

**INVENTÁRIOS FLORESTAIS POR LINHAS DE AMOSTRAGEM EM  
REFLORESTAMENTOS COMERCIAIS**

**GUSTAVO SILVA RIBEIRO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**INVENTÁRIOS FLORESTAIS POR LINHAS DE AMOSTRAGEM  
EM REFLORESTAMENTOS COMERCIAIS**

**GUSTAVO SILVA RIBEIRO**

**ORIENTADOR: JOSÉ MARCELO IMAÑA ENCINAS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**PUBLICAÇÃO: PPGEFL.DM – 150/2011  
BRASÍLIA/DF: FEVEVEIRO – 2011**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**INVENTÁRIOS FLORESTAIS POR LINHAS DE AMOSTRAGEM EM  
REFLORESTAMENTOS COMERCIAIS**

**GUSTAVO SILVA RIBEIRO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS FLORESTAIS.

APROVADA POR:

---

Prof. Dr. JOSÉ MARCELO IMAÑA ENCINAS, EFL/UNB.  
(ORIENTADOR)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> ALBA VALÉRIA REZENDE, EFL/UNB.  
(EXAMINADORA INTERNA)

---

Prof. Dr. JOSÉ ANTONIO ALEIXO DA SILVA, DCFL/UFRPE.  
(EXAMINADOR EXTERNO)

---

Prof. Dr. REGINALDO SÉRGIO PEREIRA, EFL/UNB.  
(EXAMINADOR SUPLENTE)

## FICHA CATALOGRÁFICA

RIBEIRO, GUSTAVO SILVA

Inventários florestais por linhas de amostragem em reflorestamentos comerciais 2011.  
xiii, 47p., 210 x 297 mm (EFL/FT/UnB, Mestre, Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Florestal

1. Inventário Florestal

3. Reflorestamentos Distrito Federal

2. Sistema de Amostragem

4. Mensuração Florestal

I. EFL/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

RIBEIRO, G. S. (2011). Inventários florestais por linhas de amostragem em reflorestamentos comerciais. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.DM – 150/2011, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 47p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Gustavo Silva Ribeiro

TÍTULO: Inventários florestais por linhas de amostragem em reflorestamentos comerciais

GRAU: Mestre Ano: 2011

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Gustavo Silva Ribeiro  
SMPW Qd. 29, Cj. 4, Lote 1, Unidade A  
71.746-001 Brasília – DF – Brasil.

Dedicado a  
minha esposa Marianne,  
companheira e amiga, pela  
paciência e força em todos os  
momentos desta jornada e  
ao meu filho Felipe  
pela compreensão  
nas minhas ausências.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador e mentor, Dr. José Marcelo Imaña Encinas, pela confiança, ensinamentos e amizade.

Aos meus pais, que sempre acreditaram em mim.

Ao meu irmão, pela força que sempre demonstrou em sua profissão, servindo de exemplo para minhas conquistas.

À minha irmã, pelas conversas quando existiam dúvidas dos caminhos a serem trilhados.

Ao meu padrinho, amigo e companheiro Roberto, pelos muitos conselhos que abriram minha mente.

Aos professores do Departamento de Engenharia Florestal da UnB, pelo esforço e amor em ensinar e pela compreensão quando necessário.

À Banca Examinadora que se prontificou a me avaliar com toda sua sabedoria e vivência: Prof<sup>o</sup>. Dr. José Antônio Aleixo da Silva, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Alba Valéria de Rezende e Prof<sup>o</sup>. Dr. Reginaldo Sérgio Pereira.

Ao colega Prof. Dr. Otacílio Antunes Santana pelos conselhos e revisão prévia da dissertação.

## RESUMO

### INVENTÁRIOS FLORESTAIS POR LINHAS DE AMOSTRAGEM EM REFLORESTAMENTOS COMERCIAIS

**Autor: Gustavo Silva Ribeiro**

**Orientador: José Marcelo Imaña Encinas**

**Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais**

**Brasília, fevereiro de 2011.**

A crescente demanda de madeira de florestas plantadas, sem o correspondente aumento da área física, aliada a fatores de melhoria de qualidade e valorização do produto contribuem para o aumento da necessidade de ampliar os conhecimentos sobre a mensuração florestal, especificamente na área das distribuições diamétricas e dos métodos de amostragem. Tais conhecimentos advêm do inventário florestal, colhendo informações de ordem técnica que subsidiam a tomada de decisão nas empresas. Desta forma, a melhoria de processos e metodologias do inventário florestal traria benefícios econômicos às empresas florestais. O objetivo do presente trabalho é demonstrar matematicamente e comparativamente que o método por linhas de amostragem utilizando diâmetros dasométricos para o cálculo do volume pode ser tão eficiente quanto o método convencional que consideram parcelas de amostragem de área fixa. A hipótese para o presente trabalho é a de que inventários por linhas de amostragem, utilizando diâmetros dasométricos para o cálculo de volume, permitem uma boa aproximação dos inventários convencionais de área fixa. Utilizando diâmetros dasométricos, coleta de dados por meio de tecnologia móvel, aplicada a um método por linhas de amostragem foram confrontados os resultados do volume estimado e do tempo auferido para a execução de método aqui proposto versus os resultados de um inventário convencional de área fixa. O estudo foi realizado em uma área de 4 hectares localizada na Estação Experimental Fazenda Água Limpa (FAL-UnB), porção centro-oeste do Distrito Federal, nas coordenadas geográficas 15°31'S e 47°42'W. O inventário convencional de área fixa apresentou um volume de 49,70 m<sup>3</sup>/ha e um erro de amostragem relativo de  $\pm 4,82\%$ , considerando 95% de confiabilidade para um erro de amostragem máximo admitido de 10%. Já o inventário por linhas de amostragem apresentou um volume médio de 44,08 m<sup>3</sup>/ha e um erro de amostragem relativo de  $\pm 5,62\%$ , considerando 95% de confiabilidade para um erro de amostragem máximo admitido de 10%. A variação do volume, comparando os dois métodos, foi de 12,75 %. O tempo total para execução do inventário por linhas de amostragem foi de 05 horas, 51 minutos e 34 segundos. Já o tempo total do inventário convencional foi de 08 horas, 49 minutos e 38 segundos. Verifica-se que o inventário por linhas de amostragem foi mais eficiente se comparado ao inventário convencional, apresentando um resultado 33,36 % mais eficiente em relação ao tempo.

## **ABSTRACT**

### **FOREST INVENTORY BY LINE SAMPLING IN COMMERCIAL PLANTATIONS**

**Author: Gustavo Silva Ribeiro**  
**Supervisor: José Marcelo Imaña Encinas**  
**Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais**  
**Brasília, february of 2011.**

The increasing demand for wood, originally planted, without a corresponding increase in the physical area, combined with factors of quality improvement and enhancement of the product contribute to the increased need to expand the knowledge on measuring forest, specifically diameter distributions and sampling method. Such skills come from the forest inventory, harvesting technical information that support decision making in companies. Thus, improving processes and methodologies of forest inventory would bring economic benefits to forest companies. The aim of this paper is to demonstrate mathematically and compared method using sampling lines with dasometrics diameters for calculating the volume. It can be efficient as conventional models that consider sample plots of fixed area. The hypothesis for this paper is that inventories of sampling lines, using dasometrics diameters for calculation of volume, allow a good approximation of the inventories of conventional fixed area. Using dasometrics diameters, data collection through mobile technology, applied to a method by sampling lines were compared to results of the estimated volume and time earned for the performance of proposed method versus the results of an inventory of conventional fixed area. The study was conducted in an area of 4 ha located at the Experimental Station Fazenda Água Limpa (FAL-UnB), the central-western Distrito Federal, in the geographic coordinates 15 ° 31'S and 47 ° 42'W. The inventory of conventional fixed area showed a volume of 49.70 m<sup>3</sup> / ha and a relative sampling error of ± 4.82%, considering 95% reliability for a sampling error permitted maximum of 10%. Since the inventory sampling lines had an average volume of 44.08 m<sup>3</sup> / ha and a relative sampling error of ± 5.62%, considering 95% reliability for a sampling error permitted maximum of 10%. The change in volume, comparing the two methods was 12.75%. The total time for the inventory by sampling lines was 05 hours, 51 minutes and 34 seconds. Since the total time of conventional inventory was 08 hours, 49 minutes and 38 seconds. It appears that the inventory sampling lines was more efficient compared to conventional inventory, which represents an increase 33.36% more efficient over time.

## SUMÁRIO

1 -	INTRODUÇÃO	1
1.1 -	OBJETIVOS	3
1.1.1 -	Geral	3
1.1.2 -	Específicos	3
1.2 -	JUSTIFICATIVA	3
1.3 -	HIPÓTESE	4
1.4 -	REVISÃO DA LITERATURA	4
1.4.1 -	Inventário Florestal	4
1.4.2 -	Amostragem aleatória simples	6
1.4.3 -	Métodos de amostragem	6
1.4.3.1 -	Método de amostragem de Área Fixa	7
1.4.3.2 -	Método de Strand	8
1.4.3.3 -	Método de Prodan	8
1.4.3.4 -	Método de Bitterlich	9
1.4.4 -	Método por linhas de amostragem	9
1.4.4.1 -	Amostragem sistemática	11
1.4.4.2 -	Ferramentas tecnológicas aplicadas no inventário florestal	12
1.4.4.3 -	Relascópio de Bitterlich	12
1.4.4.4 -	Diâmetros médios dasométricos	13
1.4.4.4.1 -	Diâmetro médio de Hohenadl (dH, d+ e d-)	14
1.4.4.4.2 -	Diâmetro de Weise (dw)	16
1.4.4.4.3 -	Diâmetro médio do sistema alemão (dz)	16
1.4.4.4.4 -	Diâmetro de Lorey (dL)	16
1.4.4.4.5 -	Diâmetro de Urich (dU)	16
1.4.4.4.6 -	Diâmetro de Hartig (dHa)	17

2 -	MATERIAIS E MÉTODOS	17
2.1 -	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	17
2.2 -	COLETA DE DADOS NO MODELO DE INVENTÁRIO FLORESTAL CONVENCIONAL DE ÁREA FIXA	19
2.3 -	COLETA DE DADOS NO MODELO DE INVENTÁRIO POR LINHAS DE AMOSTRAGEM	20
2.4 -	CÁLCULO DA EFICIÊNCIA RELATIVA	23
3 -	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
3.1 -	RESULTADO DO INVENTÁRIO CONVENCIONAL DE ÁREA FIXA	24
3.2 -	RESULTADO DO INVENTÁRIO POR LINHAS DE AMOSTRAGEM	27
3.3 -	EFICIÊNCIA RELATIVA	41
4 -	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	41
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
	APÊNDICE	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Estatística descritiva de DAP e Altura para povoamento de <i>Eucalyptus urophylla</i> , com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal	24
Tabela 3.2 – Valores médios do DAP e altura, e Coeficiente de Variação do DAP e altura para povoamento de <i>Eucalyptus urophylla</i> , com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal	25
Tabela 3.3 – Volume encontrado na execução da metodologia convencional de área fixa retangular, para <i>Eucalyptus urophylla</i> , em reflorestamento com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal	26
Tabela 3.4 – Tempo auferido na execução da metodologia convencional de área fixa retangular, para <i>Eucalyptus urophylla</i> , em reflorestamento com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal	27
Tabela 3.5 – Distribuição diamétrica e diâmetros de Hohenadl (dH, d+ e d-) da linha 4	32
Tabela 3.6 – Distribuição diamétrica e diâmetros de Hohenadl (dH, d+ e d-) da linha 6	32
Tabela 3.7 – Distribuição diamétrica e diâmetros de Hohenadl (dH, d+ e d-) da linha 8	32
Tabela 3.8 – Distribuição diamétrica e diâmetros de Hohenadl (dH, d+ e d-) da linha 10	33
Tabela 3.9 – Resultado dos diâmetros dasométricos do inventário por linhas de amostragem para <i>Eucalyptus urophylla</i>	35
Tabela 3.10 – Diâmetros de Hohenadl (dH, d+ e d-) para <i>Eucalyptus urophylla</i> , em reflorestamento com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal, considerando o total de indivíduos	36
Tabela 3.11 – Diâmetro de Lorey para <i>Eucalyptus urophylla</i> , em reflorestamento com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal, considerando o total de indivíduos	36
Tabela 3.12 – Diâmetro de Urich para <i>Eucalyptus urophylla</i> , em reflorestamento com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal, considerando o total de indivíduos	37
Tabela 3.13 – Diâmetro de Hartig para <i>Eucalyptus urophylla</i> , em reflorestamento com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal, considerando o total de indivíduos	37
Tabela 3.14 – Estatística descritiva do DAP para <i>Eucalyptus urophylla</i> , em reflorestamento com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal	38

Tabela 3.15 – Valores do DAP, d+, d- e dH por linha para *Eucalyptus urophylla*, em reflorestamento com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal 38

Tabela 3.16 – Volume, DAP, coeficiente de variação do DAP por linha de amostragem, para *Eucalyptus urophylla*, em reflorestamento com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal 40

Tabela 3.17 – Tempo auferido na execução da metodologia de linhas de amostragem para *Eucalyptus urophylla*, em reflorestamento com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal 41

A – TABELA EXEMPLIFICATIVA COM RELAÇÃO DE 240 DIÂMETROS À ALTURA DO PEITO (DAP) EM CM, PARA REFLORESTAMENTO LOCALIZADO NA REGIÃO DO DISTRITO FEDERAL (IMAÑA-ENCINAS, 2004). 47

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1– Área de estudo localizada na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal 18
- Figura 2.2 – Plantio de *Eucalyptus urophylla* com  $\approx$  4 anos (2011) – FAL/UnB, Distrito Federal 19
- Figura 2.3 – Sistemática de amostragem das linhas no inventário florestal por linhas de amostragem 21
- Figura 2.4 – Fluxo metodológico por etapa para a amostragem por linhas 23
- Figura 3.1 – Gráfico de resíduos para modelo ajustado de dupla entrada de Spurr 26
- Figura 3.2 – Distribuição diamétrica dos valores do DAP e curva normal para *Eucalyptus urophylla*, em reflorestamento com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal, considerando todo o conjunto amostral 28
- Figura 3.3 – Gráfico de Probabilidade Normal para *Eucalyptus urophylla*, em reflorestamento com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal, considerando todo o conjunto amostral 29
- Figura 3.4 – (a) Distribuição diamétrica e curva normal da 1ª linha; (b) Distribuição diamétrica e curva normal da 2ª linha. 29
- Figura 3.5 – (a) Distribuição diamétrica e curva normal da 3ª linha; (b) Distribuição diamétrica e curva normal da 4ª linha. 30
- Figura 3.6 – (a) Distribuição diamétrica e curva normal da 5ª linha; (b) Distribuição diamétrica e curva normal da 6ª linha. 30
- Figura 3.7 – (a) Distribuição diamétrica e curva normal da 7ª linha; (b) Distribuição diamétrica e curva normal da 8ª linha. 31
- Figura 3.8 – (a) Distribuição diamétrica e curva normal da 9ª linha; (b) Distribuição diamétrica e curva normal da 10ª linha. 31

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

$\theta$	- Ângulo fixo
$g$	- Área seccional
CD	- Classe Diamétrica
$CV_y^2$	- Coeficiente de variação obtido no inventário convencional
$CV_x^2$	- Coeficiente de variação obtido no inventário por linhas de amostragem
$s$	- Desvio padrão
DAP	- Diâmetro à Altura do Peito
$d_{Ha}$	- Diâmetro de Hartig
$d_H$	- Diâmetro de Hohenadl
$d_+$	- Diâmetro de Hohenadl mais um desvio
$d_-$	- Diâmetro de Hohenadl menos um desvio
$d_L$	- Diâmetro de Lorey
$d_U$	- Diâmetro de Urich
$d_w$	- Diâmetro de Weise
$d_z$	- Diâmetro do sistema alemão
E	- Eficiência Relativa
FAL	- Fazenda Água Limpa
f	- Frequência
GPS	- <i>Global Positioning System</i> ou Sistema de Posicionamento Global
ha	- Hectare em $m^2$
n	- Intensidade amostral
PMC	- Ponto Médio da Classe
sen	- Seno
$T_y$	- Tempo de medição gasto no inventário convencional
$T_x$	- Tempo de medição gasto no inventário por linhas de amostragem

# 1 - INTRODUÇÃO

Há uma diferenciação entre florestas naturais, constituídas em sua maioria de espécies autóctones, e os reflorestamentos que, apesar de prestarem contribuição ao meio ambiente, são direcionados, principalmente, para a produção contínua de madeira.

Os reflorestamentos comerciais, na sua concepção, buscam racionalizar o aproveitamento do ambiente com a utilização de espaçamentos adequados aos objetivos da produção.

Esses reflorestamentos comerciais, formados principalmente por espécies exóticas de rápido crescimento dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, constituem uma alternativa no fornecimento de madeira, permitindo reduzir a exploração das florestas nativas remanescentes. Espécies dos gêneros citados apresentam alto nível de melhoramento genético, de produtividade e de qualidade da madeira. Além dessas características, melhorias na formação de mudas, plantio, manejo e exploração fazem com que o Brasil seja considerado uma referência em silvicultura mundial (BAENA, 2005), possuindo uma produção florestal dez vezes maior do que a de países concorrentes (SBS, 2005). Decorrente disso, no ano de 2009, o Brasil apresentava um total estimado de 6.310.450 ha de florestas plantadas com espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* (ABRAF, 2010).

Condições edáficas e climáticas permitem que o Brasil se destaque principalmente no plantio de espécies do gênero *Eucalyptus*, pela facilidade de propagação e rápido crescimento das espécies desse gênero (LOPES *et al.*, 2004). Estima-se que, dos 6.782.500 ha de florestas plantadas em 2009, considerando toda a formação florestal com objetivo comercial, 66,5 % correspondia às espécies do gênero *Eucalyptus*, 26,5 % do gênero *Pinus* e apenas 472.050 ha (7,0 %) estavam cobertas por outras espécies, tais como acácia (*Acacia heterophylla*), seringueira (*Hevea brasiliensis*), paricá (*Schizolobium amazonicum*), teca (*Tectona grandis*) e araucária (*Araucaria angustifolia*) (ABRAF, 2010).

A produção florestal advinda dessas áreas foi destinada, principalmente, para os setores de papel e celulose, siderurgia, produção de carvão vegetal, painéis de madeira e produtos de madeira sólida. Em 2009, foram consumidos 162,6 milhões m<sup>3</sup> de madeira originária de áreas de florestas plantadas no Brasil (ABRAF, 2010). O setor de papel e celulose absorveu 37,3 %, a lenha industrial 25,7 %, a indústria madeireira 18,8 %, o setor siderúrgico 11,9 %, a

fabricação de painéis reconstituídos 5,8 % e 0,5 % foi consumido por outros setores (ABRAF, 2010).

Para atender essa demanda há necessidade de priorizar o conhecimento do estoque florestal com maior precisão, levando em consideração os métodos, os procedimentos e as ferramentas que possibilitem alta precisão, custo reduzido e máxima qualidade de informação (SCOLFORO, 1993).

As informações de ordem técnica que subsidiam a tomada de decisão nas empresas florestais, na sua essência, são obtidas no inventário florestal baseado em técnicas de amostragem. Os métodos de amostragem do inventário florestal podem incluir unidades amostrais de área fixa ou variável e buscam o menor erro para uma mesma quantidade de trabalho, fixada a precisão desejada para as informações a serem levantadas e que, posteriormente, serão usadas no planejamento da empresa.

Considerando o diâmetro de Hohenadl como parâmetro essencial para a realização dos inventários por linhas de amostragem, depois de identificados os indivíduos na amostra em estudo, faz-se necessária a cubagem dos mesmos a fim de se obter o volume médio do povoamento. Sendo o processo de cubagem oneroso e muitas vezes perigoso para o operador, a utilização de equipamentos que permitam identificar os diâmetros em diversas alturas ao longo do fuste são fundamentais para a eficiência do processo e redução no tempo de coleta.

Aliado a isso, a utilização de equipamentos eletrônicos no campo, para tabulação e processamento de dados, permitem que as empresas florestais possam tomar medidas imediatas no planejamento florestal e com baixos erros.

Estruturar um modelo por linhas de amostragem que permita uma redução de tempo nos trabalhos de campo e ofereça a possibilidade de conhecer o volume de madeira com certo grau de segurança, com a conseqüente redução de custos nas atividades programadas do inventário florestal, seria bem aceito nas empresas florestais, uma vez que as mesmas visam à otimização de sua produção.

## **1.1 -OBJETIVOS**

### **1.1.1 -Geral**

O objetivo do presente trabalho é demonstrar, matematicamente e comparativamente, que o método por linhas de amostragem utilizando diâmetro dasométrico de Hohenadl são tão eficientes quanto o método convencional que consideram parcelas de amostragem de área fixa.

### **1.1.2 -Específicos**

Os objetivos específicos são:

- 1) Explicar o funcionamento do método de inventário por linhas de amostragem aqui proposto.
- 2) Apresentar os diâmetros dasométricos de Hohenadl, Urich, Lorey, Weise, Hartig e diâmetro da árvore central do sistema alemão do povoamento estudado.

## **1.2 -JUSTIFICATIVA**

O inventário florestal por meio do método por linhas de amostragem visa ampliar os conhecimentos sobre a mensuração florestal, especificamente, na área das distribuições diamétricas e dos processos de amostragens, considerando que as medidas de diâmetros à altura do peito (DAP) permitem apresentar parâmetros dasométricos, como os diâmetros de Weise, Lorey, Hartig, Urich, o diâmetro do sistema alemão e o diâmetro de Hohenadl (PRODAN, 1965).

A aplicação do método poderá reduzir o tempo para realização do inventário florestal nas empresas, que em consequência reduziria o custo de operação do inventário. Isso, certamente, proporcionaria para a empresa florestal melhor planejamento econômico e logístico da produção.

### **1.3 -HIPÓTESE**

O método por linhas de amostragem utilizando diâmetro dasométrico de Hohenadl para o cálculo do volume não diferem dos modelos convencionais que consideram parcelas de amostragem de área fixa.

### **1.4 -REVISÃO DA LITERATURA**

Na realização tradicional dos levantamentos florestais, utilizando a amostragem probabilística como método de seleção de amostras representativas, surgem inevitavelmente duas questões: qual o tamanho da área da parcela e da amostra para o inventário florestal? As respostas consideram em princípio o alcance e a natureza específica da área florestal. Assim sendo, essas respostas também poderão indicar a correspondente distribuição espacial dos indivíduos arbóreos.

A literatura americana (GROSENBAUGH, 1958; KAISER, 1983) e europeia (KLEINN, 1991; HERNANDEZ, 2001; GREGOIRE e VALENTINE, 2003) registram trabalhos de inventários florestais por linhas de amostragem, mas no Brasil poucos são os trabalhos de levantamentos florestais utilizando esse método em reflorestamentos.

O levantamento de informações por meio dos inventários florestais por linhas de amostragem necessita, entre as variáveis dasométricas, da mensuração dos diâmetros dasométricos de Hohenadl, Urich, Lorey, Weise, Hartig e diâmetro da árvore central do sistema alemão, sendo o primeiro fundamental para o estudo em questão, principalmente, devido ao fato de tal diâmetro apresentar uma distribuição normal, considerando a totalidade dos indivíduos (IMAÑA-ENCINAS, 2004).

#### **1.4.1 -Inventário Florestal**

Segundo Spurr (1952), o inventário florestal foi caracterizado como a utilização de métodos para obtenção de informações de volume e crescimento de uma floresta. Loetsch e Haller (1964) entendem que o inventário florestal é a tabulação confiável e satisfatória de informações de árvores em crescimento, relativa a uma determinada área florestal, para um

fim previsto. Essas informações podem ser qualitativas e quantitativas (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997).

Os inventários florestais, nas áreas de reflorestamento, possuem como ponto inicial para o processo de planejamento o fluxo de produção potencial do recurso florestal no tempo. Assim sendo, a qualidade da decisão tomada pela empresa estará diretamente relacionada a um cadastro florestal idôneo, à precisão das estimativas de inventário atualizada, à existência de modelos de predição e à projeção do crescimento e da produção (SCOLFORO e MELLO, 2006).

Segundo Scolforo e Mello (2006), os critérios para orientação, planejamento e definição dos procedimentos técnicos de auditoria e avaliação da qualidade do inventário florestal, que é adotado por uma empresa, devem seguir um roteiro com o seguinte escopo: caracterização dos procedimentos da empresa, análise e avaliação do cadastro das áreas florestais, auditoria das unidades amostrais em campo, análise e avaliação do sistema de inventário e da prognose de produção e, finalmente, a elaboração de um relatório final. Quanto ao requisito sistema de inventário florestal, o mesmo autor considera que deve ser realizado um levantamento detalhado do sistema de inventário em uso pela empresa, com a seguinte abordagem: tipo de inventário, planejamento, metodologia utilizada, distribuição das unidades amostrais, intensidade de amostragem e processamento de dados.

Os inventários florestais podem ser classificados de acordo com seus objetivos (tático ou estratégico), abrangência (nacional ou regional), forma de obtenção de dados (censo, amostragem ou tabela de produção), abordagem da população no tempo (temporário ou contínuo) e grau de detalhamento dos resultados (exploratórios, de reconhecimento ou detalhado) (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997).

Não obstante, a primeira etapa para a realização do inventário florestal é classificá-lo de acordo com o objetivo. Em seguida inicia-se a coleta de dados de acordo com o processo de amostragem escolhido, podendo ser: amostragem aleatória simples, estratificada, sistemática, em dois estágios, em conglomerados, sistemática com múltiplos inícios aleatórios ou em múltiplas ocasiões (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997).

O inventário florestal utiliza como ferramenta principal teoria da amostragem na qual dois conceitos devem ser levados em consideração, população e amostra. A população é o conjunto de valores unitários sobre os quais se faz observações, totalizando todos os

indivíduos. Já a amostra é uma rede de parcelas ou unidades amostrais com as quais se faz uma inferência para o restante da população por meio de estimativa de parâmetros (SCOLFORO e MELLO, 2006).

Com base nisso, para Campos e Leite (2006), o processo de amostragem e a escolha do método a ser utilizado são fatores que influenciarão nos custos do inventário florestal, tendo em vista que a coleta de dados é responsável pela maior parte desse custo.

#### **1.4.2 -Amostragem aleatória simples**

Segundo Péllico Netto e Brena (1997), a amostragem aleatória simples ou casual simples constitui o processo fundamental em que todos os demais processos de amostragens derivam. Esse processo de amostragem tem como objetivo proporcionar que todas as combinações possíveis de unidades amostrais, de certa população, tenham a mesma chance de participar da amostra, ou seja, a escolha da unidade amostral deve ser livre e totalmente independente da seleção das demais unidades da amostra.

Esse processo de amostragem é utilizado em florestas pequenas, homogêneas e de fácil acesso, permitindo, assim, que a intensidade amostral não seja muito alta, reduzindo os custos com deslocamento. Diante dessas características, o processo de amostragem aleatória simples está sendo empregado em diversos inventários de plantações florestais (SANQUETA *et al.*, 2009).

#### **1.4.3 -Métodos de amostragem**

Segundo Péllico Netto e Brena (1997), método de amostragem é a abordagem da população considerando uma única unidade amostral e os principais métodos são Área Fixa, de Strand, de Prodan e Bitterlich.

#### 1.4.3.1 - Método de amostragem de Área Fixa

No método de amostragem de área fixa a seleção dos indivíduos é feita de forma proporcional à área da unidade e essa área considerada possui sua forma e tamanho decidida muitas vezes pela praticidade e operacionalidade da localização da unidade no campo (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997).

Segundo Péllico Netto e Brena (1997), há uma vasta literatura sobre a forma e tamanho de unidades amostrais para inventários florestais conduzidos em florestas plantadas. Numa análise inicial, a grande maioria dos trabalhos publicados em relação ao volume de madeira em reflorestamentos considera área fixa entre 400 e 800 m<sup>2</sup>, contendo entre 70 e 150 árvores, dependendo do espaçamento (MOSCOVICH *et al.*, 1999; MACHADO *et al.*, 2000; ZANON e STOCK, 2000). Segundo Couto *et al.* (1993), já as empresas florestais no Brasil utiliza parcelas de área fixa, retangulares ou circulares, para os levantamentos florestais.

As unidades retangulares possuem maior dimensão se comparadas às demais formas, tendo em vista que são aplicadas em locais de maior heterogeneidade, com a finalidade de captar maior variabilidade (SANQUETA *et al.*, 2009).

O tamanho e forma das parcelas são definidos em função da eficiência do sistema e modelo do inventário, procurando alcançar um alto nível de precisão a um custo relativamente baixo (MOSCOVICH *et al.*, 1999; MACHADO *et al.*, 2000; ZANON; STOCK, 2000). Pelo uso dessas parcelas, desde que consideradas representativas da população de origem, é possível estimar alguns parâmetros dasométricos, como volume de madeira, área basal e número de árvores por unidade de área.

Freese (1962) *apud* Péllico Netto e Brena (1997), propuseram a inclusão do componente custo para a comparação de tamanhos de unidades amostrais, mas para Péllico Netto e Brena (1997) há certa dificuldade na obtenção de informações relacionadas ao custo, motivo pelo qual os autores sugerem o uso do componente tempo para o cálculo da eficiência operacional do inventário em tamanhos distintos de unidades amostrais.

O método de amostragem de área fixa é o mais antigo, conhecido e utilizado pelos profissionais da área florestal. Isso porque o método permite auferir uma vasta gama de estimativas e sua execução é bem simples (SANQUETA *et al.*, 2009).

Sanqueta *et al.* (2009), elencou as principais vantagens e desvantagens do método de amostragem de área fixa, quais sejam:

Vantagens:

- Praticidade e simplicidade na alocação das unidades;
- Manutenção de alta correlação entre duas ou mais medições sucessivas para inventários contínuos;
- Possibilidade de obter uma gama de estimadores na unidade, tais como: área basal, volume, distribuição diamétrica, etc.

Desvantagens:

- Maior custo na instalação e manutenção dos limites das unidades;
- Em geral o número de árvores a ser medido na unidade é maior se comparados a outros métodos de amostragem.

#### **1.4.3.2 - Método de Strand**

O método de Strand de 1958 utiliza o critério probabilístico para a seleção dos indivíduos na unidade amostral proporcional ao diâmetro, para o cálculo da área basal e do número de árvores por hectare e proporcional à altura para o valor de volume e número de árvores por hectare (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997).

O método utiliza uma abordagem em linhas, ou seja, sua unidade amostral é constituída de uma linha tomada no interior do povoamento, na qual se enumeram todas as árvores do lado esquerdo que se qualificam para a amostragem (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997).

#### **1.4.3.3 - Método de Prodan**

O método, também conhecido como Método de seis árvores, considera a medição de seis árvores e uma distância ou raio da sexta árvore como referência da unidade amostral (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997).

Segundo Péllico Netto e Brena (1997), o número de seis árvores medidas na unidade amostral, teve como base o comportamento do coeficiente de variação e do volume de cada árvore em relação ao número de árvores observadas.

#### **1.4.3.4 - Método de Bitterlich**

Esse método foi desenvolvido por Bitterlich em 1948, introduzido no Brasil na década de 60, e segundo Péllico Netto e Brena (1997), “[...] consiste na contagem de árvores, em um giro de 360°, cujos diâmetros à altura do peito são iguais ou maiores que a abertura angular equivalente a  $(2 \operatorname{sen} \frac{\theta}{2})$ , onde  $\theta$  é o ângulo fixo, cujo vértice é o ponto central da unidade amostral.”

#### **1.4.4 - Método por linhas de amostragem**

Dentro do método de amostragem, o pesquisador deverá realizar a coleta dos dados necessários de acordo com o objetivo do inventário florestal. Com grande frequência, geralmente, os principais parâmetros extraídos das florestas de produção ou reflorestamentos são a altura total e o diâmetro à altura do peito (DAP) (LÓPEZ-SÁNCHEZ *et al.*, 2003), que são variáveis necessárias para o cálculo do volume.

A determinação da altura das árvores em pé, utilizando instrumentos (hipsômetros), é uma operação onerosa e sujeita a erro (COUTO E BASTOS, 1986; LÓPEZ-SÁNCHEZ *et al.*, 2003). Devido a isso a variável altura total possui menor utilização em modelos de volume do que a variável diâmetro (LÓPEZ-SÁNCHEZ *et al.*, 2003).

Dessa forma, o que se tem feito na prática é medir a altura de um grupo de árvores nas parcelas de inventário e, empregando relações hipsométricas, estima-se a altura das demais.

Entretanto, o emprego de relações hipsométricas para estimar a altura das árvores deve ser ponderado, uma vez que tais relações são afetadas por diversos fatores, podendo-se citar a idade, a qualidade do local, a densidade, a posição sociológica e as práticas silviculturais (LOETSCH *et al.*, 1973; BATISTA *et al.*, 1986; FINGER, 1992; SCOLFORO *et al.*, 1993).

Nas empresas florestais, os inventários florestais são responsáveis por fornecer os dados para determinação da relação hipsométrica, em que se medem, em cada parcela, as alturas das quinze ou vinte primeiras árvores (SILVA *et al.*, 2007).

Além disso, as empresas necessitam também realizar a cubagem rigorosa de algumas árvores para que os resultados encontrados possam ser utilizados na criação de equações volumétricas.

Leite e Andrade (2002) apresentaram o método chamado “altura relativa”, que utiliza apenas dados obtidos nas parcelas, não sendo necessário cubar árvores no povoamento, o que reduz o número de alturas medidas nas parcelas e elimina as atividades de cubagem de árvores-amostra e de ajuste de modelos volumétricos ou de *taper*. Tal método difere-se do método convencional de inventário utilizado pelas empresas florestais, que consiste em medir o diâmetro de todas as árvores, a altura de aproximadamente quinze árvores e a altura de cinco árvores dominantes por parcela. O método de Leite e Andrade (2002) apresentou uma variação de 0,2 m<sup>3</sup>/ha se comparada com o método convencional.

O inventário por linhas de amostragem constitui um método baseada em algumas premissas a serem discutidas.

A primeira premissa se refere à aplicabilidade, ou seja, a metodologia somente é aplicável em reflorestamentos comerciais, tendo em vista a necessidade da mensuração medição das árvores de forma ordenada, em linhas. Além disso, o povoamento deve ter uma distribuição normal, características das florestas equiâneas.

A segunda premissa se relaciona com a forma de amostragem, devendo essa ser sistemática.

A terceira premissa abarca a aplicação de tecnologias móveis para tabulação e processamento dos dados em campo, tais como *Palmtop* e *Notebook*.

A quarta premissa diz respeito à ferramenta utilizada para a cubagem em pé, que no presente trabalho foi o Relascópio de Bitterlich.

A quinta premissa diz respeito ao uso dos diâmetros dasométricos de Hohenadl, que identificam as árvores que serão cubadas em pé.

Dessa forma, faz-se necessário esclarecer a teoria disposta nas premissas acima a fim de permitir o melhor entendimento da metodologia e sua eficaz aplicabilidade no campo.

#### 1.4.4.1 - Amostragem sistemática

A amostragem sistemática permite selecionar as unidades de amostra seguindo um esquema predefinido de sistematização, cobrindo toda a população. Esse processo de amostragem tem a vantagem de economizar tempo na obtenção dos dados de campo (SOARES *et al.*, 2006). Segundo Campos e Leite (2006), as amostragens sistemáticas de uma população homogênea, quanto à distribuição de seus indivíduos, resultam estimadores tão confiáveis quanto à amostragem casualizada. No entanto, mesmo na amostragem sistemática, há necessidade de se avaliar estimadores como limites de confiança, tamanho de amostra e erros de amostragem.

Segundo Higuchi (1986), "Do ponto de vista prático, a amostragem sistemática tem sido utilizada sem nenhum problema, tanto em florestas naturais como em florestas plantadas [...]". Nesse tipo de amostragem cada unidade amostral é mais bem distribuída espacialmente, não possui tendência na escolha e é menos onerosa para a alocação.

Além das vantagens citadas no uso da amostragem sistemática, para Higuchi (1986):

[...] deve ser considerada ainda a possibilidade de se organizar o controle e a supervisão dos trabalhos de campo, uma vez que as unidades amostrais são distribuídas de acordo com um padrão pré-especificado. Esse tipo de organização é fundamental na execução de um inventário florestal, sobretudo pela oportunidade de diminuir os erros não amostrais, para os quais não há fórmulas para as suas estimativas.

Higuchi (1986) concluiu que a amostragem sistemática é mais precisa que a amostragem aleatória quando o objetivo é realizar inventários florestais em áreas comerciais. Isso devido a uma menor quantidade de erros não amostrais em consequência de uma distribuição mais ordenada das unidades amostrais. Considerando-se também a intensidade amostral, a amostragem sistemática possui valores inferiores à amostragem aleatória, permitindo assim a redução nos custos do inventário.

#### 1.4.4.2 - Ferramentas tecnológicas aplicadas no inventário florestal

Pesquisadores procuraram apresentar outras metodologias para atender a necessidade das empresas de minimizar o custo e o tempo de inventário (HERNANDEZ-FILHO *et al.*, 1993; FREITAS *et al.*, 2005). Vinculada às novas metodologias, ferramentas também foram desenvolvidas e adaptadas à atividade de inventário florestal. Com o objetivo de diminuir custos e otimizar as atividades no processamento das informações coletadas nos inventários florestais, Brandelero *et al.* (2008), elaborou um software para aparelhos que utilizam tecnologia móvel (*Pocket PC, palmtops e handhelds*) para a coleta de informações no campo.

A possibilidade de integração dos aparelhos de tecnologia móvel com o GPS torna possível o registro das coordenadas geográficas de localização das parcelas florestais, registrando também informações dendrométricas que permitirão calcular o volume de madeira. Além disso, os dados coletados em campo podem ser descarregados diretamente em um computador o que possibilita a realização do processamento do inventário florestal.

#### 1.4.4.3 - Relascópio de Bitterlich

Mensurar os diâmetros ao longo do fuste permite conhecer o volume e a forma das árvores. Tradicionalmente, mensurar tais diâmetros em diferentes alturas é uma tarefa complexa para se realizar, devido às dificuldades singulares na medição. Para a realização dessas medições se utiliza como ferramenta o Relascópio de Espelho de Bitterlich (Figura 1.1).



Figura 1.1 – Vista externa do Relascópio de Espelho de Bitterlich (BITTERLICH, 1984)

A partir da década de noventa, dendrômetros *lasers* passaram a ser utilizados, mas tais aparelhos possuem um custo elevado, fato que limita sua utilização para estudos de maciços florestais.

A primeira versão do Relascópio de Bitterlich ficou conhecida como relascópio de banda estreita, tendo em vista que a segunda versão foi denominada de relascópio de banda larga.

O relascópio de Bitterlich é um instrumento muito versátil e amplamente utilizado em florestas mundiais (SALAS-CHRISTIAN *et al.*, 2005). O equipamento permite realizar as seguintes medições: área basal do povoamento, número de árvores por hectare, volume por hectare, distâncias horizontais, alturas, diâmetros em diferentes alturas do fuste, ângulos de inclinação, fator de forma e altura de Pressler (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2003).

A mensuração do diâmetro é fundamental, pois representa uma clara vantagem para os estudos de cubagem de árvores sem a derrubada, uma vez que, simultaneamente, é possível medir altura e diâmetro do fuste, além disso, o relascópio é claramente a melhor forma de se obter medições imparciais de diâmetros do fuste e com um bom nível de precisão. (SALAS-CHRISTIAN *et al.*, 2005).

#### **1.4.4.4 - Diâmetros médios dasométricos**

A Dendrometria trata da determinação e estimação das dimensões das árvores, das plantações, das florestas e do seu crescimento e produtos (IMAÑA-ENCINAS *et al.*, 2004a). Para Machado e Figueiredo Filho (2003), a Dendrometria envolve não só a mensuração das dimensões, volumes ou peso de árvores em pé, mas também a mensuração de árvores derrubadas.

Conhecer a estrutura diamétrica dos reflorestamentos é requisito essencial para o planejamento e execução de coerentes sistemas silviculturais e de manejo. O estudo das distribuições diamétricas permite conhecer a estrutura do povoamento, especificamente as dimensões das árvores e seu sortimento em relação a uma unidade de área (PRODAN, 1965).

A estrutura do reflorestamento é o resultado dos hábitos de crescimento da espécie plantada, das condições ambientais, e das práticas silviculturais e de manejo. Apesar de atualmente o estudo das distribuições diamétricas estarem amplamente difundidos e aplicados

em países de tradição florestal como a Alemanha (KLEINN, 1989; HERNANDEZ, 2001) e os Estados Unidos (GROSENBAUGH, 1958; KAISER, 1983), no Brasil ainda é pouco usado no manejo de florestas, embora constitua um meio simples e eficaz para descrever as propriedades dos povoamentos. Além do estudo da distribuição diamétrica, segundo Prodan (1965), os diâmetros dasométricos refletem, também, importantes parâmetros para o manejo florestal.

A determinação do diâmetro médio aritmético para uma interpretação correta de parâmetros de manejo florestal pode não ser a melhor alternativa. Aplica-se, então, os diâmetros médios dasométricos, que são de grande importância para uma valoração florestal nas práticas silviculturais e em questões de manejo (IMAÑA-ENCINAS *et al.*, 2004b).

Para exemplificar, em um estudo de caso em nível experimental, realizado em reflorestamentos localizados na região do Distrito Federal, em 2004, foram medidas 240 árvores (IMAÑA-ENCINAS, 2004) e determinados seis diâmetros médios dasométricos, entre eles os diâmetros de Hohenadl (PRODAN, 1965), conforme APÊNDICE A.

#### **1.4.4.4.1 - Diâmetro médio de Hohenadl (dH, d+ e d-)**

De acordo com Prodan (1965), os diâmetros dasométricos de Hohenadl (dH, d+ e d-) expressam variáveis que podem ser utilizadas para precisos cálculos de volume de madeira, como foi demonstrado por Altherr (1953).

Os diâmetros de Hohenadl (d+ e d-), segundo Machado e Figueiredo Filho (2003), são calculados em função da média dos diâmetros e do desvio padrão, sendo:

$$d+ = \bar{d} + s \quad (1.1)$$

$$d- = \bar{d} - s \quad (1.2)$$

Para Burger (1976), citado por Machado e Figueiredo Filho (2003) e Imaña-Encinas (2003), as árvores com diâmetros de Hohenadl (dH, d+ e d-) devem ser consideradas para o cálculo com menor erro do volume médio do povoamento.

O conceito de Hohenadl para os diâmetros d+ e d- assume que a distribuição desses se aproxima da distribuição normal. Dessa forma, os diâmetros de Hohenadl podem ser calculados em uma listagem em ordem crescente de diâmetros, em que d- corresponde ao

diâmetro na posição de corte de 16 % e d+ ao diâmetro na posição de corte de 84 % do conjunto de dados.

Segundo Imaña-Encinas (2003) o diâmetro médio de Hohenadl (dH) localiza-se próximo do diâmetro médio aritmético e deve ser calculado por meio da análise de interpretação de uma tabela de distribuição diamétrica (Imaña-Encinas, 2003), estruturada conforme indicação em Prodan (1965).

O procedimento de cálculo, segundo Imaña-Encinas (2004), consiste em calcular a média dos diâmetros, parâmetro necessário a ser medido quando os valores do DAP estão distribuídos em classes diamétricas. O diâmetro médio ponderado corresponde à divisão do total do produto ( $PMC \cdot f_{i_{ab}}$ ) pelo total da frequência.

Com os valores do DAP ordenados em classes diamétricas, é necessário estimar a variabilidade da distribuição. Para tanto, considera-se a soma dos correspondentes produtos dos desvios negativos e positivos. Os valores dos desvios são gerados com a identificação da classe diamétrica com a maior frequência absoluta, que corresponderá ao valor de desvio igual a zero. Classes diamétricas inferiores possuirão valores negativos subsequentes e as classes diamétricas superiores possuirão valores positivos.

A diferença da soma dos produtos dos desvios em modulo é dividida pelo total da frequência absoluta, o que representa um fator de correção que deverá ser multiplicado pelo intervalo da classe diamétrica. O resultado representará um coeficiente que precisará ser subtraído do valor do ponto médio da classe (PMC), que apresenta desvio (s) zero. Como resultado tem-se a verdadeira média dos diâmetros da classe diamétrica, que representa o diâmetro médio de Hohenadl (dH).

Para o cálculo dos valores de d+ e d-, considerando a soma dos desvios ao quadrado multiplicado por sua respectiva frequência absoluta ( $n_i \cdot s^2$ ), calcula-se o valor do desvio conforme abaixo:

$$s^2 = \left( \sum_{n=1}^N n_i \cdot s^2 / n - c^2 \right) \cdot b^2 \quad (1.3)$$

Em que: c = Fator de correção = 1,0; b = intervalo de classe diamétrica = 3,00 cm.

Assim, chega-se aos valores de d+ e d-.

#### **1.4.4.4.2 - Diâmetro de Weise (dw)**

O diâmetro médio de Weise (dw) corresponde ao diâmetro da árvore posicionada, em uma listagem crescente, tal que 60% do total está abaixo dela (FINGER, 1992; MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2003). Para Finger (1992), a árvore dw aproxima-se da árvore de área basimétrica do povoamento.

#### **1.4.4.4.3 - Diâmetro médio do sistema alemão (dz)**

Para Kramer e Akça (1962), o diâmetro médio do sistema alemão (dz) corresponde a árvore que possui o volume médio ponderado da população. Sua determinação assemelha-se à determinação do diâmetro de Weise (dw). Em uma listagem crescente dos diâmetros das árvores, elimina-se 30% dos valores superiores e nesse sentido o dz corresponde ao diâmetro da árvore localizada nessa posição de corte (KRAMER e AKÇA, 1962).

#### **1.4.4.4.4 - Diâmetro de Lorey (dL)**

O diâmetro dasométrico de Lorey (dL) corresponde ao diâmetro de uma árvore com altura média de uma correspondente classe diamétrica (MÜLLER, 1959). Para a estimativa do diâmetro de Lorey, faz-se necessário agrupar os valores do DAP do povoamento em classes diamétricas.

Para isso, deverá ser construída uma tabela com cinco classes diamétricas e o intervalo das classes é determinado pela amplitude do conjunto de dados dividido pelo número de classes (IMAÑA-ENCINAS, 2004).

O diâmetro de Lorey corresponderá ao valor aproximado encontrado pelo somatório do DAP, dividido pela frequência da classe central (IMAÑA-ENCINAS, 2004).

#### **1.4.4.4.5 - Diâmetro de Ulrich (dU)**

O diâmetro de Ulrich (dU) é estimado pela da divisão do número total de indivíduos (árvores) em cinco classes com mesma frequência. Posteriormente, devem-se somar os

correspondentes valores do DAP de cada classe para, em seguida, proceder ao cálculo da média dos DAPs das classes diamétricas (IMAÑA-ENCINAS, 2004).

#### **1.4.4.4.6 - Diâmetro de Hartig (dHa)**

O diâmetro de Hartig (dHa) é obtido com o cálculo das áreas basais ou basimétricas. A soma total da área basal ou basimétrica do povoamento será dividida em cinco classes de igual tamanho de área basal (IMAÑA-ENCINAS, 2004).

Com frequência não é possível estabelecer tamanhos iguais de área basal para as classes diamétricas e nesse sentido se deve tentar a melhor aproximação de valores. Todos os valores do DAP serão somados para cada classe. Uma tabela de classes diamétricas deverá ser construída e o diâmetro de Hartig (dHa) representará, aproximadamente, o valor do somatório do DAP dividido pela frequência da classe central em destaque na tabela abaixo (IMAÑA-ENCINAS, 2004).

## **2 - MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo está localizada na Estação Experimental Fazenda Água Limpa (FAL-UnB), porção centro-oeste do Distrito Federal, nas coordenadas geográficas 15°31'S e 47°42'W (Figura 2.1). O clima predominante da região, segundo Köppen-Geiger, é o Aw, caracterizado pela sazonalidade do regime de chuvas: período chuvoso de outubro a abril, e período seco de maio a setembro (SANTANA *et al.*, 2010).

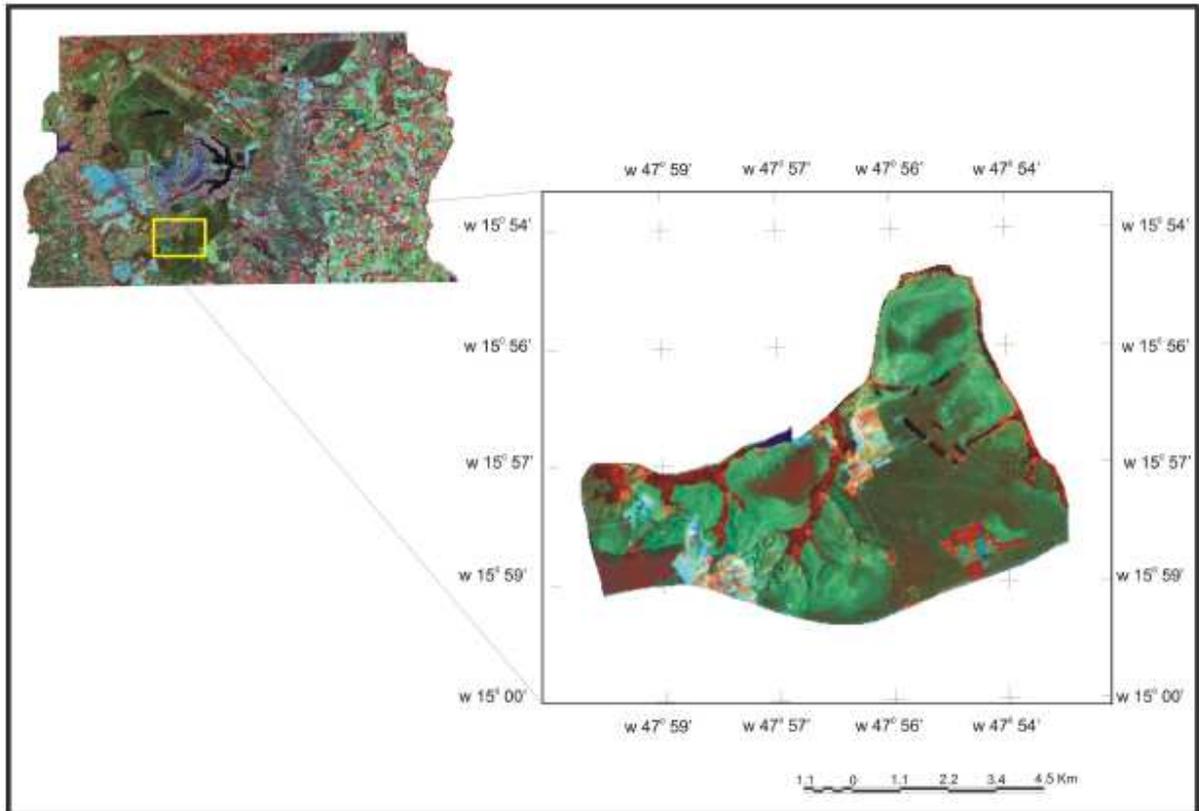


Figura 2.1– Área de estudo localizada na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal

O talhão, objeto do estudo possui, aproximadamente, 4 hectares de área total, e está localizado nas coordenadas geográficas  $15^{\circ}58'18,21''S$  e  $47^{\circ}54'14,02'' W$ , com elevação de 1.106 m de altitude. A área está povoada pela espécie *Eucalyptus urophylla*, plantada com espaçamento de 3x2 m e possui, aproximadamente, 4 anos de idade (Figura 2.2).



Figura 2.2 – Plantio de *Eucalyptus urophylla* com  $\approx$  4 anos (2011) – FAL/UnB, Distrito Federal

## 2.2 -COLETA DE DADOS NO MODELO DE INVENTÁRIO FLORESTAL CONVENCIONAL DE ÁREA FIXA

Inicialmente a área total do talhão foi dividida em 100 parcelas de 400 m<sup>2</sup> (40 x 10 m), as quais foram identificadas, atribuindo-se a cada qual um número entre 1 e 100. Em seguida foram escolhidas aleatoriamente sete parcelas para a realização do inventário piloto. Com o resultado do inventário piloto se calculou a precisão do inventário.

Se a precisão calculada for maior que a precisão requerida (erro de amostragem máximo de 10 % da média estimada, com 95 % de probabilidade de confiança), a intensidade amostral ( $n$ ) será calculada, conforme equação 2.1 no caso de população finita ( $1 - f < 0,98$ ) ou equação 2.2 no caso de população infinita ( $1 - f \geq 0,98$ ).

$$n = \frac{N t^2 s_x^2}{N E^2 + t^2 s_x^2} \quad (2.1)$$

$$n = \frac{t^2 s_x^2}{E^2} \quad (2.2)$$

Em que:

$$E = (LE \cdot \bar{x})$$

$LE$  = limite de erro de amostragem admitida

As parcelas escolhidas foram identificadas e demarcadas no talhão com a utilização de estacas e fita de isolamento.

Nas parcelas demarcadas, conduziu-se o inventário conforme o método convencional, com a mensuração de 100 % dos DAP's, utilizando a suta, e a mensuração de 100 % das alturas, utilizando o hipsómetro Haga. Após a coleta, os valores foram tabulados em uma planilha *Microsoft Excel* para processamento dos cálculos de volume.

A partir da cubagem em pé de 20 primeiras árvores, mensurados na primeira parcela, utilizando o relascópio de Bitterlich, e utilizando o modelo volumétrico de Spurr (Modelo 2.3) encontrou-se o volume por indivíduo que foi extrapolado para hectare.

$$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 H + \varepsilon_i \quad (2.3)$$

A fim de compararmos a eficiência relativa dos métodos, mensurou-se, por meio de um cronômetro, o tempo total gasto no inventário para demarcação das parcelas, o tempo total de coleta do DAP, o tempo de coleta das alturas, o tempo total de tabulação dos dados da ficha de coleta para uma planilha em *Microsoft Excel* e o tempo de processamento dos dados para resultado do volume e cálculo da intensidade amostral.

A soma dos tempos auferidos constituiu o tempo de medição gasto para a realização do inventário convencional de área fixa.

## **2.3 - COLETA DE DADOS NO MODELO DE INVENTÁRIO POR LINHAS DE AMOSTRAGEM**

O tempo de execução do inventário foi auferido com um cronômetro. A fim de garantir condições que permitissem comparar o tempo total gasto para a realização do inventário florestal, admitiu-se um erro máximo de 10 % do volume médio por hectare, com grau de confiança de 95 % de probabilidade.

Um processo de amostragem sistemática foi conduzido, conforme Figura 2.3. Descartaram-se para efeito de estudo a bordadura, iniciando-se assim, a coleta dos dados a partir da 4ª linha.

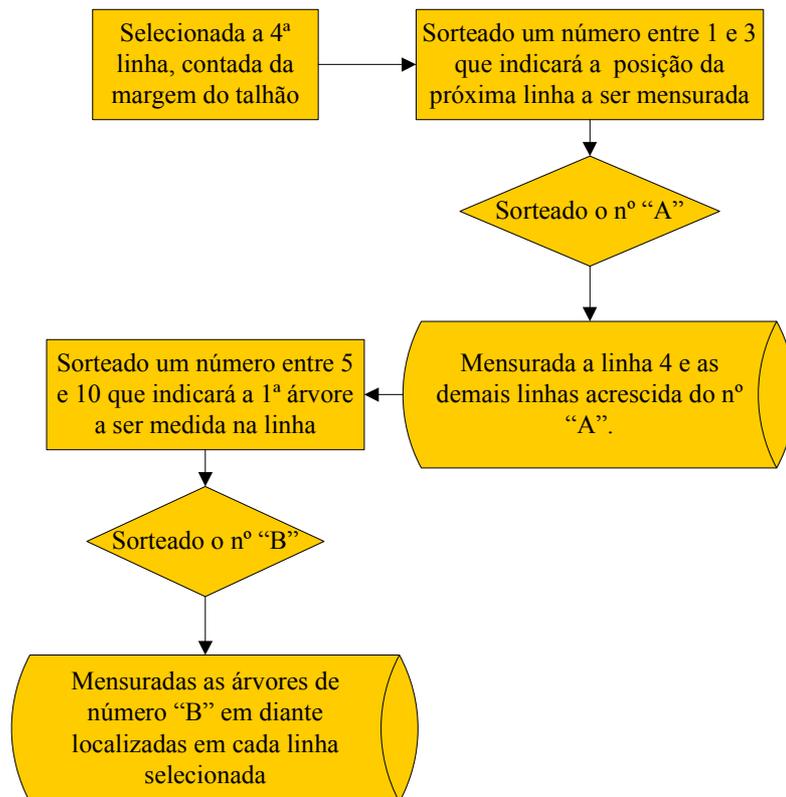


Figura 2.3 – Sistemática de amostragem das linhas no inventário florestal por linhas de amostragem

A mensuração das árvores, na linha, iniciou-se a partir da margem do talhão junto à estrada, após a escolha de um número sorteado entre 5 e 10, que indicou a posição da primeira árvore. Em cada linha foram mensuradas 100 árvores. As linhas mensuradas foram selecionadas a partir da 4ª linha, após sorteio de um número entre 1 e 3, que somados à quarta linha indicaram as próximas. Ao final foram mensuradas 10 linhas, num total de 1.000 árvores.

A primeira e última árvore de cada linha foi identificada visualmente com tinta *spray* na cor branca e fita de isolamento.

Mensurou-se o DAP com uma suta de 50 cm. Registrou-se o número de árvores por linha por meio de um contador manual. Os dados do DAP foram digitados diretamente em um *Palmtop*, equipamento que permitiu transferi-los para um computador, por meio de uma leitora de cartões SD, objetivando o processamento em planilha *Microsoft Excel*, desenvolvida

para identificação dos diâmetros dasométricos de Hohenadl (d+, d- e dH), Weise, Lorey, Hartig, Urich e o diâmetro do sistema alemão.

Além da análise de estatística descritiva, analisaram-se os dados quanto à normalidade, uma vez que o conceito de Hohenadl para os diâmetros d+ e d- assumem que a distribuição desses se deve aproximar da distribuição normal.

Para realizar o teste de normalidade, aplicou-se primeiro teste gráfico com a criação de histogramas e a sobreposição da curva normal, o qual indica graficamente o ajustamento dos diâmetros estimados ao modelo gaussiano. Para confirmar os resultados encontrados pelo teste gráfico, realizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S). O teste de Kolmogorov-Smirnov pode ser aplicado para testar se a característica estudada da amostra é oriunda de uma população com distribuição normal (SOKAL e ROHLF, 1997). Ambos os testes estatísticos de normalidade foram processados pelo *Software STATGRAPHICS Centurion*.

Identificadas as árvores d+, d- e dH por linha, foram mensurados três outros diâmetros: a uma altura de 30 cm, de 2m e de 6m, para árvores de até 10m de altura e para as que ultrapassaram os 10m mediu-se o diâmetro a 10m. Utilizou-se o relascópio de Bitterlich a uma distância de 25 metros do alvo para mensurar os diâmetros de 2, 6 e 10 metros.

Com os valores dos diâmetros nas diferentes alturas, foram calculados os volumes de cada árvore pela fórmula de Smalian (Equação 2.4).

$$V = \left( \frac{g_1 + g_2}{2} \right) \times l \quad (2.4)$$

Tendo em vista que foram identificadas mais de uma árvore com diâmetros d+, d- e dH por linha, o volume por linha foi calculado por meio da média aritmética, expressando assim o volume médio da linha de amostragem, que posteriormente foi extrapolado para a unidade de hectare.

Mensurou-se por meio de um cronômetro o tempo total de ação em cada linha: para coleta do DAP, para deslocamento até a próxima linha (retorno), para processamento dos dados em campo com finalidade de indicar das árvores d+, d- e dH, para cubagem das árvores d+, d- e dH por linha, para deslocamento até a próxima linha (retorno) na cubagem e para processamento dos dados em campo com finalidade de indicar o volume.

A soma dos tempos auferidos constituiu o tempo de medição gasto para a metodologia aplicada, ou seja, do inventário por linhas de amostragem.

A metodologia pode ser dividida em quatro etapas de forma resumida, demonstrada na Figura 2.4.

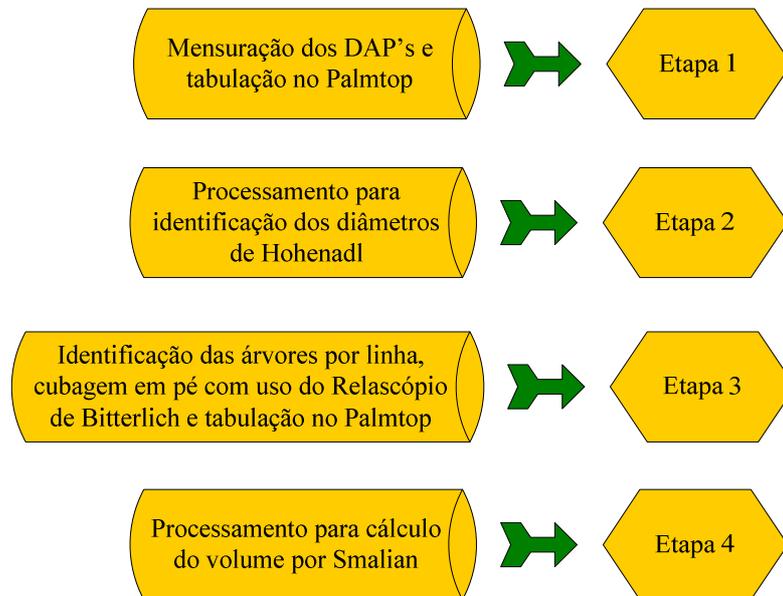


Figura 2.4 – Fluxo metodológico por etapa para a amostragem por linhas

## 2.4 - CÁLCULO DA EFICIÊNCIA RELATIVA

A fim de comparar as duas metodologias, inventário convencional de área fixa e inventário por linhas de amostragem, pode-se aplicar a equação 2.6 (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997).

$$\frac{U_x}{U_y} = \frac{T_x (CV_x^2)}{T_y (CV_y^2)} \quad (2.6)$$

Em que:

$CV_x^2$  = coeficiente de variação obtido no inventário por linhas de amostragem;

$T_x$  = tempo de medição gasto no inventário por linhas de amostragem, em horas;

$CV_y^2$  = coeficiente de variação obtido no inventário convencional;

$T_y$  = tempo de medição gasto no inventário convencional, em horas.

Segundo Péllico Netto e Brena (1997), se o resultado da razão entre as eficiências for maior que 1, o inventário convencional será mais eficiente e no caso do resultado da razão apresentar valor menor que 1, o inventário por linhas de amostragem será mais eficiente.

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 - RESULTADO DO INVENTÁRIO CONVENCIONAL DE ÁREA FIXA

Para o inventário, foram sorteadas as 12 parcelas e mensuradas 648 árvores.

A estatística descritiva do DAP e da altura está demonstrada na Tabela 3.1, considerando as 7 parcelas analisadas.

Tabela 3.1 – Estatística descritiva de DAP e Altura para povoamento de *Eucalyptus urophylla*, com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal

	<i>DAP (cm)</i>	<i>Altura (m)</i>
Média	10,90	9,35
Erro padrão	0,10	0,05
Mediana	11,20	9,49
Moda	11,00	9,00
Desvio padrão	2,50	1,18
Variância da amostra	6,23	1,39
Intervalo	13,70	6,41
Mínimo	4,00	6,12
Máximo	17,70	12,53

O valor médio do DAP e altura, por parcela, e o coeficiente de variação estão demonstrados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Valores médios do DAP e altura, e Coeficiente de Variação do DAP e altura para povoamento de *Eucalyptus urophylla*, com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal

Parcela	DAP (cm)	CV %	Altura (m)	CV %
	Médio	(DAP)	Média	(Altura)
5	10,40	18,80	9,10	11,41
12	10,60	23,36	9,20	12,60
17	10,70	19,35	9,30	10,48
18	10,40	24,14	9,10	12,90
22	11,57	19,84	9,66	11,12
25	11,94	21,47	9,83	12,20
32	11,39	18,92	9,57	10,54
37	11,39	25,64	9,58	14,28
44	10,50	22,87	9,10	12,26
56	9,50	25,41	8,70	13,01
78	10,70	22,78	9,20	12,33
89	11,82	24,11	9,78	13,65
	10,90	22,90	9,35	12,60

O coeficiente de variação (CV) do DAP para o inventário, considerando as 12 parcelas, oscilou entre 18,80 e 25,64 %. O conjunto de dados do DAP apresentou um coeficiente de variação de 22,90 %. Já a altura teve um CV variando de 10,48 a 14,28%. Considerando o conjunto total de alturas o CV foi de 12,60 %. A correlação do DAP com a altura foi de 0,9925, ou seja, altamente correlacionados positivamente.

Para o cálculo do volume, utilizando as 20 primeiras árvores, cubadas em pé na primeira parcela, o modelo ajustado de dupla entrada de Spurr apresentou um erro padrão de 0,002 m<sup>3</sup> e um R<sup>2</sup> ajustado de 87 %. Testados os coeficientes, esses foram significativos. O teste de F para o modelo, também apresentou resultado significativo a 95 % de significância.

Os estimadores de  $\beta_0$  e  $\beta_1$  foram 0,01512018 e 0,00001192, respectivamente.

O gráfico dos resíduos para o modelo está demonstrado na Figura 3.1.

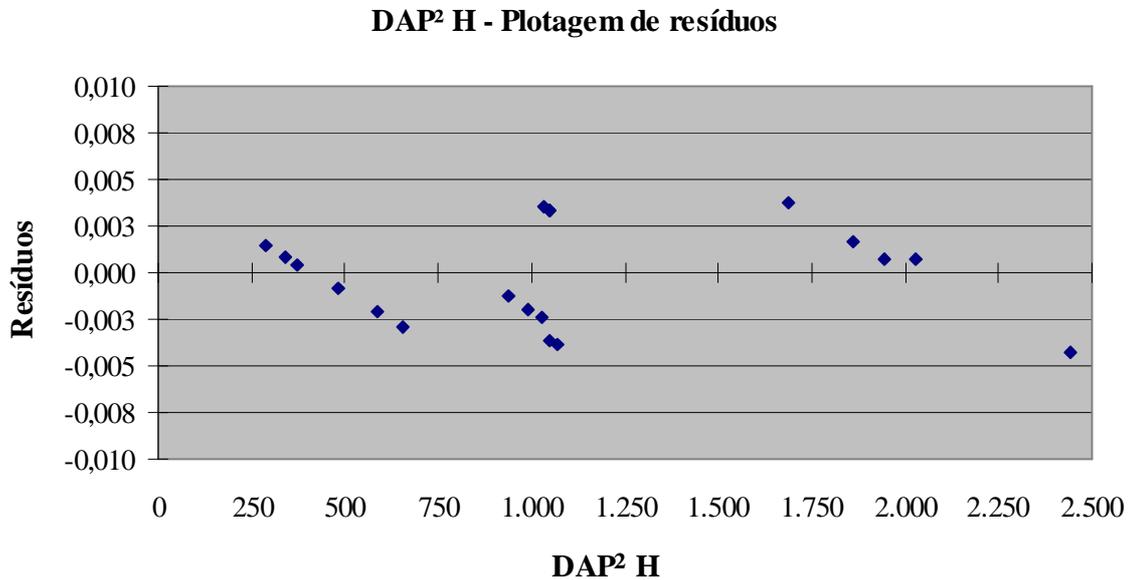


Figura 3.1 – Gráfico de resíduos para modelo ajustado de dupla entrada de Spurr

O volume por parcela está demonstrado na Tabela 3.3, aplicando o modelo ajustado de dupla entrada de Spurr.

Tabela 3.3 – Volume encontrado na execução da metodologia convencional de área fixa retangular, para *Eucalyptus urophylla*, em reflorestamento com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal

Parcela	Volume m <sup>2</sup> /ha
5	46,15
12	48,15
17	47,83
18	47,00
22	52,94
25	55,64
32	51,66
37	53,16
44	47,16
56	42,79
78	48,40
89	55,56

O volume médio encontrado foi de 49,70 m<sup>3</sup>/ha. A variância foi de 16,15 (m<sup>3</sup>/ha)<sup>2</sup> e o desvio padrão de 4,02 m<sup>3</sup>/ha, com um coeficiente de variação de 8,09 %. Considerando uma população finita ( $1 - f = 0,88$ ) e um limite de erro de amostragem admitido de 10 % e 95 % de confiabilidade o número de parcelas amostradas no inventário piloto foram suficientes, tendo em vista o erro de amostragem estimado de  $\pm 4,82$  %. A variância da média foi de 1,18 (m<sup>3</sup>/ha)<sup>2</sup>. O erro padrão foi de  $\pm 1,09$  m<sup>3</sup>/ha e o erro padrão relativo foi de  $\pm 2,19$  %. O total da população foi de 4.970,33 m<sup>3</sup>. O intervalo de confiança para a média foi de:

$$IC [47,31 \text{ m}^3/\text{ha} \leq \bar{X} \leq 52,10 \text{ m}^3/\text{ha}] = 95 \%$$

O tempo total auferido na realização da metodologia foi de 08 horas, 49 minutos e 38 segundos (Tabela 3.4).

Tabela 3.4 – Tempo auferido na execução da metodologia convencional de área fixa retangular, para *Eucalyptus urophylla*, em reflorestamento com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal

Parcela	DAP	Altura	Alocação de parcela	Tabulação	Processamento	Total por Parcela
5	0:05:48	0:16:25	0:10:38	0:04:07	0:11:25	0:48:23
12	0:04:29	0:15:14	0:11:09	0:04:45	0:11:25	0:47:02
17	0:05:32	0:17:52	0:11:20	0:03:59	0:11:25	0:50:08
18	0:04:30	0:12:53	0:02:37	0:03:00	0:11:25	0:34:25
22	0:06:09	0:16:48	0:04:24	0:02:54	0:11:25	0:41:40
25	0:04:38	0:15:31	0:02:37	0:03:28	0:11:25	0:37:39
32	0:04:41	0:15:11	0:08:49	0:03:41	0:11:25	0:43:47
37	0:04:52	0:16:06	0:03:27	0:03:20	0:11:25	0:39:10
44	0:04:36	0:16:59	0:09:10	0:03:32	0:11:25	0:45:42
56	0:05:15	0:16:17	0:10:51	0:03:07	0:11:25	0:46:55
78	0:06:08	0:16:06	0:15:02	0:02:59	0:11:25	0:51:40
89	0:05:18	0:14:21	0:08:23	0:03:40	0:11:25	0:43:07
Total por ação	1:01:56	3:09:43	1:38:27	0:42:32	2:17:00	8:49:38

### 3.2 - RESULTADO DO INVENTÁRIO POR LINHAS DE AMOSTRAGEM

O resultado da amostragem sistemática para o inventário por linhas de amostragem forneceu o conjunto amostral que segue. O número entre um e três sorteado para ser acrescido ao número 4 foi o número 2, ou seja, foram mensuradas as seguintes linhas: 4, 6, 8, 10, 12, 14,

16, 18, 20 e 22 totalizando dez linhas. O número sorteado entre cinco e dez para indicar a posição da primeira árvore a ser mensurada na linha foi o número 6.

A análise realizada através do *Software STATGRAPHICS Centurion* demonstrou que os dados coletados nas 10 linhas apresentaram uma distribuição normal.

Para todas as linhas, o menor valor de P, para o teste de normalidade, realizado pelo *Software STATGRAPHICS Centurion* foi maior ou igual a 0,05, ou seja, não se pode rejeitar a hipótese de que os valores do DAP advêm de uma distribuição normal com 95 % de confiança.

Além da análise gráfica por meio da curva normal, o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) demonstrou mais uma vez que a distribuição é normal para todo o conjunto de dados. Os valores de assimetria padronizada e curtose normalizada estão dentro da faixa esperada para conjunto total de dados de uma distribuição normal.

A Figura 3.2 representa a distribuição diamétrica dos valores do DAP e a curva normal do conjunto de dados. No caso do Gráfico de Probabilidade (Figura 3.3) quanto mais próximos da linha de referência os valores do DAP, maior é a probabilidade de a distribuição ser normal.

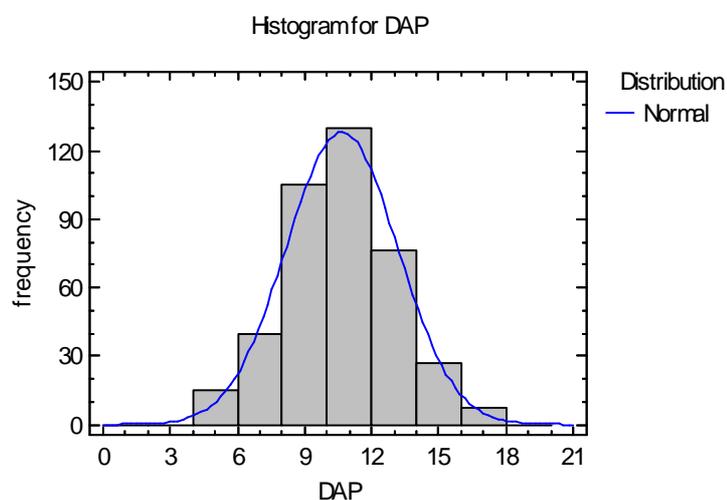


Figura 3.2 – Distribuição diamétrica dos valores do DAP e curva normal para *Eucalyptus urophylla*, em reflorestamento com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal, considerando todo o conjunto amostral

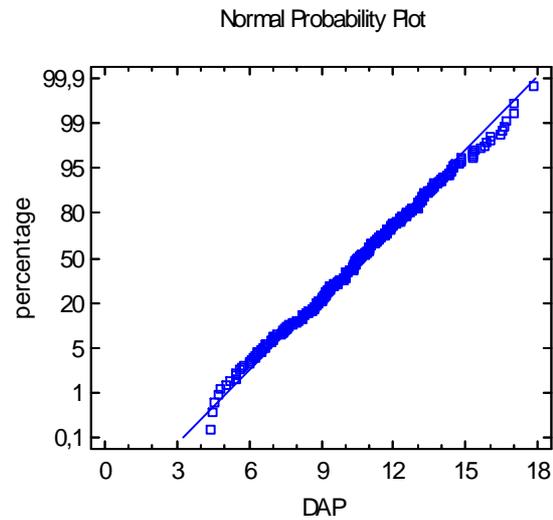


Figura 3.3 – Gráfico de Probabilidade Normal para *Eucalyptus urophylla*, em reflorestamento com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal, considerando todo o conjunto amostral

A análise realizada através do *Software STATGRAPHICS Plus* demonstrou que os dados coletados nas dez linhas apresentaram uma distribuição normal (Figuras 3.4 a 3.9).

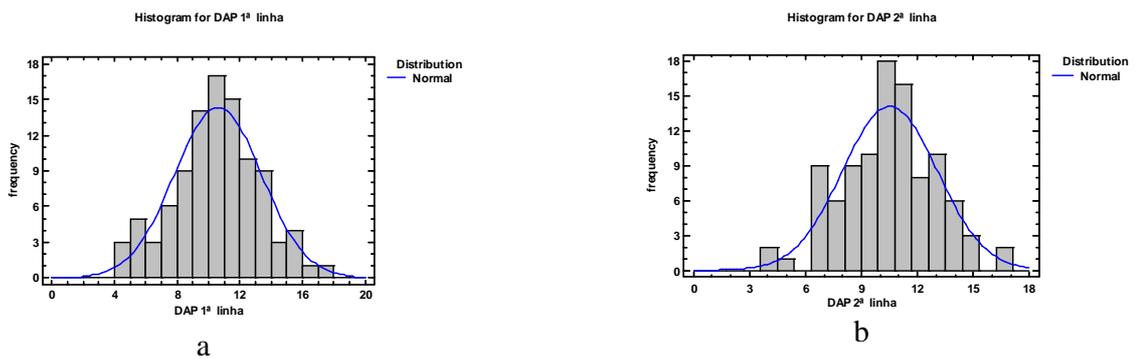


Figura 3.4 – (a) Distribuição diamétrica e curva normal da 1ª linha; (b) Distribuição diamétrica e curva normal da 2ª linha.

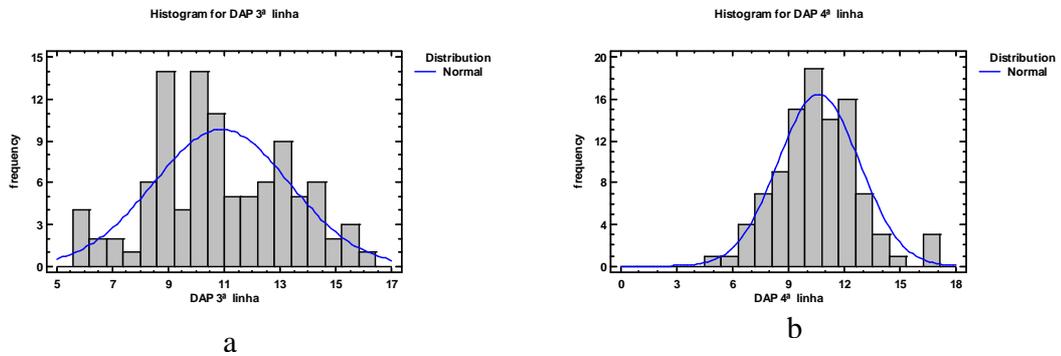


Figura 3.5 – (a) Distribuição diamétrica e curva normal da 3ª linha; (b) Distribuição diamétrica e curva normal da 4ª linha.

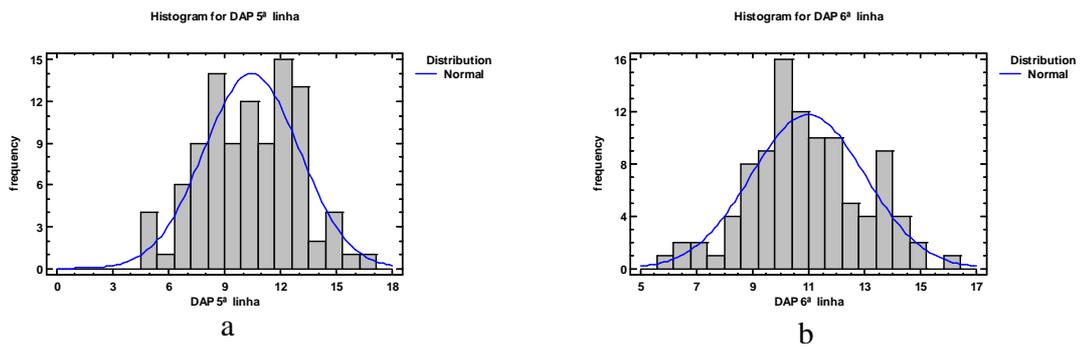


Figura 3.6 – (a) Distribuição diamétrica e curva normal da 5ª linha; (b) Distribuição diamétrica e curva normal da 6ª linha.

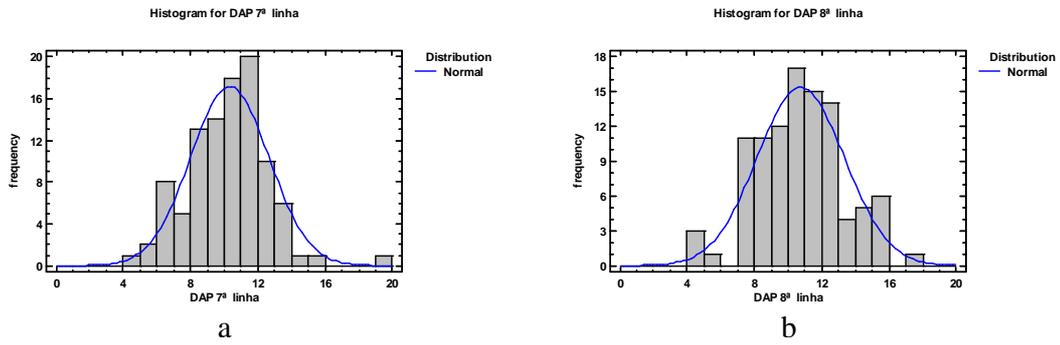


Figura 3.7 – (a) Distribuição diamétrica e curva normal da 7ª linha; (b) Distribuição diamétrica e curva normal da 8ª linha.

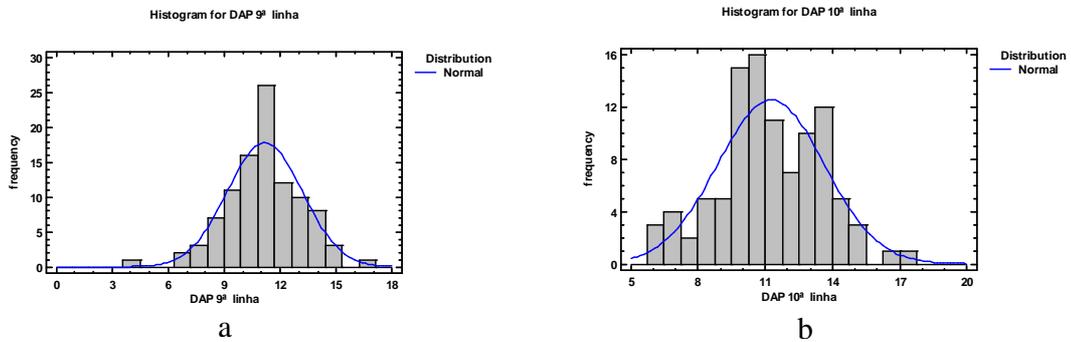


Figura 3.8 – (a) Distribuição diamétrica e curva normal da 9ª linha; (b) Distribuição diamétrica e curva normal da 10ª linha.

Considerando as 10 linhas amostradas, as Tabelas 3.5 a 3.14 demonstram de distribuição diamétrica e os valores de  $dH$ ,  $d-$  e  $d+$  para cada linha.

Tabela 3.5 – Distribuição diamétrica e diâmetros de Hohenadl (dH, d+ e d-) da linha 4

Classe Diamétrica*	PMC (cm)	Frequência (fi)		PMC x fi <sub>ab</sub>	Desvio S	fi <sub>ab</sub> x desvio	
		Absoluta (ab)	Acumulada			n . S	n . S <sup>2</sup>
4 - 6	5,00	8	8	40,00	-3	-24,00	72,00
6 - 8	7,00	9	17	63,00	-2	-18,00	36,00
8 - 10	9,00	20	37	180,00	-1	-20,00	20,00
10 - 12	11,00	34	71	374,00	0	0,00	0,00
12 - 14	13,00	17	88	221,00	1	17,00	17,00
14 - 16	15,00	9	97	135,00	2	18,00	36,00
16 - 18	17,00	3	100	51,00	3	9,00	27,00
Total		100		1.064,00			208,00
							<b>d- = 7,8</b>
							<b>d+ = 13,5</b>
							<b>dH = 10,6</b>

\* Intervalo fechado à direita do leitor.

Tabela 3.6 – Distribuição diamétrica e diâmetros de Hohenadl (dH, d+ e d-) da linha 6

Classe Diamétrica*	PMC (cm)	Frequência (fi)		PMC x fi <sub>ab</sub>	Desvio S	fi <sub>ab</sub> x desvio	
		Absoluta (ab)	Acumulada			n . S	n . S <sup>2</sup>
4 - 6	5,00	3	3	15,00	-3	-9,00	27,00
6 - 8	7,00	13	16	91,00	-2	-26,00	52,00
8 - 10	9,00	21	37	189,00	-1	-21,00	21,00
10 - 12	11,00	35	72	385,00	0	0,00	0,00
12 - 14	13,00	21	93	273,00	1	21,00	21,00
14 - 16	15,00	5	98	75,00	2	10,00	20,00
16 - 18	17,00	2	100	34,00	3	6,00	18,00
Total		100		1.062,00			159,00
							<b>d- = 8,1</b>
							<b>d+ = 13,1</b>
							<b>dH = 10,6</b>

\* Intervalo fechado à direita do leitor.

Tabela 3.7 – Distribuição diamétrica e diâmetros de Hohenadl (dH, d+ e d-) da linha 8

Classe Diamétrica*	PMC (cm)	Frequência (fi)		PMC x fi <sub>ab</sub>	Desvio S	fi <sub>ab</sub> x desvio	
		Absoluta (ab)	Acumulada			n . S	n . S <sup>2</sup>
4 - 6	5,00	1	1	5,00	-3	-3,00	9,00
6 - 8	7,00	8	9	56,00	-2	-16,00	32,00
8 - 10	9,00	26	35	234,00	-1	-26,00	26,00
10 - 12	11,00	30	65	330,00	0	0,00	0,00
12 - 14	13,00	23	88	299,00	1	23,00	23,00
14 - 16	15,00	11	99	165,00	2	22,00	44,00
16 - 18	17,00	1	100	17,00	3	3,00	9,00
Total		100		1.106,00			143,00
							<b>d- = 8,7</b>
							<b>d+ = 13,5</b>
							<b>dH = 11,1</b>

\* Intervalo fechado à direita do leitor.

Tabela 3.8 – Distribuição diamétrica e diâmetros de Hohenadl (dH, d+ e d-) da linha 10

Classe Diamétrica*	PMC (cm)	Frequência (fi)		PMC x $\bar{f}_{i_{ab}}$	Desvio S	$\bar{f}_{i_{ab}}$ x desvio	
		Absoluta (ab)	Acumulada			n . S	n . S <sup>2</sup>
4 - 6	5,00	1	1	5,00	-3	-3,00	9,00
6 - 8	7,00	10	11	70,00	-2	-20,00	40,00
8 - 10	9,00	26	37	234,00	-1	-26,00	26,00
10 - 12	11,00	37	74	407,00	0	0,00	0,00
12 - 14	13,00	20	94	260,00	1	20,00	20,00
14 - 16	15,00	3	97	45,00	2	6,00	12,00
16 - 18	17,00	3	100	51,00	3	9,00	27,00
Total		100		1.072,00			134,00
							<b>d- = 8,4</b>
							<b>d+ = 13,0</b>
							<b>dH = 10,7</b>

\* Intervalo fechado à direita do leitor.

Tabela 3.9 – Distribuição diamétrica e diâmetros de Hohenadl (dH, d+ e d-) da linha 12

Classe Diamétrica*	PMC (cm)	Frequência (fi)		PMC x $\bar{f}_{i_{ab}}$	Desvio S	$\bar{f}_{i_{ab}}$ x desvio	
		Absoluta (ab)	Acumulada			n . S	n . S <sup>2</sup>
4 - 6	5,00	5	5	25,00	-4	-20,00	80,00
6 - 8	7,00	13	18	91,00	-3	-39,00	117,00
8 - 10	9,00	25	43	225,00	-2	-50,00	100,00
10 - 12	11,00	22	65	242,00	-1	-22,00	22,00
12 - 14	13,00	29	94	377,00	0	0,00	0,00
14 - 16	15,00	5	99	75,00	1	5,00	5,00
16 - 18	17,00	1	100	17,00	2	2,00	4,00
Total		100		1.052,00			328,00
							<b>d- = 7,9</b>
							<b>d+ = 13,2</b>
							<b>dH = 10,5</b>

\* Intervalo fechado à direita do leitor.

Tabela 3.10 – Distribuição diamétrica e diâmetros de Hohenadl (dH, d+ e d-) da linha 14

Classe Diamétrica*	PMC (cm)	Frequência (fi)		PMC x $\bar{f}_{i_{ab}}$	Desvio S	$\bar{f}_{i_{ab}}$ x desvio	
		Absoluta (ab)	Acumulada			n . S	n . S <sup>2</sup>
6 - 8	7,00	6	6	42,00	-2	-12,00	24,00
8 - 10	9,00	22	28	198,00	-1	-22,00	22,00
10 - 12	11,00	44	72	484,00	0	0,00	0,00
12 - 14	13,00	19	91	247,00	1	19,00	19,00
14 - 16	15,00	8	99	120,00	2	16,00	32,00
16 - 18	17,00	1	100	17,00	3	3,00	9,00
Total		100		1.108,00			106,00
							<b>d- = 9,0</b>
							<b>d+ = 13,1</b>
							<b>dH = 11,1</b>

\* Intervalo fechado à direita do leitor.

Tabela 3.11 – Distribuição diamétrica e diâmetros de Hohenadl (dH,  $d+$  e  $d-$ ) da linha 16

Classe Diamétrica*	PMC (cm)	Frequência (fi)		PMC x $f_{i_{ab}}$	Desvio S	$f_{i_{ab}}$ x desvio	
		Absoluta (ab)	Acumulada			n . S	n . S <sup>2</sup>
4 - 6	5,00	3	3	15,00	-3	-9,00	27,00
6 - 8	7,00	12	15	84,00	-2	-24,00	48,00
8 - 10	9,00	27	42	243,00	-1	-27,00	27,00
10 - 12	11,00	37	79	407,00	0	0,00	0,00
12 - 14	13,00	15	94	195,00	1	15,00	15,00
14 - 16	15,00	5	99	75,00	2	10,00	20,00
16 - 18	17,00	0	99	0,00	3	0,00	0,00
18 - 20	19,00	1	100	19,00	4	4,00	16,00
Total		100		1.019,00			137,00
							<b>d- = 8,1</b>
							<b>d+ = 12,5</b>
							<b>dH = 10,3</b>

\* Intervalo fechado à direita do leitor.

Tabela 3.12 – Distribuição diamétrica e diâmetros de Hohenadl (dH,  $d+$  e  $d-$ ) da linha 18

Classe Diamétrica*	PMC (cm)	Frequência (fi)		PMC x $f_{i_{ab}}$	Desvio S	$f_{i_{ab}}$ x desvio	
		Absoluta (ab)	Acumulada			n . S	n . S <sup>2</sup>
4 - 6	5,00	3	3	15,00	-3	-9,00	27,00
6 - 8	7,00	11	14	77,00	-2	-22,00	44,00
8 - 10	9,00	23	37	207,00	-1	-23,00	23,00
10 - 12	11,00	33	70	363,00	0	0,00	0,00
12 - 14	13,00	18	88	234,00	1	18,00	18,00
14 - 16	15,00	10	98	150,00	2	20,00	40,00
16 - 18	17,00	2	100	34,00	3	6,00	18,00
Total		100		1.046,00			152,00
							<b>d- = 8,2</b>
							<b>d+ = 13,1</b>
							<b>dH = 10,7</b>

\* Intervalo fechado à direita do leitor.

Tabela 3.13 – Distribuição diamétrica e diâmetros de Hohenadl (dH,  $d+$  e  $d-$ ) da linha 20

Classe Diamétrica*	PMC (cm)	Frequência (fi)		PMC x $f_{i_{ab}}$	Desvio S	$f_{i_{ab}}$ x desvio	
		Absoluta (ab)	Acumulada			n . S	n . S <sup>2</sup>
4 - 6	5,00	1	1	5,00	-3	-3,00	9,00
6 - 8	7,00	4	5	28,00	-2	-8,00	16,00
8 - 10	9,00	19	24	171,00	-1	-19,00	19,00
10 - 12	11,00	42	66	462,00	0	0,00	0,00
12 - 14	13,00	26	92	338,00	1	26,00	26,00
14 - 16	15,00	7	99	105,00	2	14,00	28,00
16 - 18	17,00	1	100	17,00	3	3,00	9,00
Total		100		1.109,00			98,00
							<b>d- = 9,2</b>
							<b>d+ = 13,2</b>
							<b>dH = 11,2</b>

\* Intervalo fechado à direita do leitor.

Tabela 3.14 – Distribuição diamétrica e diâmetros de Hohenadl ( $dH$ ,  $d+$  e  $d-$ ) da linha 22

Classe Diamétrica*	PMC (cm)	Frequência (fi)		PMC x fi <sub>ab</sub>	Desvio S	fi <sub>ab</sub> x desvio	
		Absoluta (ab)	Acumulada			n . S	n . S <sup>2</sup>
4 - 6	5,00	1	1	5,00	-3	-3,00	9,00
6 - 8	7,00	8	9	56,00	-2	-16,00	32,00
8 - 10	9,00	16	25	144,00	-1	-16,00	16,00
10 - 12	11,00	37	62	407,00	0	0,00	0,00
12 - 14	13,00	23	85	299,00	1	23,00	23,00
14 - 16	15,00	13	98	195,00	2	26,00	52,00
16 - 18	17,00	2	100	34,00	3	6,00	18,00
Total		100		1.106,00			132,00
							<b>d- = 9,0</b>
							<b>d+ = 13,6</b>
							<b>dH = 11,3</b>

\* Intervalo fechado à direita do leitor.

O inventário por linhas de amostragem apresentou os seguintes valores para diâmetros dasométricos expressos na Tabela 3.15, considerando as linhas amostradas.

Tabela 3.15 – Resultado dos diâmetros dasométricos do inventário por linhas de amostragem para *Eucalyptus urophylla*

Diâmetros Dasométricos	Nº da Linha no talhão									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
d ponderado	10,6	10,6	11,1	10,7	10,5	11,1	10,2	10,5	11,1	11,1
média dos diâmetros	10,6	10,5	10,9	10,6	10,5	11,0	10,3	10,8	11,2	11,3
dh	10,6	10,6	11,1	10,7	10,5	11,1	10,3	10,7	11,2	11,3
d+	13,5	13,1	13,5	13,0	13,2	13,1	12,5	13,1	13,2	13,6
d-	7,8	8,1	8,7	8,4	7,9	9,0	8,1	8,2	9,2	9,0
dw	11,3	10,4	10,5	11,0	11,4	11,3	11,0	11,3	11,5	11,7
dL	11,3	11,1	11,1	12,1	11,6	10,9	11,7	11,3	11,3	11,1
dU	10,7	10,6	10,7	10,6	10,7	10,9	10,5	10,7	11,2	11,1
dHa	11,8	11,5	12,1	11,3	11,9	11,4	11,2	11,8	11,7	12,4
dZ	11,9	11,0	11,0	11,7	12,2	11,8	11,4	12,0	12,0	12,8

Em que:  $d$  = diâmetro;  $d-$  = diâmetro de Hohenadl menos um desvio;  $d+$  = diâmetro de Hohenadl mais um desvio;  $d_H$  = diâmetro médio de Hohenadl;  $d_U$  = diâmetro de Urich;  $d_L$  = diâmetro de Lorey;  $d_W$  = diâmetro de Weise;  $d_{Ha}$  = diâmetro de Hartig;  $d_Z$  = diâmetro da árvore central do sistema alemão.

As tabelas de distribuição diamétricas construídas no *Microsoft Excel* permitiram o cálculo dos diâmetros de Hohenadl (Tabela 3.16), Lorey (Tabela 3.17), Urich (Tabela 3.18) e Hartig (Tabela 3.19), considerando o total de indivíduos.

Tabela 3.16 – Diâmetros de Hohenadl (dH, d+ e d-) para *Eucalyptus urophylla*, em reflorestamento com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal, considerando o total de indivíduos

Classe Diamétrica*	PMC (cm)	Frequência (fi)		PMC x fi <sub>ab</sub>	Desvio S	fi <sub>ab</sub> x desvio	
		Absoluta (ab)	Acumulada			n . S	n . S <sup>2</sup>
4 - 6	5,00	31	31	155,00	-3	-93,00	279,00
6 - 8	7,00	95	126	665,00	-2	-190,00	380,00
8 - 10	9,00	247	373	2223,00	-1	-247,00	247,00
10 - 12	11,00	347	720	3817,00	0	0,00	0,00
12 - 14	13,00	200	920	2600,00	1	200,00	200,00
14 - 16	15,00	67	987	1005,00	2	134,00	268,00
16 - 18	17,00	12	999	204,00	3	36,00	108,00
18 - 20	19,00	1	1000	19,00	4	4,00	16,00
Total		1.000		10.465,00			1.374,00
							<b>d- = 8,30</b>
							<b>d+ = 12,92</b>
							<b>dH = 10,61</b>

\* Intervalo fechado à direita do leitor.

Os diâmetros de Hohenadl apresentam para povoamentos ordenados e manejados, segundo Imaña-Encinas (2004), resposta de 68 % da população.

Os valores de dH, d- e d+ encontrados foram, respectivamente, 10,61, 8,30 e 12,92 cm.

Para Imaña-Encinas (2003), a média dos diâmetros ( $\overline{DAP}$ ) do povoamento se aproxima do diâmetro médio de Hohenadl (dH). No caso em estudo, o valor do  $\overline{DAP}$  foi de 10,76 cm e o diâmetro médio de Hohenadl (dH) foi de 10,61 cm, uma variação de 1,41%.

O valor para o diâmetro de Lorey (dL) se refere ao valor de 11,41 cm, correspondente à classe diamétrica central em destaque da Tabela 3.17.

Tabela 3.17 – Diâmetro de Lorey para *Eucalyptus urophylla*, em reflorestamento com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal, considerando o total de indivíduos

CD*	PMC	fi	PMC . fi	$\sum_{i=1}^N DAP$	$\sum_{i=1}^N DAP / fi$
(cm)	(cm)				
4 - 7	5,5	71	390,5	428,15	6,03
7 - 10	8,5	302	2.567	2.683,70	8,89
10 - 13	11,5	458	5.267	5.227,25	11,41
13 - 16	14,5	156	2.262	2.199,50	14,10
16 - 19	17,5	13	227,5	221,50	17,04
Total		1.000	10.714	10.760,10	

\* Intervalo fechado à direita do leitor.

O diâmetro de Urich (dU), refere-se ao valor de 10,78 cm, correspondente à classe diamétrica central em destaque da Tabela 3.18.

Tabela 3.18 – Diâmetro de Urich para *Eucalyptus urophylla*, em reflorestamento com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal, considerando o total de indivíduos

CD	fi	$\sum_{i=1}^N \text{DAP}$	$\sum_{i=1}^N \text{DAP}/fi$
4,0 - 8,8	199	1461,60	7,34
8,9 - 10,2	200	1.914,75	9,57
10,3 - 11,3	205	2.209,75	10,78
11,4 - 12,8	201	2.415,10	12,02
12,9 - 20,0	195	2.758,90	14,15
Total	1.000	10.760,10	

Por último, o diâmetro de Hartig (dHa), refere-se ao valor de 11,71 cm, correspondente à classe diamétrica central em destaque da Tabela 3.19.

Tabela 3.19 – Diâmetro de Hartig para *Eucalyptus urophylla*, em reflorestamento com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal, considerando o total de indivíduos

CD (cm)	fi	$\sum_{i=1}^N g$ (m <sup>2</sup> )	$\sum_{i=1}^N \text{DAP}$	$\sum_{i=1}^N \text{DAP}/fi$
4,0 - 9,9	345	1,887	2.831,85	8,21
10,0 - 11,1	227	1,985	2.394,10	10,55
11,2 - 12,3	178	1,917	2.083,75	11,71
12,4 - 13,7	145	1,930	1.886,80	13,01
13,8 - 20,0	105	1,838	1.563,60	14,89
Total	1000	9,558	10.760,10	

A classificação dos DAPs de forma crescente também permitiu a identificação das árvores com diâmetro de Weise (dW), que foi de 9,10 cm, e as árvores com diâmetro do sistema alemão (dZ), que foi de 9,40 cm. Em povoamentos ordenados, nos quais a curva da distribuição normal apresenta tendência de simetria (Fig. 3.12), o dW fornece uma aproximação muito boa da árvore com o volume médio do povoamento (IMANHA-ENCINAS, 2004). Já o diâmetro médio do sistema alemão (dZ) é muito empregado na Alemanha, na

construção de tabelas de volume e tabelas tarifárias (KRAMER; AKÇA, 1962), pelo fato de se aproximar da mediana das áreas basais (PRODAN, 1965).

A estatística descritiva para os valores de DAP estão demonstrados na Tabela 3.20.

Tabela 3.20 – Estatística descritiva do DAP para *Eucalyptus urophylla*, em reflorestamento com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal

<i>DAP (cm)</i>	
Média	10,76
Erro padrão	0,08
Mediana	10,80
Moda	11,00
Desvio padrão	2,40
Variância da amostra	5,78
Mínimo	4,00
Máximo	19,10
Contagem	1.000

A Tabela 3.21 apresenta os valores encontrados do DAP, d+, d- e dH por linha e volume por árvore.

Tabela 3.21 – Valores do DAP, d+, d- e dH por linha para *Eucalyptus urophylla*, em reflorestamento com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal

Nº da Linha	Árvore nº	DAP	Diâmetro Dasométrico	D <sub>0,3m</sub>	DAP <sub>1,3m</sub>	D <sub>2m</sub>	D <sub>6m</sub>	D <sub>10m</sub>	Volume m <sup>3</sup>	Altura (m)
4	25	10,5	h	14,0	10,5	5,0	5,0	-	0,024	8,0
4	43	13,6	+	15,6	13,6	6,0	5,0	4,0	0,039	10,0
4	45	13,6	+	15,3	13,6	7,0	5,0	3,0	0,040	11,0
4	56	10,7	h	12,0	10,7	6,0	5,0	-	0,024	9,0
4	64	7,8	-	10,8	7,8	5,0	4,0	3,0	0,020	10,0
4	66	10,7	h	16,3	10,7	7,0	5,0	-	0,031	11,0
4	86	10,5	h	13,1	10,5	6,0	5,0	-	0,025	8,0
4	96	10,7	h	11,8	10,7	6,0	4,0	-	0,022	8,0
6	3	8,1	-	12,2	8,1	6,0	4,0	-	0,019	8,0
6	16	13,1	+	15,3	13,1	7,0	5,0	-	0,034	9,0
6	40	10,6	h	15,7	10,6	9,0	6,0	5,0	0,047	11,0
6	45	10,6	h	15,5	10,6	6,0	5,0	4,0	0,034	11,0
6	48	10,6	h	10,6	10,6	4,0	3,0	-	0,016	8,0
8	26	11,1	h	13,5	11,1	6,0	4,0	-	0,025	9,0
8	57	13,5	+	16,5	13,5	7,5	5,0	-	0,037	11,0

<i>...Continuação</i>										
Nº da Linha	Árvore nº	DAP	Diâmetro Dasométrico	D <sub>0,3m</sub>	DAP <sub>1,3m</sub>	D <sub>2m</sub>	D <sub>6m</sub>	D <sub>10m</sub>	Volume m <sup>3</sup>	Altura (m)
8	65	11,1	h	13,8	11,1	5,0	4,0	-	0,023	9,0
8	84	8,7	-	12,1	8,7	4,0	3,0	-	0,015	8,0
8	87	8,7	-	10,3	8,7	5,0	4,0	-	0,016	7,0
10	3	13,0	+	15,2	13,0	7,5	5,0	-	0,035	8,0
10	11	13,0	+	14,4	13,0	6,0	5,0	-	0,030	7,5
10	34	10,7	h	16,0	10,7	6,0	5,0	-	0,028	8,0
10	52	10,7	h	13,3	10,7	6,0	4,0	-	0,024	8,0
10	56	13,0	+	15,9	13,0	7,0	5,0	-	0,034	8,5
10	74	13,0	+	15,2	13,0	6,0	5,0	-	0,031	9,0
10	80	8,4	-	10,4	8,4	5,0	4,0	-	0,016	7,0
10	99	10,7	h	12,3	10,7	6,0	4,0	-	0,023	6,0
12	1	10,5	h	13,3	10,5	5,0	4,0	-	0,021	6,0
12	5	10,5	h	13,5	10,5	7,5	5,0	-	0,029	6,5
12	13	10,5	h	12,4	10,5	6,0	5,0	-	0,024	8,0
12	85	13,2	+	15,5	13,2	9,0	6,0	5,0	0,051	10,0
12	87	13,2	+	14,0	13,2	6,0	4,0	-	0,028	8,0
12	94	8	-	11,0	8,0	5,0	-	-	0,014	5,0
14	1	9	-	10,7	9,0	6,0	4,0	-	0,019	6,0
14	78	11,1	h	12,0	11,1	6,0	5,0	-	0,024	8,0
14	91	13,1	+	15,0	13,1	7,0	6,0	-	0,035	8,0
14	94	9	-	12,0	9,0	5,0	4,0	-	0,018	7,0
16	35	12,4	+	14,1	12,4	7,5	5,0	-	0,032	9,0
16	42	8,1	-	16,6	8,1	7,5	5,0	-	0,030	8,5
16	43	10,3	h	12,0	10,3	6,0	4,0	-	0,022	7,5
16	64	10,3	h	14,0	10,3	7,5	5,0	-	0,029	9,0
16	70	10,3	h	15,0	10,3	5,0	4,0	-	0,023	7,5
16	78	12,4	+	15,0	12,4	7,5	5,0	-	0,033	8,0
16	80	12,6	+	11,0	12,6	5,0	4,0	-	0,022	7,0
16	89	10,3	h	13,0	10,3	4,0	3,0	-	0,018	7,5
16	92	10,3	h	13,5	10,3	6,0	5,0	-	0,025	8,0
18	22	13	+	16,3	13,0	6,0	6,0	-	0,034	8,5
18	24	10,7	h	13,0	10,7	6,0	5,0	-	0,025	9,0
18	31	8,1	-	10,0	8,1	5,0	4,0	-	0,015	8,0
18	38	13	+	16,0	13,0	7,5	5,0	-	0,036	9,0
18	48	8,3	-	16,0	8,3	6,0	5,0	-	0,025	9,0
18	55	8,3	-	15,7	8,3	6,0	5,0	4,0	0,031	11,0
18	80	13	+	15,2	13,0	5,0	3,0	-	0,026	7,0
18	99	8,3	-	11,5	8,3	4,0	3,0	-	0,014	6,0
20	8	11,1	h	13,0	11,1	6,0	4,0	-	0,024	7,0
20	13	11,3	h	12,8	11,3	5,0	2,5	-	0,021	7,0
20	19	9,2	-	15,4	9,2	5,0	3,0	-	0,021	7,0
20	26	13,2	+	15,2	13,2	5,0	3,0	-	0,027	9,0
20	30	13,2	+	16,3	13,2	6,0	5,0	-	0,033	8,5
20	44	11,3	h	14,0	11,3	5,0	4,0	-	0,023	7,0
20	50	9,2	-	11,3	9,2	5,0	3,0	-	0,017	7,0
20	66	11,1	h	14,5	11,1	5,0	4,0	-	0,024	8,0
20	98	11,3	h	13,0	11,3	5,0	5,0	-	0,024	7,0

...Continuação										
Nº da Linha	Árvore nº	DAP	Diâmetro Dasométrico	D <sub>0,3m</sub>	DAP <sub>1,3m</sub>	D <sub>2m</sub>	D <sub>6m</sub>	D <sub>10m</sub>	Volume m <sup>3</sup>	Altura (m)
22	10	11,3	h	14,5	11,3	6,0	5,0	-	0,027	8,0
22	20	9	-	13,5	9,0	5,0	4,0	-	0,020	7,0
22	58	13,7	+	16,0	13,8	7,5	5,0	-	0,037	9,0
22	74	11,3	h	14,8	11,3	6,0	5,0	-	0,028	8,0

Em que: h = dH; + = d+ e - = d-.

O volume médio total, aplicando a equação de Smalian e extrapolando para hectare, foi de 44,08 m<sup>3</sup>/ha. Esse volume considerou a cubagem de sessenta e seis indivíduos identificados com DAP iguais aos valores de d+, d- e dH, encontrados por linha.

A Tabela 3.22 demonstra os valores de volume encontrados em cada linha mensurada.

Tabela 3.22 – Média do Volume por linha de amostragem, para *Eucalyptus urophylla*, em reflorestamento com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal

Linha	Volume m <sup>3</sup> /ha
4	46,65
6	50,18
8	38,68
10	45,96
12	46,56
14	40,29
16	43,46
18	43,13
20	39,31
22	46,59

O desvio padrão encontrado para o volume foi de 3,76 m<sup>3</sup>/ha com um coeficiente de variação de 8,53 %. O erro padrão foi de ± 1,10 m<sup>3</sup>/ha. O erro de amostragem foi de ± 5,62 %, admitindo limite máximo de 10 % e 95 % de confiabilidade. O intervalo de confiança para a média foi de:

$$IC [41,60 \text{ m}^3/\text{ha} \leq \bar{X} \leq 46,59 \text{ m}^3/\text{ha}] = 95 \%$$

O tempo total auferido na realização da metodologia foi de 05 horas, 51 minutos e 34 segundos (Tabela 3.23).

Tabela 3.23 – Tempo auferido na execução da metodologia de linhas de amostragem para *Eucalyptus urophylla*, em reflorestamento com espaçamento de 3x2 m, localizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, Distrito Federal

Linha	DAP	Caminhamento 1	Processamento 1	Cubagem	Caminhamento 2	Processamento 2	Total por linha
4	0:11:23	0:03:30	0:01:30	0:30:00	0:04:40	0:01:00	0:52:03
6	0:10:53	0:04:11	0:01:30	0:11:51	0:03:20	0:01:00	0:32:45
8	0:08:42	0:03:18	0:01:30	0:12:00	0:03:09	0:01:00	0:29:39
10	0:09:00	0:03:58	0:01:30	0:17:02	0:05:20	0:01:00	0:37:50
12	0:09:06	0:03:42	0:01:30	0:10:11	0:04:25	0:01:00	0:29:54
14	0:11:52	0:04:16	0:01:30	0:12:00	0:04:12	0:01:00	0:34:50
16	0:08:46	0:03:12	0:01:30	0:18:54	0:04:23	0:01:00	0:37:45
18	0:09:44	0:04:19	0:01:30	0:14:24	0:03:15	0:01:00	0:34:12
20	0:08:23	0:03:23	0:01:30	0:17:01	0:03:00	0:01:00	0:34:17
22	0:08:52	0:03:56	0:01:30	0:09:34	0:03:27	0:01:00	0:28:19
Total por ação	1:36:41	0:37:45	0:15:00	2:32:57	0:39:11	0:10:00	5:51:34

Em que: Caminhamento 1 = tempo de deslocamento para a próxima linha (retorno) após coleta do DAP; Processamento 1 = tempo de processamento dos dados em campo para indicação das árvores d+, d- e dH; Caminhamento 2 = tempo de deslocamento para a próxima linha (retorno) após cubagem; Processamento 2 = tempo de processamento dos dados em campo para resultado do volume.

### 3.3 -EFICIÊNCIA RELATIVA

A eficiência relativa, aplicando a equação 2.6, apresentou o resultado 0,74, ou seja, o inventário por linhas de amostragem foi mais eficiente se comparado ao inventário convencional.

## 4 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O inventário convencional de área fixa apresentou um volume de 49,70 m<sup>3</sup>/ha e um erro de amostragem relativo de  $\pm 4,82$  %, considerando 95 % de confiabilidade para um erro de amostragem máximo admitido de 10 %. Já o inventário por linhas de amostragem apresentou um volume médio de 44,08 m<sup>3</sup>/ha e um erro de amostragem relativo de  $\pm 5,62$  %, considerando 95 % de confiabilidade para um erro de amostragem máximo admitido de 10 %. A variação do volume, comparando os dois métodos, foi de 12,75 %.

O tempo total para execução do inventário por linhas de amostragem foi de 05 horas, 51 minutos e 34 segundos. Já o tempo total do inventário convencional foi de 08 horas, 49 minutos e 38 segundos. Verifica-se que o inventário por linhas de amostragem foi mais eficiente se comparado ao inventário convencional, apresentando um resultado 33,36 % mais eficiente em relação ao tempo.

O inventário por linhas de amostragem foi capaz de identificar as árvores com diâmetros dasométricos de Hohenadl, Lorey, Hartig, Urich, Weise e diâmetro médio do sistema alemão.

O povoamento estudado apresentou uma distribuição normal segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov, fator necessário para o cálculo dos diâmetros de Hohenadl.

O uso de ferramentas como o *Palmtop* conectado a um laptop, permitiram uma rápida análise de dados e identificação das árvores a serem cubadas em campo para o inventário por linhas de amostragem.

Para pesquisas futuras recomenda-se que a metodologia de inventário por linhas de amostragem seja aplicada em povoamentos florestais comerciais, de diferentes espécies, idades e espaçamentos.

A utilização de novos equipamentos eletrônicos que permitem a transferência de informações *on line*, seja para a realização da cubagem em pé, utilizando o *Criterion RD 1000*, ou para a captura de informações do DAP, utilizando sutas eletrônicas (Haglöf Digitech), contribuiriam para tornar o método de inventário por linhas de amostragem ainda mais eficiente, aumentando a precisão dos valores de volume e reduzindo ainda mais o tempo de coleta.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2010, ano base 2009**. ABRAF. Brasília, 2010. 140p.
- ALTHERR, E. **Vereinfachung des Hohenadl'schen Massenermittlungsverfahrens durch Verwendung dês echten Formquotienten**. Mitteilungen der Wurttembergischen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 10, Heft 2, 1953. 44 p.
- BAENA, E. S. A rentabilidade econômica da cultura do eucalipto e sua contribuição ao agronegócio brasileiro. **Conhecimento Interativo**. São José dos Pinhais, v. 1, n. 1, p. 3-9, jul./dez. 2005.
- BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z.; MARQUESINI, M. Desempenho de modelos de relações hipsométricas: estudo em três tipos de florestas. **Revista do IPEF**, v.1, p.33-44, 1986.
- BITTERLICH, W. **The relascope idea: relative measurements in forestry**. Commonwealth Agricultural Bureaux, England, 1984, 242p.
- BRANDELERO, C.; *et al.*. Tecnologia móvel utilizada no inventário florestal. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 4, p. 727-734, out./dez. 2008.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 470 p.
- COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de *Eucalyptus* no Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, n.60, p.149-163, 1986.
- COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M.; LACERDA, J. S. A amostragem por pontos na estimativa de área basal em povoamentos de *Eucalyptus*. **IPEF**, n. 46, p.86-95, 1993.
- FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM, Centro de Pesquisas Florestais, 1992. 269 p.
- FREITAS, L. J. M.; *et al.* Análise técnica e estimativas de custo de inventários de prospecção em uma floresta estacional semidecidual submontana. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.1, p.65-75, 2005.
- GREGOIRE, T. G.; VALENTINE, H. T. Line intersect sampling: Ell-shaped transects and multiple intersections. **Environmental and Ecological Statistics**. v. 10, p. 263-279. 2003.

- GROSENBAUGH, L. R. **Point-sampling and the line-sampling: probability, theory, geometric implications, synthesis.** USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 1958. (Occasional paper 160).
- HERNANDEZ-FILHO, P.; *et al.* Inventário florestal em áreas tropicais considerando o método de amostragem em múltiplos estágios. In.: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 1993. p.88-101.
- HERNANDEZ, M. **Line sampling for assessment of tree rows and forest stretches in inventories.** Freiburg (Alemanha): University of Freiburg, Department of Forest Biometry, 2001.
- HIGUCHI, N. Amostragem sistemática versus amostragem aleatória em florestas tropical úmida de terra firme na região de Manaus. **Acta Amazônica**, v. 16/17, (nº único), p. 393-400, 1986.
- IMAÑA-ENCINAS, J. Determinação dos diâmetros de Hohenadl. In: CONGRESSO ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL, 9., 2003, Nova Prata. **Anais...** (CD-ROM). Nova Prata: UFSM, 2003. n.p.
- IMAÑA-ENCINAS, J. Identificación simplificada de diâmetros dasométricos. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 3., 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2004. p. 222-225.
- IMAÑA-ENCINAS, J.; *et al.* Cálculo dos diâmetros médios dasométricos em uma floresta de *Eucalyptus urophylla*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, 3., 2004, Manaus. **Anais...** Manaus: INPA e UFAM, 2004a. n.p.
- IMAÑA-ENCINAS, J.; *et al.* Identificação dos diâmetros de Hohenadl em uma floresta de *Eucalyptus urophylla* destinada a produção de lenha. In.: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL, 3., 2004, Manaus. **Anais...**,Manaus: INPA e UFAM, p.271-274, 2004b.
- KAISER, L. Unbiased estimatio in line-intercept sampling. **Biometrics**, n. 39, p. 965-976. 1983.
- KLEINN, C. **Zur Berechnung von Einzelbaumvolumen.** Mitteilungen de Abteilung fur Forstliche Biometrie und der Abteilung fur Luftbildmessung und Fernerkundung der Universitat Freiburg, 1989. 33 p.
- KLEINN, C. **Der Fehler von Flachenschätzungen mit Punkterastern und linien-formigen Stichproben.** Mitteilungen der Abteilung fur Forstliche Biometrie, 1991. 128 p.

- KRAMER, H.; AKÇA, A. **Leifaden für Dendrometrie und Bestandesinventur**. Frankfurt am Main (Alemania): J.D. Sauerländer's Verlag, 1962. 251 p.
- LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 321-328, 2002.
- LOETSCH, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory**. Munchen: BLV Verlagsgesellschaft, v.1, 1964. 436 p.
- LOETSCH, F.; ZOEHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory**. Munchen: BVL, v.2, 1973. 469p.
- LOPES, M. C.; *et al.* Agrupamento de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* em função das variáveis dendrométricas e das características tecnológicas da madeira. **Revista Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 133-144. 2004.
- LÓPEZ-SÁNCHEZ, C. A.; *et al.*. A height-diameter model for *Pinus radiata* D.Don in Galicia (Northwest Spain). **Annals of Forest Science**, n. 60, p.237-245, 2003.
- MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba: A. Figueiredo Filho, 2003. 309 p.
- MACHADO, S. A.; MELLO, J. M.; DALMO, A. B. Comparação entre métodos para avaliação de volume total de madeira por unidade de área, para o Pinheiro do Paraná, na região sul do Brasil. **Revista Cerne**. Lavras, v. 6, n. 2, p.55-66. 2000.
- MOSCOVICH, F. A.; BRENA, D. A.; LONGHI, S. J. Comparação de diferentes métodos de amostragem, de área fixa e variável, em uma floresta de Araucária angustifólia. **Revista Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 173-191. 1999.
- MÜLLER, R. **Grundlagen der Forstwirtschaft**. Hannover (Alemania): Schaper Verlag, 1959. 1.257 p.
- PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. Curitiba: Editorado pelos autores, 1997. 316 p.
- PRODAN, M. **Holzmesslehre**. Frankfurt am Main: Sauerlander's Verlag, 1965. 644 p.
- SALAS E, CHRISTIAN; REYES, MAURICIO; BASSABER E, CLAUDIA. Medición de diámetros fustales con relascopio y forcípula finlandesa: efectos en la estimación de volumen. **Bosque** (Valdivia) , Valdivia, v. 26, n. 2, 2005 .
- SANQUETA, C.R.; *et al.* **Inventários florestais: planejamento e execução**. 2. ed. – Curitiba: Multi-Graphic Gráfica e Editora, 2009. 316p.

- SANTANA, O.A.; CUNIAT, G.; IMAÑA-ENCINAS, J. Contribuição da vegetação rasteira na evapotranspiração total em diferentes ecossistemas do bioma cerrado, Distrito Federal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 269-281, abr.-jun., 2010.
- SBS. SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. Brasil: nação mais competitiva do mundo em florestas plantadas. In: **Anuário Brasileiro da Silvicultura**. Gazeta, São Paulo, 2005.
- SCOLFORO, J. R. S. **Mensuração florestal 3**: relações quantitativas: em volume, peso e a relação hipsométrica. Lavras: DCF-ESAL, 1993. 291p.
- SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. de. **Inventário Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 561p.
- SILVA, G. F. de.; *et al.* A. Análise da influência de diferentes tamanhos e composição de amostras no ajuste de uma relação hipsométrica para *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 685-694, 2007.
- SOARES, C. P. B.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: UFV, 2006. 276 p.
- SOKAL, R. R.; ROHLF, J. F. **Biometry**: The principles and practice of statistics in biological research. 3. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 1997. 850p.
- SPURR, S. H. **Forest inventory**. New York: John Wiley e Sons, 1952, 479p.
- ZANON, M. L. B.; STOCK, L. Tamanho ótimo de parcelas experimentais para *Eucalyptus saligna* Smith em dois estágios de desenvolvimento. **Revista Cerne**. Lavras, v. 6, n. 2, p.104-111. 2000.

## APÊNDICE

A – TABELA EXEMPLIFICATIVA COM RELAÇÃO DE 240 DIÂMETROS À ALTURA DO PEITO (DAP) EM CM, PARA REFLORESTAMENTO LOCALIZADO NA REGIÃO DO DISTRITO FEDERAL (IMAÑA-ENCINAS, 2004).

N°	DAP		N°	DAP		N°	DAP		N°	DAP		N°	DAP
01	10,1		41	19,0		81	23,5		121	27,5	$d_U$	161	31,2
02	10,9		42	19,0		82	23,5		122	27,6		162	31,2
03	11,7		43	19,0		83	23,5		123	27,7		163	31,4
04	12,5		44	19,0		84	24,0		124	27,9		164	31,5
05	12,7		45	19,0		85	24,0		125	28,0		165	31,5
06	12,9		46	19,1		86	24,2		126	28,0		166	31,6
07	13,3		47	19,2		87	24,3		127	28,0		167	31,6
08	13,4		48	19,4		88	24,4		128	28,1		168	31,8
09	13,5		49	19,5		89	24,5		129	28,2		169	32,0
10	13,7		50	19,8		90	24,5		130	28,3		170	32,0
11	13,8		51	19,9		91	24,7		131	28,3		171	32,0
12	13,8		52	20,0		92	24,8		132	28,5		172	32,2
13	14,5		53	20,0		93	25,0		133	28,5		173	32,4
14	14,5		54	20,0		94	25,0		134	28,5		174	32,5
15	14,6		55	20,2		95	25,0		135	28,8		175	32,5
16	14,8		56	20,5		96	25,1		136	29,0		176	32,7
17	15,0		57	20,6		97	25,2		137	29,0		177	33,0
18	15,0		58	21,0		98	25,2		138	29,0		178	33,0
19	15,3		59	21,0		99	25,2		139	29,1		179	33,0
20	15,5		60	21,1		100	25,5		140	29,2		180	33,0
21	16,3		61	21,2		101	25,5	$d_H$	141	29,4		181	33,3
22	16,4		62	21,4		102	25,6		142	29,5		182	33,4
23	16,5		63	21,5		103	25,8		143	29,8	$d_L$	183	33,5
24	16,5		64	21,5		104	26,0		144	30,0	$d_W$	184	33,5
25	16,8		65	21,7		105	26,0		145	30,0		185	33,6
26	16,8		66	21,7		106	26,1		146	30,0		186	33,6
27	17,0		67	21,8		07	26,2		147	30,0		187	34,0
28	17,1		68	22,0		08	26,3		148	30,1		188	34,1
29	17,3		69	22,1		09	26,4		149	30,3		189	34,5
30	17,4	$d_-$	70	22,2		110	26,5		150	30,3		190	34,5
31	17,8		71	22,5		111	26,6		151	30,5		191	34,7
32	18,0		72	22,7		112	26,7		152	30,5		192	35,0
33	18,0		73	22,7		113	26,7		153	30,5		193	35,0
34	18,0		74	22,8		14	26,7		154	30,6		194	35,0
35	18,0		75	22,9		115	26,8		155	30,9		195	35,0
36	18,0		76	23,0		116	26,8		156	31,0		196	35,0
37	18,5		77	23,0		117	27,0		157	31,0		197	35,3
38	18,8		78	23,3		118	27,0		158	31,0		198	35,4
39	18,8		79	23,3		119	27,1		159	31,0		199	35,5
40	18,9		80	23,4		120	27,5		160	31,0		200	35,5
												201	35,5
												202	35,7
												203	35,9
												204	36,0
												205	36,0
												206	36,0
												207	36,0
												208	36,0
												209	36,4
												210	36,4
												211	36,5
												212	36,8
												213	37,1
												214	37,2
												215	37,5
												216	38,5
												217	38,5
												218	38,6
												219	38,7
												220	38,9
												221	39,0
												222	39,3
												223	39,4
												224	39,5
												225	39,6
												226	39,8
												227	40,0
												228	40,3
												229	40,9
												230	41,0
												231	41,3
												232	42,6
												233	43,0
												234	43,0
												235	43,5
												236	44,3
												237	45,5
												238	46,0
												239	47,1
												240	48,7

Fonte: Imaña-Encinas (2004), modificado.

Em que: N° = número da árvore;  $d_-$  = diâmetro de Hohenadl menos um desvio;  $d_+$  = diâmetro de Hohenadl mais um desvio;  $d_H$  = diâmetro médio de Hohenadl;  $d_U$  = diâmetro de Urich;  $d_L$  = diâmetro de Lorey;  $d_W$  = diâmetro de Weise;  $d_{Ha}$  = diâmetro de Hartig;  $d_Z$  = diâmetro da árvore central do sistema alemão.