha)	V (m <sup>3</sup> /ha)
11	57,9	34,1	47,8	984,1
5	44,2	29,5	54,4	964,5
4	46,3	29,7	48,1	851,7
3	44,1	28,8	37,6	645,4
6	60,4	31,3	46,6	927,6
9	46,2	33,0	34,6	652,4
<b>Média</b>	49,9	31,1	44,8	837,6

Para o estrato 1 observou-se um estoque volumétrico de  $11.367,80 \pm 3.507,13$  m<sup>3</sup> de madeira para um erro amostral de 12,61%. Para o estrato 2 o estoque volumétrico é de  $5.710,00 \pm 2.679,10$  m<sup>3</sup> de madeira para um erro amostral de 18,25%.

Conclui-se assim que o estoque volumétrico do povoamento amostrado é de  $17.077,74 \pm 6.186,24$  m<sup>3</sup> de madeira.

#### 4.3 INVENTÁRIO FEITO COM AUXÍLIO DO SENSORIAMENTO REMOTO

O DAP das árvores estimado através das imagens foi calculado através de uma equação polinomial de segundo grau. A equação pode ser visualizada abaixo:

$$DAP = 0,0275(X^2) + 0,4535(X) + 47,2 \quad (9)$$

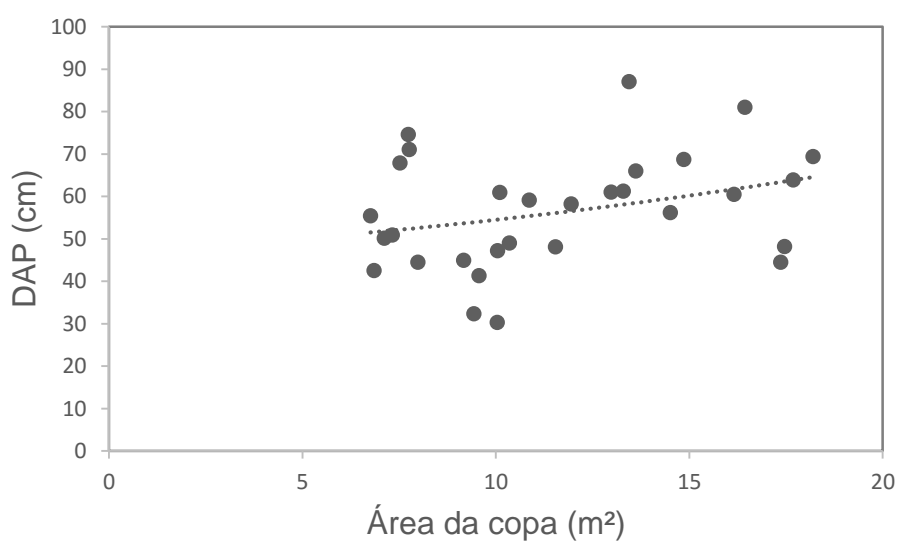
Em que: X = Área da copa.

A análise de regressão feita para o ajuste de equação pode ser observada abaixo:

**Tabela 5** - Estatísticas de regressão realizada para área da copa em função do DAP.

R múltiplo	0,31
R-quadrado ajustado	0,06
Erro padrão	3,56
Observações	30

O modelo matemático ajustado e a nuvem de pontos empregada no ajuste são apresentadas na figura 9.

**Figura 9** - Gráfico de ajuste da equação e nuvem de pontos referente ao DAP e área da copa.

Para a altura foi utilizado a seguinte equação polinomial de segundo grau:

$$H = 0,0418(X^2) + 1,0127(X) + 38,59 \quad (10)$$

Em que: X = área da copa.

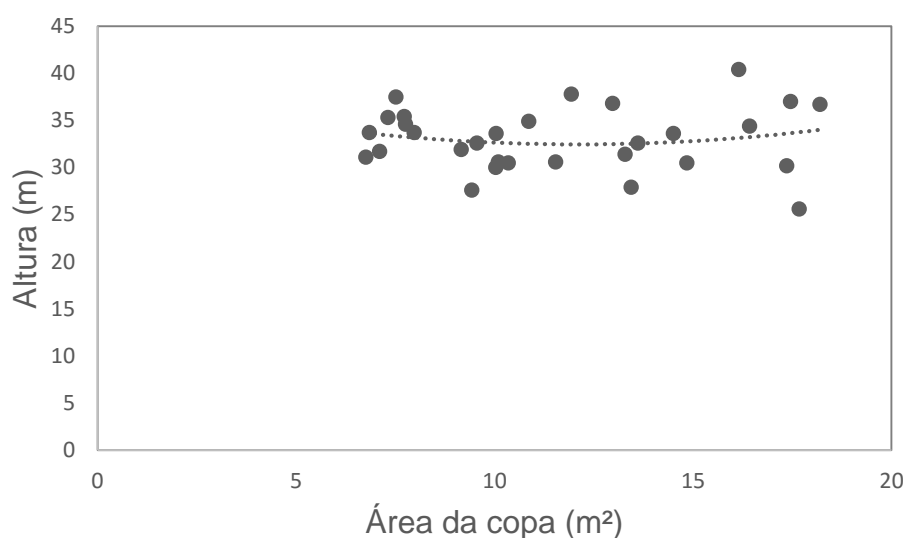
A análise de regressão feita para o ajuste de equação pode ser observada abaixo:

**Tabela 6** - Estatísticas de regressão realizada para área da copa em função do DAP.

R múltiplo	0,30
R-quadrado ajustado	0,02
Erro padrão	12,98
Observações	30



O modelo matemático e a nuvem de pontos empregada para a equação acima pode ser observado na figura 10.



**Figura 10** - Gráfico de ajuste da equação e nuvem de pontos referente à altura e a área da copa.

Com os dados obtidos a partir do ajuste de equação para a altura e para o DAP, foram determinados a área transversal ( $g$ ), volume individual ( $v_i$ ) e volume total ( $V$ ) para os 2 estratos. Esses dados podem ser observados nas tabelas 7 e 8.

**Tabela 7** - DAP, altura, área basal e volume das parcelas do estrato 1 feitas pela imagem.

Parcela	DAP (cm)	h (m)	G (m <sup>2</sup> /ha)	V (m <sup>3</sup> /ha)
1	61,4	30,5	83,3	1624,8
2	54,4	29,9	88,5	1630,0
7	59,9	30,0	56,5	1076,5
8	56,5	29,9	65,5	1224,9
10	55,4	30,2	38,8	724,6
12	59,9	30,1	79,1	1516,1
13	67,1	32,4	71,2	1494,6

**Tabela 8** - DAP, altura, área basal e volume das parcelas do estrato 2 feitas pela imagem.

Parcela	DAP (cm)	h (m)	G (m <sup>2</sup> /ha)	V (m <sup>3</sup> /ha)
11	61,4	30,8	77,6	1530,2
5	56,2	29,7	64,7	1202,0
4	59,6	30,1	61,7	1182,3
3	71,9	34,8	49,1	1108,5
6	63,6	31,4	38,5	779,1
9	61,5	31,0	38,8	724,6

O estrato um apresentou número ideal de amostras de 31, enquanto que o estrato dois foi de 36. Os valores são altos e isso indica uma fragilidade na mensuração das copas, que pode ter ocorrido devido a qualidade da imagem utilizada, assim também como a análise de regressão realizada em que o  $R^2$  achado foi muito inferior a um.

O estrato um apresentou um estoque volumétrico de  $10.920,20 \pm 6269,32 \text{ m}^3$  de madeira, para um erro amostral 23,46%. O estrato dois apresentou estoque volumétrico de  $7.415,45 \pm 5.488,02 \text{ m}^3$  de madeira para um erro amostral de 28,79%.

Conclui-se assim que o estoque volumétrico para o povoamento amostrado é de  $18.335,65 \pm 11.757,34$ .

O que podemos observar é que os resultados obtidos através do inventário feito com o auxílio do sensoriamento remoto foram maiores que o inventário convencional. Um problema que podemos notar são os erros amostrais que foram maiores que 20%, o que não é desejável. Isso pode ter ocorrido devido à dificuldade de vetorização das copas, visto que a imagem utilizada não era de alta qualidade, o que também pode ter sido um problema.

Outro problema que mostra grande fragilidade são as análises de regressão realizadas que apontaram  $R^2$  muito inferiores do que um, tanto para a altura quanto para o DAP. Isso pode ter ocorrido devido ao número baixo de árvores amostradas o que acaba dificultando na relação entre as variáveis.

## **5 CONCLUSÕES**

Os resultados obtidos através do sensoriamento remoto não foram convincentes, visto que as análises de regressão realizadas não apresentaram resultados satisfatórios, isso acabou gerando estimativas superiores às realizadas no inventário convencional.

Recomenda-se que sejam amostradas um número maior de árvores para realizar o inventário com auxílio do sensoriamento remoto, a fim de melhorar as estatísticas de regressão.

Conclui-se que o método testado no presente trabalho não é suficiente para gerar estimativas de grande precisão para o inventário florestal, ou seja, não é possível abrir mão do inventário convencional.

## REFERÊNCIAS

ANDERSEN, T. et al. Análise orientada a objetos de dados de sensoriamento remoto para a obtenção de parâmetros aquáticos/terrestres. In: BLASCHEKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento remoto e SIG avançados**: novos sistemas sensores métodos inovadores. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. p. 286.

ANDRADE, Matheus Caetano Rocha de. **PROPOSTA DE REDUÇÃO DE CUSTOS EM INVENTÁRIOS FLORESTAIS POR MEIO DO USO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**. São José dos Campos: Inpe, 2013.

ASSIS, A. L. et al. Development of a sampling strategy for young stands of Eucalyptus sp. Using geostatistics. **Cerne**, Lavras, v .15, n. 2 p. 166-173, 2009.

AVARENGA, Luiz Henrique Victor. **Imagens de alta resolução e geoestatística na estratificação da fisionomia cerrado para inventários florestais**. 2012. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG, 2012.

AVERY, T. E.; BERLIN, G. L. **Fundamentals of remote sensing and airphoto interpretation**. 5<sup>th</sup> ed New Jersey: Prentice Hall, 1992.

BOLFARINE, H.; BUSSAB, W. O. **Elementos de amostragem**. São Paulo: Blusher, 2005. 274 p.

BOLFE, É. L. **LEVANTAMENTO E MONITORAMENTO DOS RECURSOS FLORESTAIS DOS TABULEIROS COSTEIROS DO NORDESTE DO BRASIL**. In: I SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 2002, Aracaju - SE.

CESARO, Araldo de et al. **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.*** 4. ed. Santa Maria: Ci. Flor, 1994.

DISPERATI, Attilio Antonio et al. **Aplicação da técnica "filtragem de locais máximas" em fotografia aérea digital para a contagem de copas em reflorestamento de *Pinus elliottii***. 76. ed. Piracicaba - Sp: Scientia Forestalis, 2007. 10 p.

FRANKLIN, J. Thematic mapper analysis of coniferous forest structure and composition. **International Journal of Remote Sensing**, v. 7, n. 10, p. 1287-1301, 1986.

GOUGEON, F.A. Towards semi-automatic forest inventories using individual tree crown (ITC) recognition. **Technology Transfer Note**, Victoria, n.22, p.1-6, 2000.

KUPKICH, Tatiana Mora. **Estudos Florestais com Imagens de Radar**. São José dos Campos - Sp: Espaço & Geografia, 2003.

LOETSCH, F.: ZOHRER, F.: HALLER, K. E. **Forest inventory**. München: BLV, 1973. v. 2, 469 p.

MATAVELLI, C. J. **Planejamento e execução do inventário florestal em reflorestamentos homogêneos de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii* utilizando imagens**

**de alta resolução espacial.** In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2011, Curitiba.

MENESES, P. R. Fundamentos de radiometria óptica espectral. In: Meneses, P. R.; MADEIRA NETTO, J. S. **Sensoriamento Remoto: reflectância dos alvos naturais.** Brasília: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001.

MORAIS, A. D. de; **Utilização de Métodos estatísticos em Inventário Florestal.** Seminário. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, Piracicaba, 2003.

ORUÉ, Norma Elizabet. **Estimativa de volume de povoamentos de Pinus spp. utilizando dados do satélite landsat 7.** 2002. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENNAN, D. A. **Inventário Floresta.** Curitiba, 1997. 316 p.

RIPPLE, W. J.; WANG, S.; ISAACSON D. L.; PAINE D. P. A preliminary comparison of Landsat Thematic Mapper and SPOT-1 HRV multispectral data for estimating coniferous forest volume. **International Journal Remote Sensing**, v. 12, n. 9, p. 1971-1977, 1991.

SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. **Inventário Florestal.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 561 p.

SPANNER M. A ; PIERCE L. L.; PETERSON D. L.; RUNNING S. W. Remote sensing of temperate coniferous forest leaf index. The influence of canopy closure, understory vegetation and background reflectance. **International Journal o Remote Sensing**, v. 11, n. 1, p. 95-111, 1990.

THOMPSON, S. K. **Sampling.** New York: J. Wiley, 1992. 343 p.

SOUZA, Celso Coelho de et al. **TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO COMO SUBSÍDIOS AOS ESTUDOS DE FLORESTAS IMPLANTADAS NO BRASIL – UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 17, n. 4, p.409-417, out. 2007.

NUNES, Gustavo Manzon et al. **AValiação preliminar de dados obtidos por VANT em talhão florestal clonal de Eucalyptus urograndis H13 no estado de Mato Grosso.** In: XI SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 2014, Curitiba, Pr.