Eduardo Pagel Floriano

INVENTÁRIO FLORESTAL

Rio Largo, Alagoas, Brasil

2021

EDUARDO PAGEL FLORIANO

Inventário Florestal

1ª edição

Rio Largo, AL, Brasil
Edição do Autor
2021

Eduardo Pagel Floriano (1957) é Engenheiro Florestal (1980), especialista em gestão de pessoas, gestão ambiental e em novas tecnologias da educação, Mestre (2004) e Doutor (2008) em Engenharia Florestal (área de concentração em manejo florestal) pela Universidade Federal de Santa Maria. Atuou em empresas privadas na supervisão, coordenação e gerência florestal (1980 a 2003) e como consultor em inventário florestal, economia e planejamento florestal (1994, hoje). Atualmente é coordenador do Curso de Engenharia Florestal do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas e ministra as disciplinas de dendrometria, inventário, manejo e pesquisa operacional florestal.

Catalogação na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

F635i Floriano, Eduardo Pagel
Inventário florestal / Eduardo Pagel Floriano. – Rio Largo: Edição do autor, 2021.
x, 135 f.; il.

Inclui bibliografia e apêndice
ISBN 978-65-00-21723-0

1. Planejamento florestal. 2. Estatística. 3. Amostragem. I. Título.

CDU: 630*6.519.2

SUMÁRIO

FIGURAS VII

TABELAS IX

APRESENTAÇÃO X

1 INTRODUÇÃO 1

1.1 Importância dos inventários florestais 1

1.2 Tipos de inventários florestais 2

1.2.1 Classificação quanto ao objeto do inventário 2

1.2.2 Ambiente do local do inventário e circunvizinhanças 2

1.2.3 Nível de Detalhamento e Precisão requerida 3

1.2.4 Abordagem no tempo 4

1.3 Inventário piloto 4

1.4 Método, Sistema e Processo de Amostragem 6

2 TEORIA DA AMOSTRAGEM 8

2.1 Variáveis 8

2.2 Atributos obtidos nos inventários florestais: 9

2.3 Principais estatísticas amostrais 10

2.4 Populações finitas e infinitas 10

2.5 Unidade amostral 11

2.6 Tipos e demarcação de unidades amostrais 12

2.6.1 Medições e estimativas nas unidades amostrais 12

2.6.2 Demarcação de UA quadrada ou retangular 13

2.6.3 Demarcação de unidade amostral circular 14

2.6.4 Demarcação de unidade amostral de Bitterlich 15

2.6.5 Demarcação de unidade amostral de quadrantes 16

2.6.6 Demarcação de unidade amostral das 6 árvores de Prodan 17

2.7 Árvores limítrofes das unidades amostrais 18

2.8 Tipos de Levantamentos quanto à percentagem de árvores medidas da população 18

2.9 Precisão requerida e Erro amostral 19

2.10 Precisão e Acuracidade 19

2.11 Erros de medição 20

2.12 Limite de erro amostral em função do objetivo 20

2.13 Erro em função de redução do lucro 21

2.14 Intensidade Amostral 21

2.14.1 Intensidade Amostral em função da média ($\bar{Y}$), variância (S^2) e limite de erro (E%) 22

2.14.2 Intensidade Amostral em função dos custos e recursos disponíveis 22

3 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM 23

3.1 Método de unidades amostrais de área fixa 23

3.1.1 Descrição do método de área fixa *23*
3.1.2 Vantagens do método de área fixa *25*
3.1.3 Unidades amostrais quadradas ou retangulares *25*
3.1.4 Unidades amostrais circulares *26*
3.2 MÉTODOS DE UNIDADES AMOSTRAIS DE ÁREA VARIÁVEL 28
3.2.1 Método da Árvore Mais Próxima *28*
3.2.2 Método de Bitterlich *31*
3.2.3 Método das 6 árvores de Prodan *39*
3.2.4 Método de quadrantes *41*
3.2.5 Método de Strand *43*
3.2.6 Método do vizinho mais próximo *46*
3.2.7 Métodos de Transectos *48*
4 SISTEMAS DE AMOSTRAGEM 51
4.1 PROBABILIDADE (P) E LIMITE DE ERRO AMOSTRAL (E) 52
4.2 ESTATÍSTICAS DA AMOSTRAGEM SEM RESTRIÇÕES 52
4.2.1 Intensidade amostral *52*
4.2.2 Média *53*
4.2.3 Variância *53*
4.2.4 Suficiência amostral (n) *54*
4.2.5 Coeficiente de variação *54*
4.2.6 Variância da média *54*
4.2.7 Erro padrão da média *55*
4.2.8 Erro amostral *55*
4.2.9 Intervalo de confiança *56*
4.2.10 Estimativa mínima de confiança *56*
4.3 AMOSTRAGEM COM RESTRIÇÕES 56
4.3.1 Amostragem com uma restrição *57*
4.3.2 Amostragem com duas restrições *62*
5 PROCESSOS DE AMOSTRAGEM 68
5.1 AMOSTRAGEM ALEATÓRIA SIMPLES (AAS) 68
5.1.1 Exemplo de Amostragem Aleatória Simples *70*
5.2 AMOSTRAGEM ALEATÓRIA ESTRATIFICADA (AAE) 76
5.2.1 Exemplo de Amostragem Aleatória Estratificada *76*
5.3 AMOSTRAGEM SISTEMÁTICA (AS) 81
5.3.1 Amostragem sistemática com um só início aleatório *81*
5.3.2 Amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios *84*
5.4 AMOSTRAGEM EM CONGLOMERADOS (AC) 85
5.4.1 Análise da variância da amostragem em conglomerados *87*
5.4.2 Coeficiente de correlação intraconglomerados (r) *87*
5.4.3 Exemplo de amostragem em conglomerados *88*
5.5 AMOSTRAGEM EM MÚLTIPLOS ESTÁGIOS (AME) 93
5.5.1 Estatísticas da amostragem em múltiplos estágios *93*
6 MONITORAMENTO DAS FLORESTAS 96

6.1 Mudanças na forma e perfil do tronco 97
6.2 Periodicidade dos IFC.. 97
6.3 Características dos IFCs 97
6.4 Incrementos 98
6.5 Rotação Técnica (RT) 99
6.6 Processos de amostragem nos IFCs 100
6.6.1 Amostragem com repetição total 101
6.6.2 Amostragens independentes 102
6.6.3 Amostragem com Repetição Parcial 103
7 PLANEJAMENTO DE INVENTÁRIOS FLORESTAIS 106
7.1 Caracterização dos Inventários Florestais 106
7.1.1 Objeto do Inventário 106
7.1.2 Objetivos do Inventário 107
7.1.3 Precisão requerida 107
7.1.4 Abordagem no tempo 109
7.2 Inventário Piloto 110
7.3 Plano do inventário 110
7.4 Treinamento da equipe 111
7.5 Execução do levantamento 111
7.5.1 Fases da execução de inventário florestal madeireiro 111
7.5.2 Ferramentas, equipamentos e materiais utilizados 112
7.5.3 Equipe de inventário 113
7.6 Processar dados 113
7.7 Analisar resultados 114
7.8 Elaborar relatório 114
7.9 Apresentar e divulgar resultados 115
8 RELATÓRIO DE INVENTÁRIO FLORESTAL 116
8.1 Componentes de um relatório de inventário florestal 116
8.2 Exemplo de relatório de inventário florestal 117
8.2.1 Capa 117
8.2.2 Folha de rosto 117
8.2.3 Folha de apresentação 117
8.2.4 Resumo executivo 118
8.2.5 Sumário 119
8.2.6 Corpo do relatório 119
8.2.7 Anexos e apêndices 119
9 REFERÊNCIAS 120
10 APÊNDICE A 121

FIGURAS

FIGURA 1 - Inventário Florestal pelo método de amostragem em linhas, sistema de distribuição das parcelas sistemático com restrições e processo de amostragem em linhas com múltiplos inícios aleatórios. 7
FIGURA 2 – Comportamento do erro amostral em relação ao tamanho da unidade amostral e número de unidades amostrais. 11
FIGURA 3 – Demarcação de UA quadrada ou retangular. 13
FIGURA 4 – Medição da área real de unidade amostral quadrada ou retangular. 14
FIGURA 5 – Demarcação de UA circular. 15
FIGURA 6 – Unidade amostral de Bitterlich. 16
FIGURA 7 – Unidade amostral de quadrantes. 17
FIGURA 8 – Unidade amostral das 6 árvores de Prodan 17
FIGURA 9 - Marcação e correção da área de unidades amostrais retangulares ou quadradas 27
FIGURA 10 – Parcela circular. 27
FIGURA 11 – Instalação de unidade amostral pelo método da árvore mais próxima. 29
FIGURA 12 – Distribuição sistemática de 70 pontos amostrais sobre a área da floresta para seleção de árvores para cubagem rigorosa. 31
FIGURA 13 – Barra de Bitterlich para amostragem de contagem angular. 32
FIGURA 14 – Variáveis para desenvolvimento do método de Bitterlich: α = ângulo para contagem angular; a = largura da objetiva da barra de Bitterlich correspondente ao ângulo α; L = distância da ocular até a objetiva da barra; O = ocular; d = diâmetro da árvore a 1,3 m de altura; R = distância da ocular da barra até o centro do tronco da árvore considerada. 33
FIGURA 15 – Spiegel-Relascópio. 34
FIGURA 16 – Dendrômetro Criterion. 35
FIGURA 17 – Amostragem de Bitterlich. 37
FIGURA 18 – Determinação da superfície da unidade amostral de quadrantes por cálculo topográfico pelo método de Gauss. 42
FIGURA 19 – Método do vizinho mais próximo. 46
FIGURA 20 – Transectos lineares. 49
FIGURA 21 – Transectos em faixas. 50
FIGURA 22 – Área florestal a inventariar. 57
FIGURA 23 – Representação das 9 unidades de 1º nível, onde j é o número de ordem da unidade na amostragem. 58
FIGURA 24 – Área florestal a inventariar. 62
FIGURA 25 – Representação das 9 unidades de 1º nível, onde k é número de ordem da unidade na amostragem. 63
FIGURA 26 – Representação das unidades de 2º nível (j=1 a 16), da unidade de 1º nível de ordem k=7 63
FIGURA 27 – Divisão da área florestal em parcelas N potenciais para a aleatorização das unidades amostrais 69
FIGURA 28 - Aleatorização das unidades amostrais pelo método da linha base. 70
FIGURA 29 Amostragem sistemática com um só início aleatório 82
FIGURA 30 – Amostragem sistemática em linhas com equidistância de 200m entre as linhas. 83

FIGURA 31 – Amostragem sistemática em linhas com múltiplos inícios aleatórios. 85
FIGURA 32 - Exemplos de conglomerados utilizados em inventários florestais...................... 85
FIGURA 33 – Conglomerado de 9 ha, em cruz grega, com uma restrição.............................. 88
FIGURA 34 – Amostragem em múltiplos estágios com duas restrições (divisão da área em UAs de 1º, 2º e 3º estágios). 94
FIGURA 35 – Características da curva de crescimento florestal.. 98
FIGURA 36 – ICA, IMA e Idade de Rotação Técnica de um povoamento florestal. 100
FIGURA 37 – Exemplo de capa (a), folha de rosto (b), página de apresentação (c) e sumário (d) de um relatório de inventário florestal. 118

TABELAS

TABELA 1 – Comparação entre parcelas quadradas e circulares. 28
TABELA 2 - Exemplos de árvores de uma unidade amostral que devem ser ou não contadas em função da banda (fator de numeração), da distância até o centro da unidade amostral e do diâmetro (d) da árvore 36
TABELA 3 - Análise da variância da amostragem com uma restrição 60
TABELA 4 - Análise da variância da amostragem com duas restrições 65
TABELA 5 – Volume por parcela, média e variância do inventário piloto 71
TABELA 6 – Determinação do número de unidades amostrais (n) suficiente para representar a população com 95% de probabilidade de confiança para a média. 72
TABELA 7 – Volume médio por parcela no inventário definitivo 72
TABELA 8 - Resultados do inventário piloto com determinação de médias e variâncias 77
TABELA 9 – Determinação da suficiência amostral para o inventário definitivo 78
TABELA 10 – Resultados do inventário definitivo da amostragem estratificada 79
TABELA 11 - Análise da variância da amostragem estratificada 80
TABELA 12 - Análise da variância da amostragem em conglomerados com uma restrição 87
TABELA 13 – Resultados da amostragem piloto em conglomerados 89
TABELA 14 – Determinação do número de conglomerados necessário 90
TABELA 15 - Análise da variância da amostragem em conglomerados 91
TABELA 16 – Resultados de médias e variâncias do inventário definitivo em conglomerados 92
TABELA 17 - Análise da variância com duas restrições (3 estágios ou níveis) 95
TABELA 18 – Crescimento, incrementos e idade de rotação técnica de uma floresta 100
TABELA 19 – Resultados da amostragem em duas ocasiões e incrementos ocorridos 101
TABELA 20 – Estatísticas das duas ocasiões e dos incrementos ocorridos 102

APRESENTAÇÃO

Este compêndio foi motivado por solicitação dos alunos de Engenharia Florestal do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas.

Pretende ser um texto didático, portanto. E, além do texto em si, fazem parte da obra as planilhas de cálculo eletrônico com os exemplos apresentados no decorrer dos capítulos.

A estrutura do texto foi realizada com base em experiência própria e procurou-se corrigir as fórmulas de cálculo com a obra "COCHRAN, W. G. Técnicas de Amostragem. Rio de Janeiro: USAID / Fundo de Cultura, 1965. 555p. Tradução de Fernando A. Moreira Barbosa: "COCHRAN, W. G. Sampling techniques, 2ed. John Wiley & Sons, 1953.".

Entretanto, a metodologia e o passo a passo para determinar as estatísticas amostrais são apresentadas com base na experiência que se acumulou durante o exercício da profissão.

Espero que este trabalho seja útil aos nossos alunos e profissionais que trabalham com inventários florestais.

Maceió, 20 de abril de 2021.

Eduardo Pagel Floriano

1 INTRODUÇÃO

A disciplina de Inventário Florestal nos cursos de Engenharia Florestal tem como objetivo ensinar os discentes a analisar as populações florestais nos aspectos quantitativos, qualitativos e dinâmicos, tomando como base técnicas dendrométricas e princípios estatísticos, a fim de realizar inventários florestais com ênfase na administração e manejo florestal.

Inventário Florestal pode ser conceituado como a avaliação quantitativa e algumas vezes qualitativa dos recursos florestais de uma determinada área com cobertura florestal.

As tecnologias utilizadas em inventários florestais têm evoluído desde o Século XVIII, quando se faziam avaliações visuais das florestas, resumidamente, na seguinte sequência:

- Século 18 - Na Europa a quantificação era realizada visualmente e as áreas florestais eram divididas em unidades menores para facilitar as estimativas;
- Século 19 - passou-se a usar técnicas dendrométricas e estatísticas de amostragem e relações entre d, h e v para realizar estimativas;
- Século 20 - a partir da década de 1960 os inventários contínuos passaram a ser mais frequentes e informatizados;
- Século 21 – O uso de imagens, drones com rastreador laser e inteligência artificial estão permitindo o início do desenvolvimento de tecnologias para realização de inventários remotos.

1.1 IMPORTÂNCIA DOS INVENTÁRIOS FLORESTAIS

Os principais itens de importância dos inventários florestais são relacionados a seguir:

- Prover informações sobre estoques e tendências para a formação de políticas públicas de conservação e abastecimento de produtos florestais;
- Monitoramento da evolução das florestas cultivadas e seus estoques de madeira ao longo do tempo;
- Fornecer informações para o planejamento da produção de produtos florestais;
- Monitoramento da evolução de florestas de proteção e conservação para o planejamento de ações sobre sua manutenção;

- Monitoramento da arborização e florestas urbanas com objetivo de fornecer informações para o seu planejamento.

1.2 Tipos de inventários florestais

Os inventários florestais podem ser classificados quanto:

- À abrangência espacial: nacional, estadual, regional, local;
- Ao nível administrativo ou de planejamento: estratégico, tático, operacional;
- À forma de levantamento: censo (100%) ou amostragem (<100%);
- À abordagem no tempo: temporário ou contínuo;
- Ao objetivo: madeira, biomassa, crescimento, competição, manejo, fitossociologia, ecologia, arborização.
- Ao nível de detalhamento: detalhado, reconhecimento, exploratório.

1.2.1 Classificação quanto ao objeto do inventário

Os inventários florestais podem ser de:

- Floresta natural manejada para produção de bens florestais;
- Floresta natural de proteção ou conservação;
- Floresta plantada para restauração;
- Floresta plantada de produção;
- Floresta urbana;
- Arborização urbana.

1.2.2 Ambiente do local do inventário e circunvizinhanças

É importante caracterizar o ambiente e as circunvizinhanças de áreas florestais que deverão ser objeto de inventário florestal com a finalidade de facilitar o planejamento e servir de referência para a execução do mesmo, incluindo:

- Mapeamento: áreas florestais, área a ser inventariada e tipo de floresta, áreas de reserva e preservação, corpos de água, vias de acesso e infraestrutura, etc;
- Solos;
- Clima;

- Tipo de ambiente: rural; urbano.
- Unidades de conservação;
- Localidades mais próximas e população;
- Recursos e locais de apoio: farmácias, mercados, restaurantes, hospitais e postos de saúde, hospedagem, postos policiais, oficinas mecânicas, etc.

1.2.3 Nível de Detalhamento e Precisão requerida

O nível de detalhamento de um inventário florestal está diretamente relacionado ao seu objetivo e à criticidade da floresta envolvida.

- O nível de detalhamento depende:
  - Do objetivo e recursos financeiros;
  - Da criticidade para definir a precisão:
  - Da legislação e exigências dos órgãos de licenciamento;
  - Dos riscos decorrentes dos erros;
- Precisão requerida pode ser:
  - = 100%: censo;
  - < 100%: amostra;
- O detalhamento do inventário caracteriza-se pela intensidade amostral que depende do limite máximo de erro amostral admitido em relação à média;
- Para determinar a intensidade amostral é necessário:
  - Estabelecer o limite de erro em relação à média (E%):

    E% = percentagem de erro admitido x média
  - Determinar a média e variância por meio de um inventário piloto.

Inventário piloto, ou preliminar, é a amostragem de um pequeno número de unidades amostrais para se determinar a média e variância preliminares para a população, que irão permitir determinar a quantidade total de unidades amostrais necessárias para o limite máximo de erro em relação à média (E%) estabelecido.

1.2.4 Abordagem no tempo

Os inventários podem ser realizados em uma única ocasião para estabelecer a situação atual da floresta e seus estoques, ou em múltiplas ocasiões para acompanhar seu crescimento e evolução, sendo ditos temporários e contínuos, respectivamente. A abordagem no tempo pode ser como segue:

- Inventários Florestais Temporários
  - Unidades amostrais temporárias;
  - Situação atual;
  - Única ocasião;
  - Esporádico;
  - Planejamento de curto prazo.
- Inventários Florestais Contínuos
  - Unidades amostrais (UA) permanentes;
  - Múltiplas ocasiões correlacionadas;
  - Crescimento;
  - Evolução;
  - Planejamento de médio e longo prazos.

1.3 INVENTÁRIO PILOTO

Usualmente, inicia-se um inventário florestal realizando uma amostragem de poucas parcelas, idênticas às parcelas do inventário definitivo, para possibilitar a determinação de quantas unidades amostrais serão necessárias no inventário definitivo. O número de unidades amostrais do inventário piloto deve ser tal que permita se conhecer uma aproximação da média e variância da população. Quanto mais heterogênea a população, tanto mais unidades devem compor a amostragem piloto.

O inventário piloto tem como objetivos:

- determinar a média e variância preliminares;
- testar a metodologia escolhida;
- determinar o tempo necessário de deslocamento, marcação e medição das unidades amostrais;
- definir equipamentos e materiais necessários;

- treinar a equipe de inventário;
- determinar o número de unidades amostrais necessário no inventário definitivo.

A metodologia a ser utilizada no inventário piloto deve ser a mesma metodologia planejada para o inventário definitivo.

No inventário piloto deve-se realizar a medição do tempo de deslocamento, demarcação e levantamento de dados das árvores das parcelas amostrais.

Após o inventário piloto e com os dados obtidos, realiza-se o planejamento do inventário definitivo.

O número de unidades amostrais a ser utilizado no inventário piloto deve ser sempre superior a 5 unidades e deve ser tanto maior quanto maior e mais heterogênea for a população. O número de parcelas amostrais (n) no inventário piloto, para cada estrato ou unidade de manejo, ou talhão do povoamento florestal, pode ser indicado pela equação:

$$n = a + b\,A^{c}$$

Onde: n = número de unidades amostrais recomendadas para o inventário piloto; a, b, c = coeficientes da equação que podem variar com a homogeneidade da floresta; A = área do povoamento florestal considerado (estrato, ou unidade de manejo, ou talhão do povoamento florestal).

Para populações com homogeneidade média a alta, os coeficientes da equação podem ser a = 3,075, b = 0,681 e c = 0,644, sendo que a equação fica como segue:

$$n = 3{,}075 + 0{,}681\,A^{0{,}644}$$

Se a população for heterogênea, o coeficiente b pode ser aumentado para 1 e a equação fica reduzida para:

$$n = 3{,}075 + A^{0{,}644}$$

Se a população for muito homogênea, o coeficiente “b” pode ser reduzido para 0,4, o coeficiente “a” aumentado para 4 e a equação fica como segue:

$$n = 4 + 0{,}4\,A^{0{,}644}$$

1.4 MÉTODO, SISTEMA E PROCESSO DE AMOSTRAGEM

Um inventário florestal é caracterizado pelo método, sistema e processo de amostragem utilizados, que irão depender da tipologia florestal, dimensões da floresta e facilidade de acesso, principalmente, conforme segue:

- Método de amostragem:
  - Unidades amostrais de área fixa: quadradas, retangulares, circulares;
  - Unidades de área variável: amostragem de Bitterlich, de Strand, quadrantes, árvore mais próxima, etc;
- Sistema de amostragem:
  - Aleatória (com ou sem restrições) → ênfase na variância
  - Sistemática (com ou sem restrições) → ênfase na média
- Os principais processos de amostragem:
  - AAS – Amostragem Aleatória Simples;
  - AAE – Amostragem Aleatória Estratificada;
  - AS – Amostragem sistemática;
    - Métodos
      - Em linhas – as parcelas nas linhas são afastadas umas das outras;
      - Em faixas – as parcelas nas linhas não têm espaços entre elas;
      - Em redes – as parcelas são locadas no cruzamento de linhas horizontais e verticais equidistantes;
    - Sistemas
      - AS - Com um só início aleatório
      - AS – Com múltiplos inícios aleatórios (Figura 1);
  - AC – Amostragem em Conglomerados;
  - AME – Amostragem em Múltiplos Estágios.

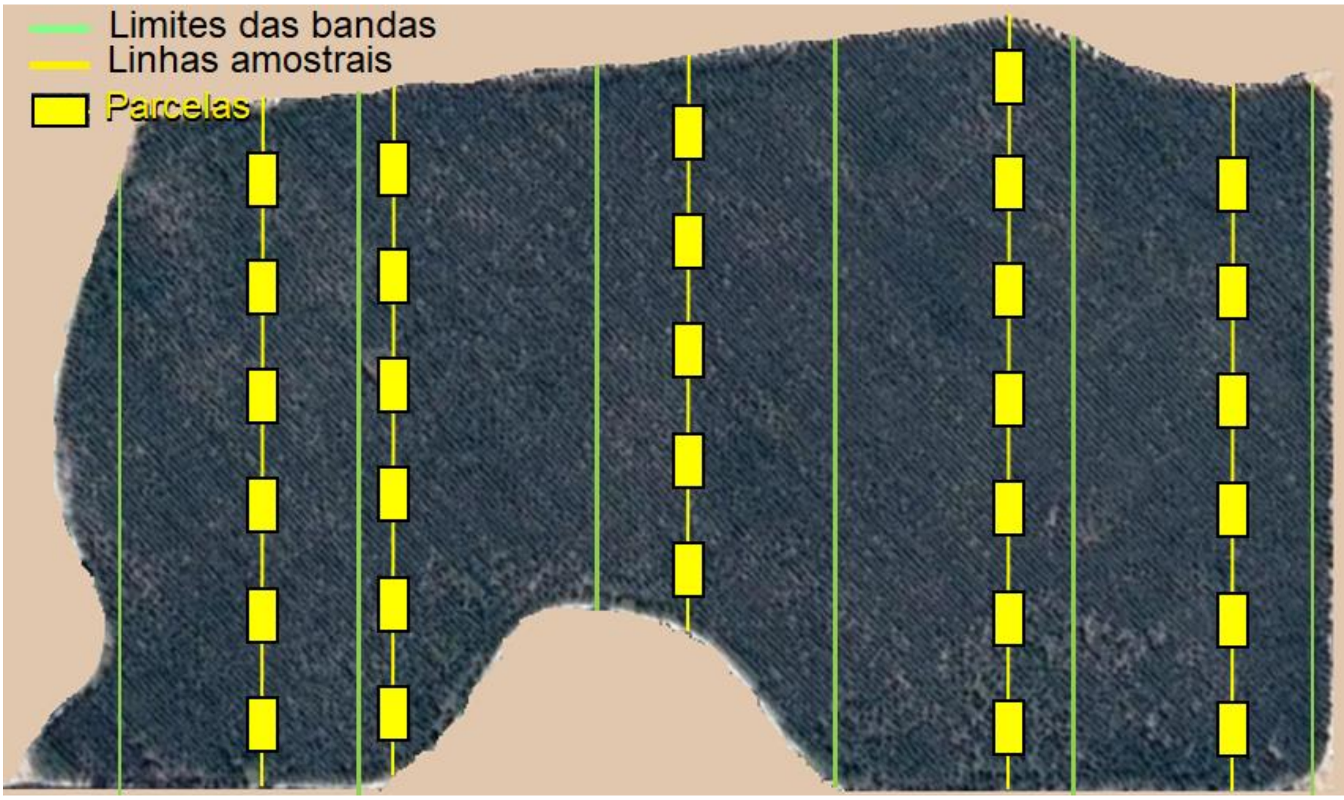


FIGURA 1 - Inventário Florestal pelo método de amostragem em linhas, sistema de distribuição das parcelas sistemático com restrições e processo de amostragem em linhas com múltiplos inícios aleatórios.

2 Teoria da amostragem

Para se conhecer uma população ou comunidade florestal necessitamos de dados sobre ela. A precisão dos dados sobre os atributos e variáveis levantados dependem principalmente dos objetivos da floresta, tipologia florestal, dimensões e facilidade de acesso à área florestal objeto do inventário. Quanto mais crítico o objetivo da floresta, maior a precisão requerida na coleta dos dados.

As florestas possuem milhares ou até milhões de indivíduos, sendo muito caro medir todos e geralmente se recorre à amostragem. Amostragem é a avaliação de uma população ou comunidade a partir de uma fração da mesma.

As principais características dos inventários e das florestas que devem ser estabelecidas são:

- As variáveis e atributos amostrais;
- Estatísticas amostrais;
- Intensidade amostral;
- Tipo de unidades e métodos amostrais;
- Sistemas e processos de amostragem.

2.1 Variáveis

Variáveis são as características dos indivíduos da população que podem ser medidas, ou que podem ser parametrizadas.

Exemplos:

- Variável medida: diâmetro das árvores a 1,3 m de altura;
- Variável parametrizada: espaço médio entre árvores (EM) calculada por:

$$EM = \sqrt{(10000m^2 / N)}$$

Onde: EM = espaço médio entre árvores em metros; N = número de árvores por hectare.

As principais variáveis dendrométricas e atributos das árvores obtidos nos inventários florestais são:

- Espécie(s) de árvores, diâmetro (d) , espessura de casca (e), altura (h), área basal (g), fator de forma (f), volume (v), volume sem casca (vs);
- Diâmetro da copa (DC), altura da base da copa (hbc), superfície de projeção da copa (SPC);
- Altura do fuste (hf), volume comercial (vc),
- Qualidade do fuste (QF);
- Sortimentos de madeira.

Variáveis Populacionais obtidas nos inventários florestais madeireiros são:

- Localização (coordenadas) e área;
- idade (t);
- diâmetro médio ($\bar{d}$), área basal média ($\bar{g}$), altura média ($\bar{h}$);
- número de árvores por hectare (N), área basal por hectare (G), volume por hectare (V), volume sem casca por hectare (Vs).

2.2 Atributos obtidos nos inventários florestais:

São as características qualitativas dos indivíduos da população ou comunidade estudada. São enumerados no levantamento, ou seja, são contados, pois não são mensuráveis.

Exemplos de atributos:

- número de indivíduos atacados por doenças na população;
- Número de árvores por hectare (N);
- Qualidade ou aproveitamento do fuste (exemplo):
  - 1 - até 25%;
  - 2 - de 26 a 50%;
  - 3 - de 51 a 75%;
  - 4 - de 75 a 100%;
- Condições das árvores (exemplo):
  - normal - 0 ou N;
  - morta - 1 ou M;
  - bifurcada - 2 ou B;
  - doente/atacada - 3, ou D;

- quebrada - 4 ou Q;
- inclinada - 5 ou I;
- outros - 6 ou X.

2.3 Principais estatísticas amostrais

As principais estatísticas amostrais determinadas nos inventários florestais são relacionadas a seguir:

- Média ($\bar{X}$);
- Mediana (Med);
- Moda (Mo);
- Mínimo e Máximo (Mín e Máx) e amplitude;
- Variância (S^2);
- Desvio padrão (S);
- Coeficiente de Variação (CV);
- Variância da média ($S_{\bar{X}}^2$);
- Erro Padrão da Média ($S_{\bar{X}}$);
- Limite de Erro Amostral (E%);
- Erro amostral absoluto (Ea);
- Erro amostral relativo (Er);
- Intervalo de Confiança (IC);
- Limite Inferior da média (LI);
- Limite Superior da média (LS);
- Estimativa mínima de confiança (EMC).

2.4 Populações finitas e infinitas

O tamanho da amostra em relação ao tamanho da população define se nossa população é finita ou infinita. Uma população é considerada infinita se a amostra for menor do que 2% da população.

Exemplo: se o conjunto de todas as unidades amostrais somam 3 hectares e a população tem 100 hectares, a intensidade amostral é de 3%, portanto é >2% e a população é considerada finita; as fórmulas para cálculos estatísticos precisam receber um fator de correção (FC) para as populações finitas de forma a eliminar a tendenciosidade na amostragem.

2.5 Unidade amostral

Unidade amostral é uma pequena parcela da população onde são realizadas as medições das variáveis e atributos dos indivíduos e da população, com tamanho suficiente para conter a variabilidade dos indivíduos do local. As unidades amostrais devem ser em número suficiente para abranger a variação populacional e permitir realizar estimativas dos parâmetros populacionais dentro da precisão requerida para a amostragem. O erro amostral varia conforme o tamanho e número de unidades amostrais como na Figura 2.

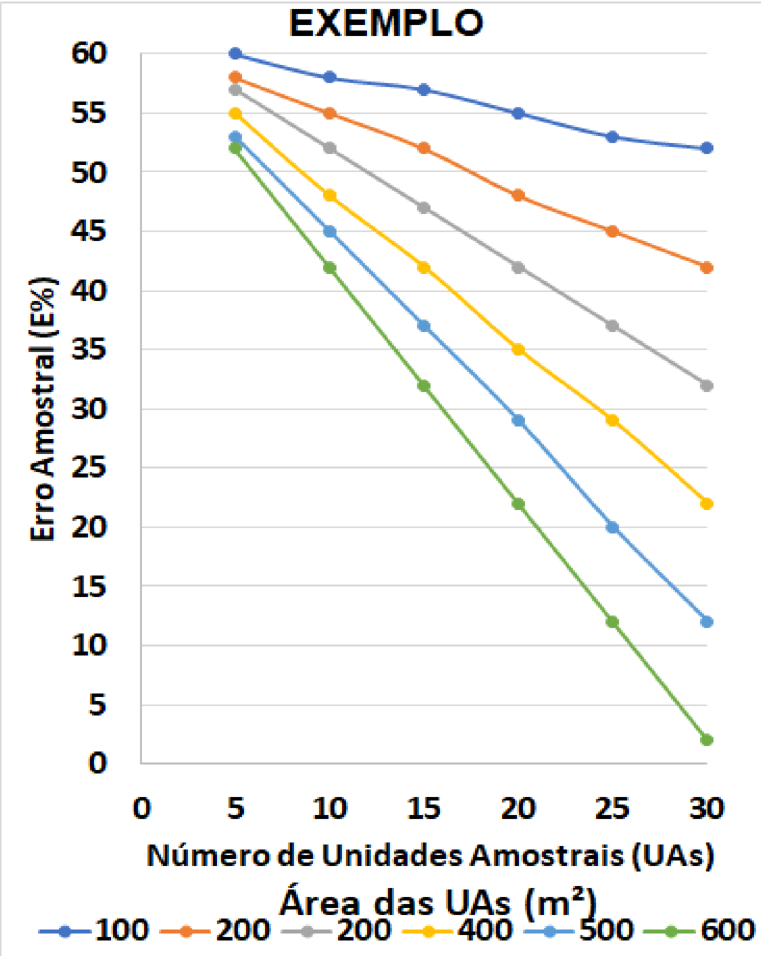


FIGURA 2 – Comportamento do erro amostral em relação ao tamanho da unidade amostral e número de unidades amostrais.

Os tipos de unidades amostrais definem os métodos de amostragem que podem ser por unidades amostrais pontuais, lineares, de área variável e de área fixa.

A influência da forma e dimensões das unidades amostrais ocorre da seguinte maneira:

- Forma:
  - População homogênea - maior área e menor perímetro = menor tempo de medição;
  - População heterogênea - maior relação comprimento/lado diminui a variância entre.
- Tamanho:
  - Quanto maior as dimensões, principalmente o comprimento, maior a variância dentro da unidade;
  - Ideal de 20 a 100 indivíduos para maximizar a variância dentro e minimizar entre as UAs para se ter o menor erro amostral (Figura 2).

2.6 Tipos e demarcação de unidades amostrais

As unidades amostrais em florestas, comumente chamadas de parcelas, podem ser de três tipos:

- Pontuais – são unidades amostrais onde somente o centro da unidade é fixo; as áreas das unidades amostrais variam de uma para outra; os tipos principais são as unidades amostrais: de Bitterlich, de Strand, de Prodan, de Quadrantes e da Árvore Mais Próxima.
- Lineares – são unidades amostrais sem área fixa, pois o comprimento das unidades varia de uma para outra, baseadas em linhas ou transectos; os tipos mais comuns são: linhas, transectos e do vizinho mais próximo;
- Área Fixa – são unidades amostrais cuja forma e dimensão é padronizada para todas as parcelas; os principais tipos são: quadradas, retangulares e circulares.

2.6.1 Medições e estimativas nas unidades amostrais

Em qualquer caso, os diâmetros de todas as árvores das parcelas são medidos e pelo menos uma percentagem das árvores têm suas alturas medidas para depois ajustar equações de relação hipsométrica e estimar as alturas das árvores cujas alturas não foram medidas, ou são medidas todas as alturas, o que torna o inventário mais dispendioso.

A frequência de árvores nas parcelas é calculada pela contagem do número de árvores ocorrentes na mesma. O diâmetro médio e área basal média da unidade amostral é calculada pela média aritmética de todas as árvores da parcela, exceto as mortas. A altura média é calculada a partir das árvores que tiveram as alturas medidas e estimadas, exceto as mortas. O volume das árvores deverá ser estimado por equação volumétrica e sua média será calculada como a média aritmética de todas as árvores das parcelas, exceto as mortas. As médias por hectare para a frequência de árvores (N), área basal (G) e volume (V) são encontradas multiplicando-se o Fator de Proporcionalidade de Área (F), que é calculado pela razão entre a área de 1 ha e a área da unidade amostral. O Fator de Proporcionalidade de Área é calculado pela equação:

$$F = A / a$$

Onde: F = Fator de Proporcionalidade de Área; A = 10000 m² (=1 ha); a = área da unidade amostral em m².

As áreas das unidades amostrais (a) são determinadas de acordo com o tipo de unidade amostral conforme se descreve no “Capítulo 3 Métodos de Amostragem”.

2.6.2 Demarcação de UA quadrada ou retangular

Define-se a dimensão da área e dos lados e demarca-se o centro da UA sobre a linha de acesso (em preto na Figura 3).

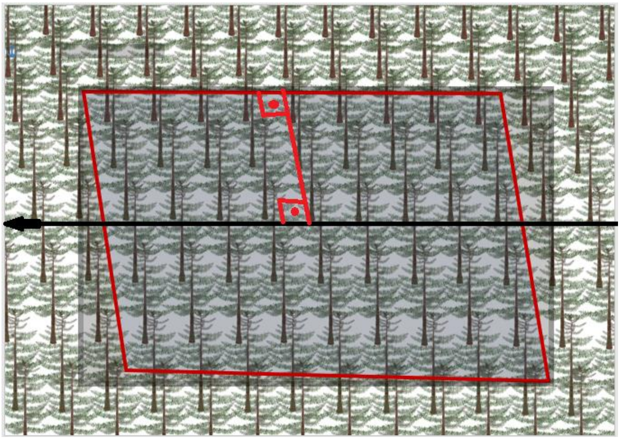


FIGURA 3 – Demarcação de UA quadrada ou retangular.

Forma-se ângulo reto do centro com a metade dos lados e do meio do lado com os cantos, formando uma cruz. Deve-se demarcar do meio de cada lado para os cantos da UA, porque isso reduz a chance de erro dos ângulos de 90º dos cantos pela metade, em relação à demarcação dos ângulos a partir dos cantos da unidade.

Em espaçamento irregular, pode-se medir os lados para se ter a área real da UA. A medição das UAs após a demarcação é realizada conforme segue (Figura 4):

- Traça-se um X das árvores internas dos vértices da UA com as três árvores externas dos vértices do polígono formado pelas linhas de bordadura da UA;
- Mede-se os 4 lados da UA (A, B, C e D) a partir do centro de cada X formado nos vértices;
- A área (a) da unidade amostral na Figura 4 é calculada por:

a = [(A+C)/2] * [(B+D)/2]

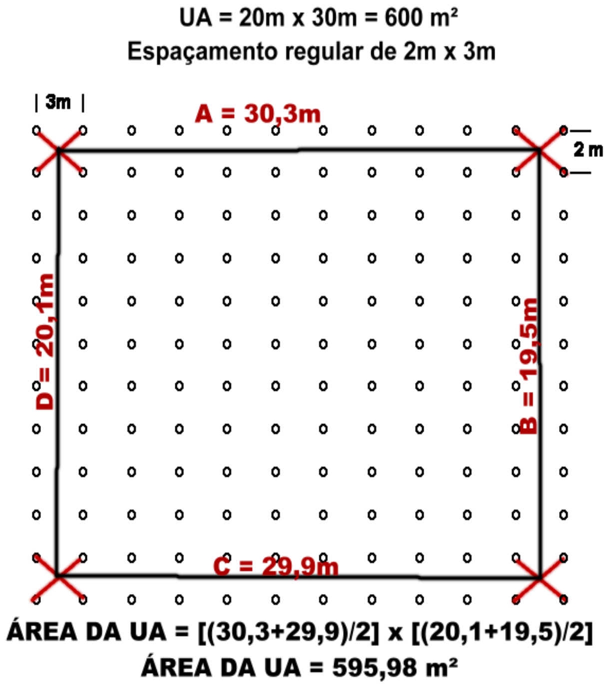


FIGURA 4 – Medição da área real de unidade amostral quadrada ou retangular.

2.6.3 Demarcação de unidade amostral circular

- Define-se a dimensão do raio e demarca-se a UA;
- Árvore cuja base se encontra sobre a linha de divisa, com mais da metade dentro da parcela é contada;
- Se a base está exatamente a metade na parcela, inclui-se as árvores pares; ou seja, não se inclui a 1ª, inclui-se a 2ª, a 3ª não e assim por diante.

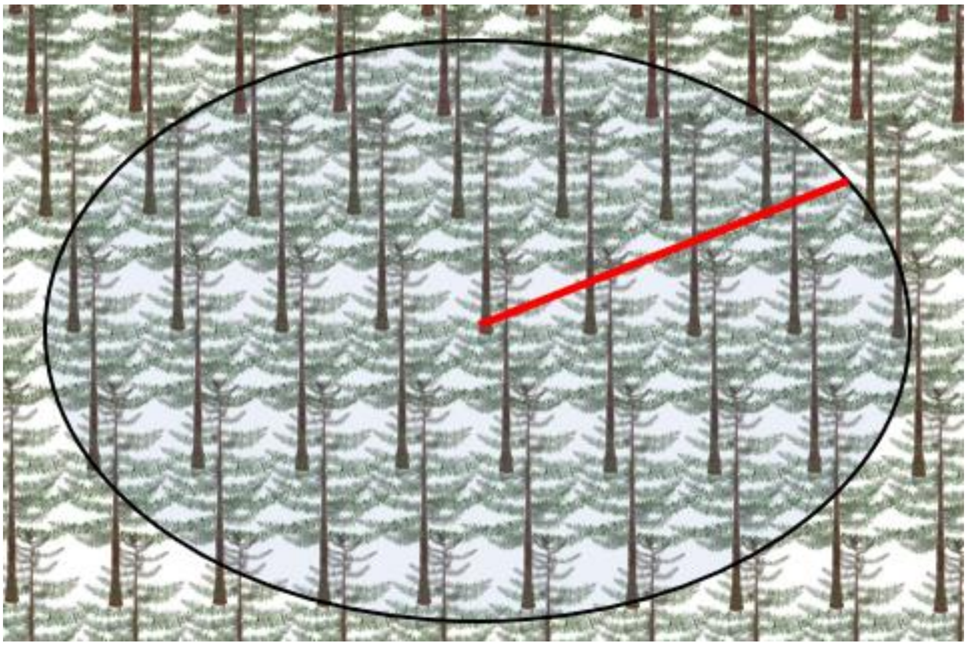


FIGURA 5 – Demarcação de UA circular.

2.6.4 Demarcação de unidade amostral de Bitterlich

A demarcação parte da locação do centro da unidade e segue no seguinte procedimento:

- Demarca-se o centro da UA;
- A partir do centro, conta-se as árvores com DAP mais largo que o ângulo escolhido, preferencialmente partindo-se sempre do norte da unidade e seguindo em sentido horário;
- Árvores duvidosas como a nº 4 (Figura 6) devem ter a dúvida dirimida pela equação:

$$d = R / [\, 50 \sqrt{(1/K)}\,]$$

Onde: d=diâmetro limite em m; R=distância do centro da UA à árvore em m; K=fator de numeração angular.

- Se o d limite calculado for igual ou maior que o d medido da árvore, a árvore é excluída.
- As árvores 1 e 8 deste exemplo estão fora da UA;

- Árvore 4 é duvidosa, com d=35cm a 10 m de distância, determinando-se que está dentro da UA, pois o d limite calculado [d = 10 / [50 √(1/3) = 34,64 cm] é inferior ao diâmetro da árvore;
- Contou-se 7 árvores na UA deste exemplo, resultando em G = 7x3 = 21 m²/ha.

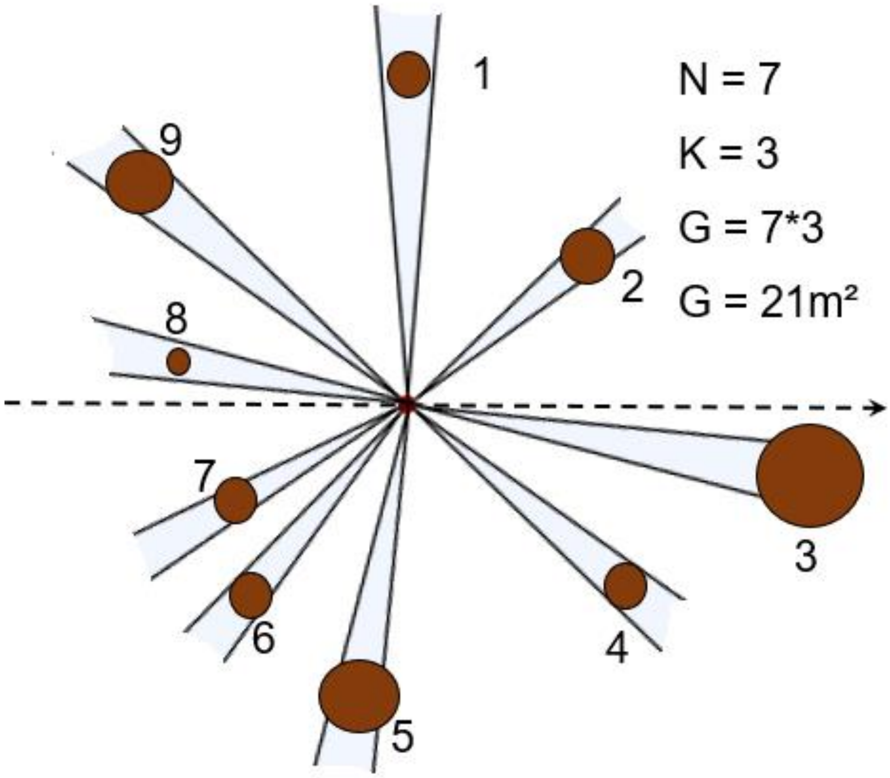


FIGURA 6 – Unidade amostral de Bitterlich.

2.6.5 Demarcação de unidade amostral de quadrantes

- Marca-se as linhas de levantamento (caminhamento) e os pontos amostrais sobre as linhas; a partir dos pontos amostrais forma-se ângulos retos para ambos os lados da linha de caminhamento, formando uma cruz (Figura 7);
- A árvore mais próxima do ponto amostral em cada quadrante é medida;
- A unidade amostral é formada pelas quatro árvores medidas nos quadrantes.

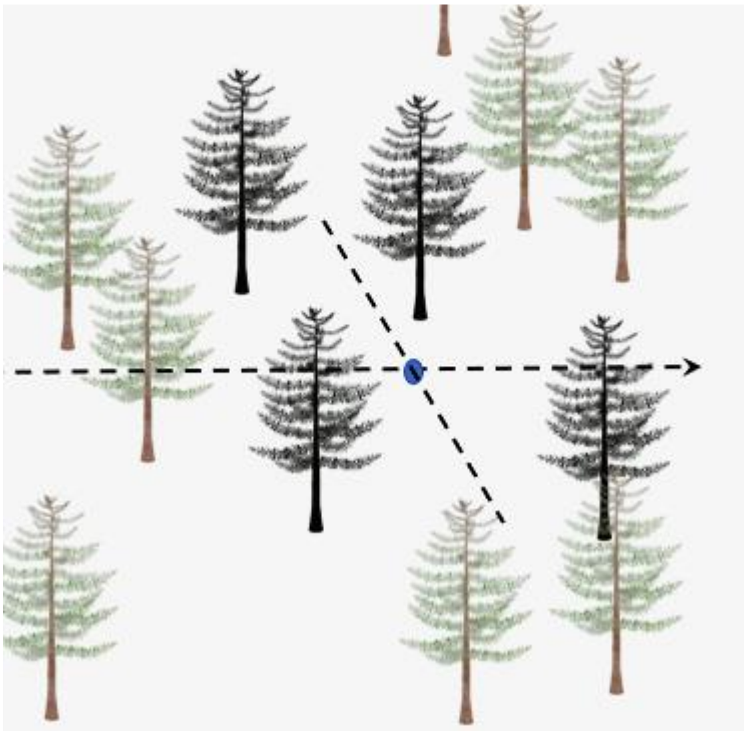


FIGURA 7 – Unidade amostral de quadrantes.

2.6.6 Demarcação de unidade amostral das 6 árvores de Prodan

- Demarca-se a linha de levantamento e os pontos amostrais sobre ela;
- A partir do centro, as seis árvores mais próximas são amostradas.

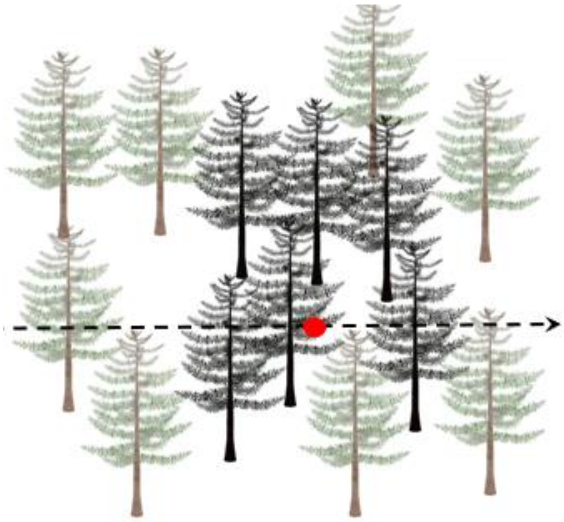


FIGURA 8 – Unidade amostral das 6 árvores de Prodan

2.7 Árvores limítrofes das unidades amostrais

Uma árvore limítrofe é aquela cuja base do tronco se encontra sobre a linha de divisa da unidade amostral; se estiver com mais da metade da base para dentro da parcela é incluída na parcela, caso contrário é desconsiderada. Mas, se houver dúvida se está dentro ou fora da unidade amostral, ou seja, se a base da árvore está exatamente com a metade da base dentro da parcela e a metade fora, ordena-se as arvores limítrofes duvidosas de "1" a "n" e inclui-se na parcela somente as de número de ordem par; ou seja, não se inclui a 1ª, inclui-se a 2ª, a 3ª não, e assim por diante.

2.8 Tipos de Levantamentos quanto à percentagem de árvores medidas da população

Há duas formas de se obter dados de uma população ou comunidade florestal:

- CENSO - Medindo-se todos os indivíduos;
  - É a enumeração completa de todos os indivíduos da população;
  - Raramente se justifica em florestas de produção, exceto casos especiais como o manejo florestal na Floresta Amazônica;
  - É utilizado em arborização, florestas urbanas e arboretos;
  - Os resultados obtidos são os parâmetros da população;
  - Os resultados são chamados de parâmetros populacionais e representa-se por letras gregas.
- AMOSTRAGEM - Medindo-se uma fração dos indivíduos.
  - É a coleta de dados de uma fração dos indivíduos de uma população, por meio de unidades amostrais estatisticamente distribuídas e significativamente menores do que a área da população, com uma determinada probabilidade de erro associada aos resultados obtidos;
  - É utilizada nos inventários florestais convencionais;
    - Os resultados obtidos são estatísticas populacionais que estimam os parâmetros da população;
    - São representados por letras minúsculas do alfabeto arábico para médias individuais das árvores;

- As médias por hectare são representadas por letras maiúsculas do alfabeto arábico.

2.9 Precisão requerida e Erro amostral

A precisão requerida na amostragem depende das seguintes característica:

- Objetivo da amostragem;
- Recursos financeiros disponíveis;
- Criticidade:
  - Legislação – impõe restrições e exigências;
  - Riscos decorrentes da imprecisão.

A precisão refere-se à probabilidade de certeza em relação à média, ou ao Limite de erro máximo admitido para mais ou para menos da média.

O erro amostral é devido à parte da área de floresta que não foi medida, representado pela diferença entre a média amostral e a média populacional. O limite máximo de erro amostral (E%) é fixado antes da amostragem. É a percentagem de erro admitida em torno da média para mais e para menos. É comum utilizar-se um erro máximo admitido para a média de +/-5% ou, considerando-se que o erro é para mais ou para menos, de |5%| x 2 = 10%.

Após o levantamento de campo e cálculos estatísticos, calcula-se também o erro amostral que realmente ocorreu na amostragem para verificar se ficou abaixo do admitido. Quando fica maior do que o erro admitido, pode ser necessário intensificar a amostragem para que fique dentro dos padrões desejados.

2.10 Precisão e Acuracidade

Precisão diz respeito ao erro de amostragem (mais fácil de obter) - a falta de precisão é representada pelo desvio da amostra em relação à média estimada, ou erro padrão da média.

Acuracidade se refere ao desvio da amostra em relação ao parâmetro populacional incluindo os erros de medição e demais erros não amostrais, o que é difícil de obter.

2.11 Erros de medição

Os erros de medição mais comuns dizem respeito a:

- Área da Floresta;
- Áreas das parcelas;
- Árvores duvidosas;
- Precisão e calibragem instrumental;
- Ponto de medição;
- Acuidade visual;
- Atenção do operador.

2.12 Limite de erro amostral em função do objetivo

O limite de erro é dependente também do tipo de floresta, além do objetivo e dimensão da área florestal a inventariar.

Quanto ao objetivo do inventário, limite de erro geralmente é estabelecido como:

- Inventário madeireiro pré corte:
  - Floresta nativa (Amazônia): censo de 100% das árvores com d>=50cm e +/-5% a +/-10% para o restante;
  - Floresta plantada: +/- 2,5% a +/-5%;
- Fitossociológico ou ecológico:
  - +/-10% a +/-20% da área basal por ha;
  - Deve considerar principalmente a curva do de espécies pela área amostral (o nº de espécies aumenta com o aumento da área amostrada até que estabiliza).
- Inventário florestal contínuo para crescimento:
  - Neste caso, o mais importante é que as medidas individuais sejam rigorosas e que se garanta que seja medida a mesma árvore com a mesma numeração em cada ocasião;
  - normalmente admite-se um erro amostral (E%) em cada ocasião de:
    - até +/-5% nas florestas plantadas;
    - até +/-10% nas florestas nativas.

2.13 Erro em função de redução do lucro

Exemplo de erro máximo em função da perda nos lucros, independente do custo da amostragem:

Considere uma indústria madeireira vende seus produtos a R$1000,00/m³ com um lucro de R$100,00 (10%). São gastos 2 m³ de madeira em pé para cada m³ de produto fabricado;

A madeira em pé tem um custo de R$25,00/m³. Portanto, a produção de 1% a mais de madeira em pé sem aumentar as vendas (1%*R$25,00 = R$0,25) implica em perda de (2m³*R$0,25) R$0,50 do lucro por m³ vendido, ou seja, perda de 0,5% do lucro por m³ vendido.

Se a indústria decidir não comprometer mais do que 5% de seu lucro para garantir o suprimento de madeira para a fábrica, qual deve ser o erro máximo (E%) da amostragem?

*Perda admitida = R$100,00*5% = R$5,00*

*E% = 100 * ((R$5,00/m³) / (R$25,00*2m³))*

*E% = 100 * 5 / 50 = 10%*

2.14 Intensidade Amostral

É a proporção da área total da amostra em relação à área da população, calculada por:

*IA = 100 * AA / AP*

Onde: IA = intensidade amostral em percentagem; AA = área amostrada total (ha); AP = área total da população (ha).

Também é interpretada como a fração de amostragem:

$$f = n / N$$

Onde: f = fração de amostragem; n = número de unidades amostrais medidas; N = número potencial de unidades amostrais de toda a população.

A intensidade amostral pode ser estabelecida em função de:

- Média ($\bar{Y}$) e variância (S^2) da população e erro máximo admitido (E%);
- Custos de amostragem;
- Redução do lucro.

2.14.1 Intensidade Amostral em função da média ($\bar{Y}$), variância (S^2) e limite de erro (E%)

- populações finitas

$$n = (N.\ t^2 .\ S^2)\ /\ [(N .\ E^2) + (t^2 .\ S^2)]$$

- populações infinitas

$$n = t^2 .\ S^2 / E^2$$

Onde: n = tamanho da amostra ou n° total de unidades a amostrar; t = valor tabelado da distribuição t de Student, (p, gl); S^2 = Variância; E^2 = quadrado do erro de amostragem admissível para mais ou para menos da média; exemplo para ppb de 95%: E = Média x (2 x (1-p)) = Média * 2 * (1-0,95) = E = (Média * 0,10); N = número total potencial de unidades da população; p = probabilidade de confiança para a média; gl = graus de liberdade (gl=n-1); n = número de unidades amostrais medidas no inventário piloto.

2.14.2 Intensidade Amostral em função dos custos e recursos disponíveis

A intensidade amostral em função dos custos de inventário é calculada por:

$$n = (Ct - C0) / C1$$

Onde: n = número de unidades amostrais; Ct = custo total do inventário; C0 = custos fixos de planejamento, equipamentos, análise e elaboração do relatório do inventário; C1 = custo médio por unidade amostral (deslocamento + demarcação + medição).

3 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM

Métodos de amostragem são as formas de abordagem sobre uma única unidade amostral. Os métodos de amostragem são relacionados ao tipo de unidade amostral utilizado. Os principais classificam-se nos 4 tipos relacionados a seguir:

- Unidades amostrais de área fixa
  - Quadrada
  - retangular
  - circular
- Unidades amostrais pontuais
  - Árvore mais próxima (comum para cubagem)
  - Bitterlich
  - Prodan (6 árvores)
  - Quadrantes
- Unidades amostrais em linha ou faixa
  - Vizinho mais próximo
  - Transectos (lineares e faixas)
  - Strand
- Empíricos
  - 3-P
  - visual

3.1 Método de unidades amostrais de área fixa

3.1.1 Descrição do método de área fixa

Neste método as unidades amostrais têm uma área regular e fixa para todas as unidades.

As unidades podem ter qualquer forma regular como quadrada, circular ou retangular, mas todas as unidades têm a mesma forma e tamanho.

É o método preferido e considerado o mais preciso.

O ajuste do tamanho da unidade deve ser tal que compreenda a maior parte da variabilidade florestal local de forma a reduzir a variabilidade entre as unidades e, consequentemente, resultando em menor número de unidades para o erro máximo desejado.

Para se transformar os valores de frequência de árvores da unidade amostral (n), área basal média individual (g) e volume médio individual (v) em valores médios por hectare (N, G e V) pode ser utilizado o fator de proporcionalidade. Fator de proporcionalidade é a razão entre a área de 1 ha e a área da unidade amostral, sendo calculado por:

$$F = A / a$$

Onde: A = 10000 m² (1 ha); a = área da unidade amostral em m².

Usando-se o fator de proporcionalidade, os valores de N, G e V são calculados por:

- Número de indivíduos, ou frequência por hectare (N)

$$N = n \,.\, F = n \,.\, A / a = n \,.\, 10000 / a$$

Onde: N = número de indivíduos por hectare; n = número de indivíduos encontrados na unidade amostral; A = 10000 m² (1 ha); F = fator de proporcionalidade de área; a = área da unidade amostral em m².

- Área Basal por hectare (G)

$$G = \left(\sum_{i=1}^{n} g_i\right) . F$$

Onde: G = área basal em m² por hectare; gi = área basal individual da árvore i em m² (g_i=π.di²/4); di = diâmetro à altura do peito da árvore i; n = número de árvores da unidade amostral; F = fator de proporcionalidade de área.

- Volume por hectare (V)

$$V = \left(\sum_{i=1}^{n} v_i\right) . F$$

Onde: V = volume em m³ por hectare; v_i = volume da árvore i em m³; n = número de árvores da unidade amostral i; F = fator de proporcionalidade de área.

3.1.2 Vantagens do método de área fixa

As principais vantagens de usar parcelas de área fixa são relacionadas a seguir:

- Todas as estatísticas são obtidas diretamente em cada unidade amostral;
- É prático e simples;
- É o mais usado em inventários florestais;
- Há alta correlação em múltiplas ocasiões.

3.1.3 Unidades amostrais quadradas ou retangulares

Nos plantios florestais deve-se ter cuidado com parcelas quadradas ou retangulares, devido à irregularidade no espaçamento entre as árvores. O espaçamento entre linhas, geralmente é demarcado pelo sulcamento da área, resultando em linhas que não são perfeitamente retas e equidistantes. E, raramente o alinhamento das árvores é realizado nos dois sentidos, sendo que as árvores não têm uma posição correspondente entre uma linha e outra. Alguns profissionais afirmam que essas diferenças de área de uma parcela para outra se compensam, ou seja, uma diferença para mais compensa uma diferença para menos em relação aos tamanhos das muitas unidades amostrais de um povoamento. Entretanto, têm-se observado que as diferenças tendem a ser sistemáticas ou para mais, ou para menos, dependendo da topografia e do operador da máquina de sulcamento, ou do coveador, o que implica em erros às vezes graves no cálculo das médias por hectare.

Devido às irregularidades no espaçamento entre árvores nas plantações, muitos têm preferido as parcelas circulares em detrimento das quadradas ou retangulares. Outros optam pelas quadradas ou retangulares, mas realizam uma correção da área de cada parcela individualmente, o que é mais adequado do que usar um valor fixo, conferindo maior precisão nos resultados por hectare do que sem a correção individual das áreas das parcelas. A marcação das unidades e a correção pode ser realizada como na Figura 9, descrita a seguir:

- Com uma cruzeta, ou com trena medindo-se um triângulo retângulo lados com 3, 4 e 5 m para marcar duas linhas ortogonais a partir do centro da parcela, sendo uma das linhas no sentido da linha de plantio;
- Depois, demarca-se os pontos das bordas da parcela, na metade dos lados da mesma, em que cada linha parte do centro;

- A partir dos quatro pontos da borda que estão no meio da unidade, estende-se as linhas de borda até os 4 cantos da parcela, criando-se os limites da área da parcela;
- As árvores marginais das parcelas são marcadas com tinta e, à entrada do talhão, com um x;
- A medição é realizada a partir do canto esquerdo (1), indo e voltando a cada linha;
- Nos inventários contínuos que envolvem crescimento individual é necessário numerar todas as árvores das parcelas, de forma que o número da árvore medida seja sempre o mesmo em todas as ocasiões das medições;
- Árvores sobre o limite: não é incluída na parcela a primeira encontrada sobre o limite da parcela a partir do canto de início da medição, a segunda é incluída, a terceira não, a 4ª sim, e assim por diante;
- Nos 4 cantos da parcela, procura-se localizar os 4 locais originais de plantio das árvores próximos a cada um dos cantos e coloca-se uma estaca no cruzamento das duas diagonais formadas pelas quatro árvores;
- Mede-se as distâncias reais (valores entre parênteses na Figura 9) de uma estaca à outra nos cantos da parcela, correspondentes aos lados A, B, C e D;
- Calcula-se a área real da parcela pela equação:

$$\text{Área da Parcela} = (A+C) \cdot (B+D) / 4$$

A Figura 9 representa a marcação de uma parcela com lados de 20 m, tendo-se medido os lados A=20,35m, B=19,90m, C=20,35m e D=19,64m, resultando em 402,32m² de área real.

3.1.4 Unidades amostrais circulares

Nas parcelas circulares (Figura 10) as dimensões da UA não são influenciadas pelo espaçamento do plantio e o espaçamento irregular não influencia o tamanho da parcela, basta medir o raio corretamente.

É uma boa prática marcar a primeira e a última árvore de cada linha de plantio para medir as árvores, isso facilita a visualização durante a medição; na sequência de medição há linhas mais curtas na borda e mais longas no centro, sendo difícil visualizar a marcação das árvores de início e final de cada linha.

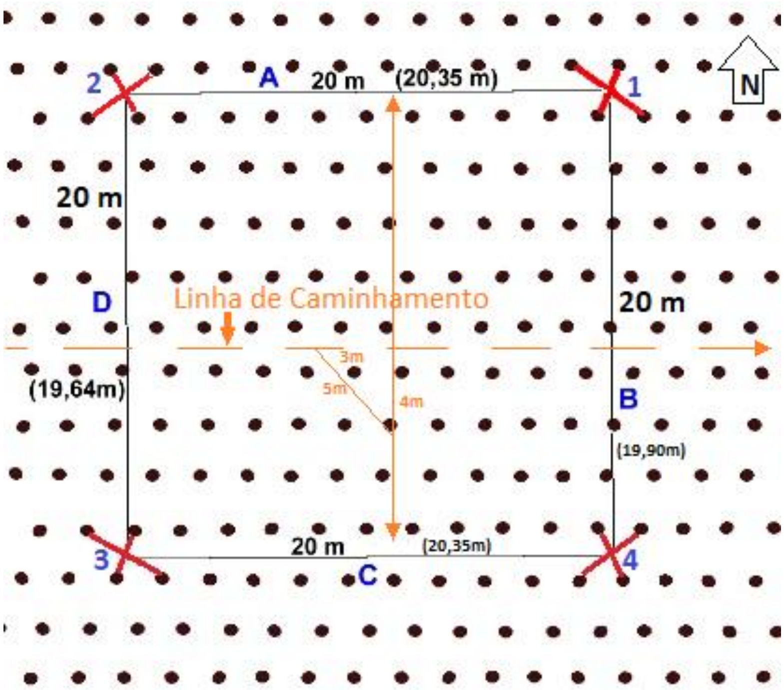


FIGURA 9 - Marcação e correção da área de unidades amostrais retangulares ou quadradas

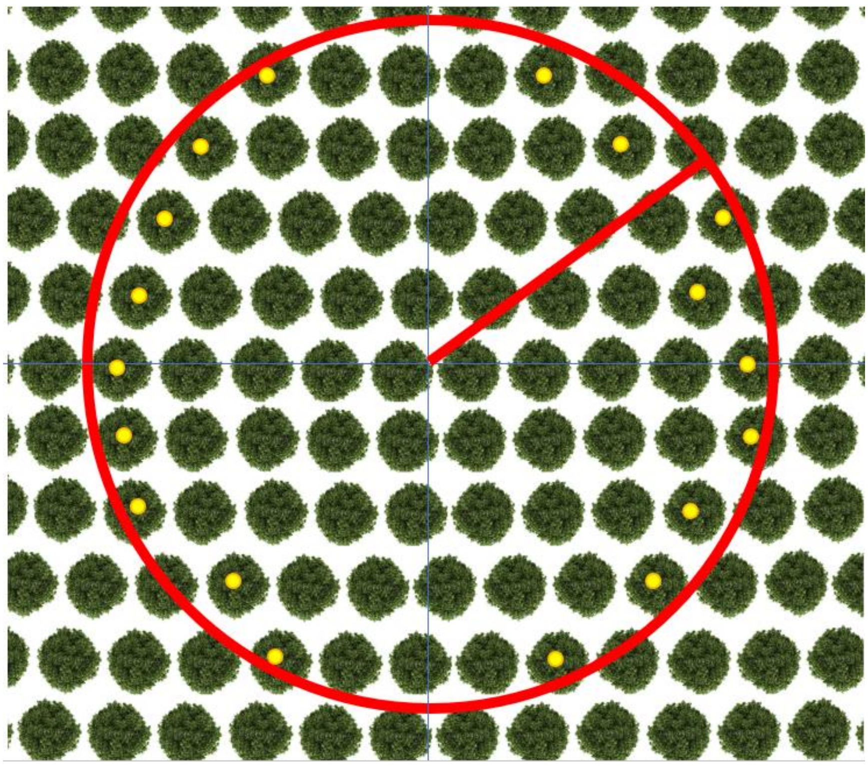


FIGURA 10 – Parcela circular.

Unidades amostrais circulares têm sido preferida por ser menos sujeitas a erros quanto ao tamanho da parcela. Deve-se ter o cuidado de manter a horizontalidade na medição do raio para demarcação da parcela.

Na Tabela 1 é feita uma comparação das vantagens e desvantagens entre as parcelas quadradas ou retangulares e as parcelas circulares.

TABELA 1 – Comparação entre parcelas quadradas e circulares.

Parcelas Quadradas ou Retangulares	Parcelas Circulares
• As dimensões das parcelas são influenciadas pelo espaçamento irregular do plantio;	• As dimensões da parcela não são influenciadas pelo espaçamento do plantio;
• O espaçamento irregular implica em medição dos lados para correção das dimensões das parcelas;	• Espaçamento irregular não influencia o tamanho da parcela, basta medir o raio corretamente;
• A sequência de medição das árvores segue linhas de mesmo comprimento, facilitando a orientação na parcela, sendo mais fácil e rápido medir.	• A sequência de medição tem linhas mais curtas na borda e mais longas no centro, sendo mais difícil orientar-se na parcela durante a medição.

3.2 Métodos de unidades amostrais de área variável

3.2.1 Método da Árvore Mais Próxima

3.2.1.1 Características do método

Neste método são distribuídos pontos amostrais de forma sistemática ou aleatória sobre a vegetação em estudo e encontrada a árvore mais próxima do ponto amostral.

A unidade amostral neste método é composta exclusivamente pela árvore mais próxima ao ponto amostral.

A área da unidade amostral (a) é calculada pelo quadrado da distância corrigida (D) da árvore ao ponto amostral, como a seguir:

$$a = (2 . D)^2$$

Onde: a = área da unidade amostral; D = distância da árvore mais próxima até o ponto amostral.

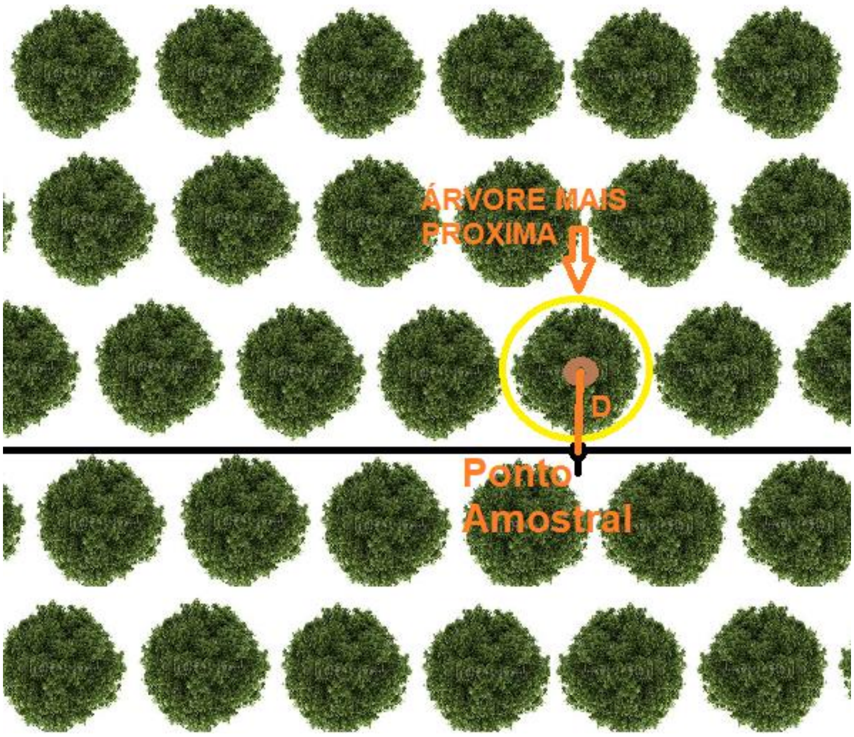


FIGURA 11 – Instalação de unidade amostral pelo método da árvore mais próxima.

O fator de proporcionalidade de área (F) usado para converter as estatísticas por parcela em estimativas por hectare é calculado por:

$$F = A / a$$

Onde: F = fator de proporcionalidade; A = 10000 m² (1 ha); a = área da unidade amostral em m².

Os demais cálculos são realizados como no método de amostragem por área fixa.

3.2.1.2 Vantagens, desvantagens e cuidados

Entre as vantagens do método pode-se citar:

- Facilidade na aplicação;
- Não necessita de instrumentos especiais na demarcação das unidades;
- É possível aplicar em qualquer tipo de vegetação;
- Possibilita a escolha de um único indivíduo por unidade na seleção de árvores para cubagem.

A principal desvantagem é a necessidade de um grande número de unidades amostrais para representar a população, devido à variação excessiva entre as mesmas.

Deve-se medir corretamente a distância do ponto amostral ao centro do tronco na base da árvore para se ter a área correta da unidade amostral.

3.2.1.3 Método da árvore mais próxima na amostragem para cubagem

Na amostragem para cubagem rigorosa de árvores, pode-se utilizar o método da árvore mais próxima.

Para tanto, é necessário conhecer os dados de diâmetros das árvores medidas nas parcelas. Com os dados dos diâmetros das árvores nas parcelas, determina-se o menor (LI_{DAP}) e o maior diâmetro (LS_{DAP}). Então, calcula-se o número de classes de diâmetro para a população pela regra de Sturges para amostras contendo até 2000 indivíduos, ou a de Floriano para grandes amostras, ou outra regra de preferência do pesquisador. A quantidade de árvores a amostrar deve ser igual em cada classe de diâmetro das árvores.

3.2.1.4 Cálculo do número de classes de diâmetro

- Sturges:

$$k = 1 + 3{,}3 \cdot \log N$$

Onde: k = número de classes de diâmetro; N = número total de árvores enumeradas na amostragem; log = logaritmo de base 10; Exemplo: considere-se uma amostra contendo 1500 árvores, k = 1 + 3,3 * Log 1500 = ~12 classes de DAP;

- Floriano:

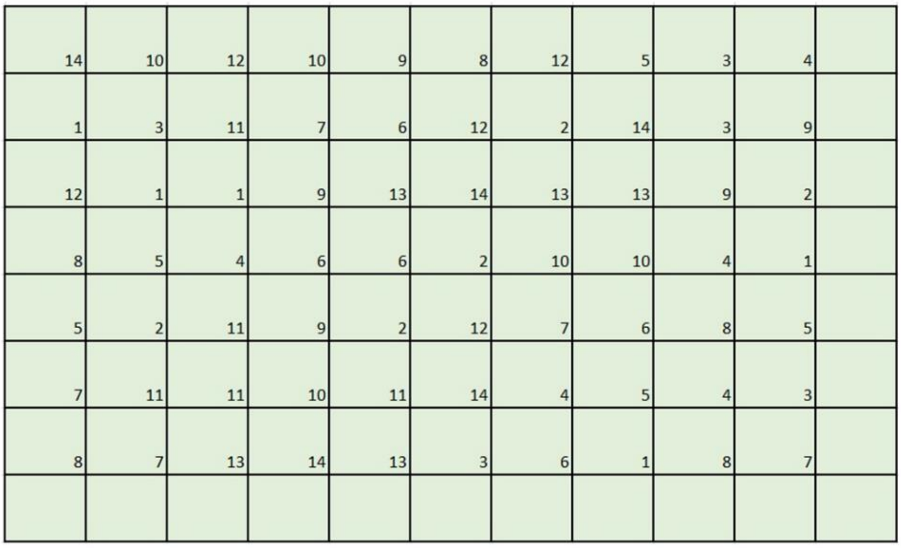
$$k = N^{0{,}175} \cdot \Delta d^{0{,}3}$$

Onde: k = número de classes de diâmetro; N = número total de árvores enumeradas na amostragem; k = número de classes de diâmetro; N = número total de árvores enumeradas na amostragem; Δd = amplitude dos diâmetros da amostra (=LS_{DAP}-LI_{DAP}); exemplo: amostra contendo 8000 árvores, com o maior diâmetro de 45 cm e o menor de 10 cm; Δd = 45cm-10cm = 35cm; k = $(8000)^{0,175}$. $(35)^{0,3}$ = 4,82 . 2,91 = ~14 classes de DAP.

Supondo-se o segundo caso em que a amostra tem 8000 árvores com o menor diâmetro de 10 cm e o maior de 45 cm e que, calculando-se o número de classes obteve-se 14 classes, tendo-se planejado cubar 70 árvores, então é preciso amostrar 70 árvores / 14 classes = 5 árvores por classe de DAP. Consequentemente, devem ser distribuídos 70 pontos amostrais sobre a área da floresta e em cada ponto amostral sorteia-se uma classe de DAP, sendo sorteadas aleatoriamente 5 árvores para cada classe de DAP, ou seja, cada ponto amostral receberá um valor de 1 a 14, representando a classe de DAP da árvore a ser amostrada no ponto. A árvore a ser amostrada em cada ponto amostral será a mais próxima ao ponto com o diâmetro pertencente à classe sorteada.

O retângulo representa a área da floresta, com a sistematização de 70 pontos amostrais localizados nos cruzamentos das linhas verticais e horizontais.

Classes de DAP (cm)			
Nº	>= LI	< LS	CC
1	10,00	12,50	11,25
2	12,50	15,00	13,75
3	15,00	17,50	16,25
4	17,50	20,00	18,75
5	20,00	22,50	21,25
6	22,50	25,00	23,75
7	25,00	27,50	26,25
8	27,50	30,00	28,75
9	30,00	32,50	31,25
10	32,50	35,00	33,75
11	35,00	37,50	36,25
12	37,50	40,00	38,75
13	40,00	42,50	41,25
14	42,50	45,00	43,75



Sendo os pontos numerados da direita para esquerda e de cima para baixo, no primeiro ponto amostral deve ser amostrada a árvore mais próxima da classe 14 com DAP de 42,50 a 45,00 cm, no segundo da classe 10 com DAP de 32,50 a 35,00 cm e assim por diante.

FIGURA 12 – Distribuição sistemática de 70 pontos amostrais sobre a área da floresta para seleção de árvores para cubagem rigorosa.

3.2.2 Método de Bitterlich

Walter Bitterlich foi um renomado cientista florestal (1908-2008) e, em 1947, propôs o método de amostragem por numeração angular.

O enunciado do método de Bitterlich é o seguinte: “O número de árvores (n) de um povoamento, cujos diâmetros a 1,3 m de altura (d) vistos de um ponto fixo aparecem maiores a um dado ângulo (α) é proporcional à sua área basal por hectare (G)”.

3.2.2.1 Demonstração do método

Bitterlich desenvolveu o método a partir de uma barra com uma ocular distante de 1 metro até uma objetiva com largura de 2 centímetros (Figura 13). A seleção das árvores é realizada, portanto, com probabilidade proporcional ao diâmetro das árvores.

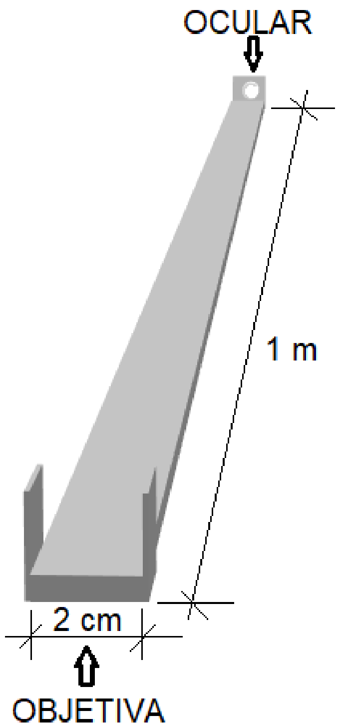


FIGURA 13 – Barra de Bitterlich para amostragem de contagem angular.

Com a barra de Bitterlich, conta-se as árvores com diâmetro mais largo que a abertura da objetiva a partir de um ponto, fixo num giro de 360º. Sugere-se que sempre se inicie pelo Norte e se realize a contagem em sentido horário. O número de árvores contadas (n) é igual a área basal por hectare (G):

$$G = n$$

Onde: G = Área Basal por hectare (m²/ha); n = número de árvores contadas na unidade amostral.

Considerando-se a Figura 14 com o uso da barra de Bitterlich, a área basal por hectare é calculada para uma árvore pela equação:

$$G = K$$

Onde: G = Área Basal por hectare (m²/ha); K = Fator de área basal, também chamado de fator de numeração angular.

Sendo G = n e G = K, fazendo-se G = n . K, então o valor de K da barra de Bitterlich com a abertura da objetiva de 2%é igual a 1.

A área basal para mais de uma árvore contada é determinada por:

$$G = K \cdot n$$

Onde: G = Área Basal/ha; K = Fator de área basal; n = Número de indivíduos contados no ponto amostral, com diâmetros maiores do que o ângulo de abertura (α).

Na Figura 14, considere a relação existente entre as medidas:

$$a / L = d / R$$

Onde: L = Comprimento da barra; a = abertura angular; d = diâmetro a 1,3 m de altura do solo; R = raio da parcela.

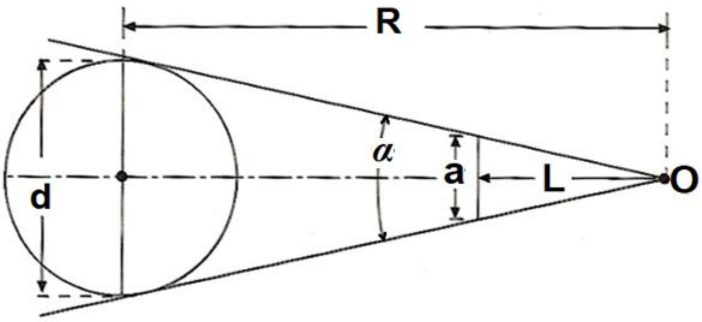


FIGURA 14 – Variáveis para desenvolvimento do método de Bitterlich: α = ângulo para contagem angular; a = largura da objetiva da barra de Bitterlich correspondente ao ângulo α; L = distância da ocular até a objetiva da barra; O = ocular; d = diâmetro da árvore a 1,3 m de altura; R = distância da ocular da barra até o centro do tronco da árvore considerada.

Sendo verdadeira a relação:

$$a/L=d_i/R_i$$

E, sendo a superfície da parcela (S):

$$S = \pi \cdot R^2$$

E, ainda, sendo a área basal de uma árvore (g_i) calculada por:

$$g_i = \pi \cdot d_i^2 / 4$$

Onde: g_i = área basal da árvore i; a = largura da objetiva (m); L = comprimento da barra (m); R_i = distância do ponto amostral ao centro do tronco da árvore i (m); S = área da parcela (m²); d_i = diâmetro da árvore i (m).

Então, a área basal (g_{UA}) da unidade amostral correspondente a árvore "i" é dada por:

$$g_{UAi} = g_i /S = (\pi.d_i^2/4) / \pi.R^2$$

$$g_{UAi} = (d_i^2/4) / R^2 = (1/4).(d_i^2/R^2)$$

$$g_{UAi} = (1/4).(d_i /R)^2$$

Para 1 hectare (10000m²), multiplica-se g_{UA} por 10000m²:

$$G_{UAi} = 10000 \ . \ g_{UAi} \quad , ou$$

$$G_{UAi} = 10^4. \ (1/4).(d_i /R)^2$$

A inclinação do terreno faz com que a distância horizontal até o diâmetro das árvores a 1,3 m de altura tenha de ser calculada, pois a distância será o lado de um triângulo retângulo e a distância até a árvore será a hipotenusa deste triângulo.

A partir de seu princípio, em 1955, Bitterlich desenvolveu o aparelho denominado de Relascópio (Figura 15).

O Relascópio corrige automaticamente a inclinação na linha de visada, tornando possível encontrar a correta área basal do povoamento em metros quadrados por hectare independentemente da inclinação do terreno.

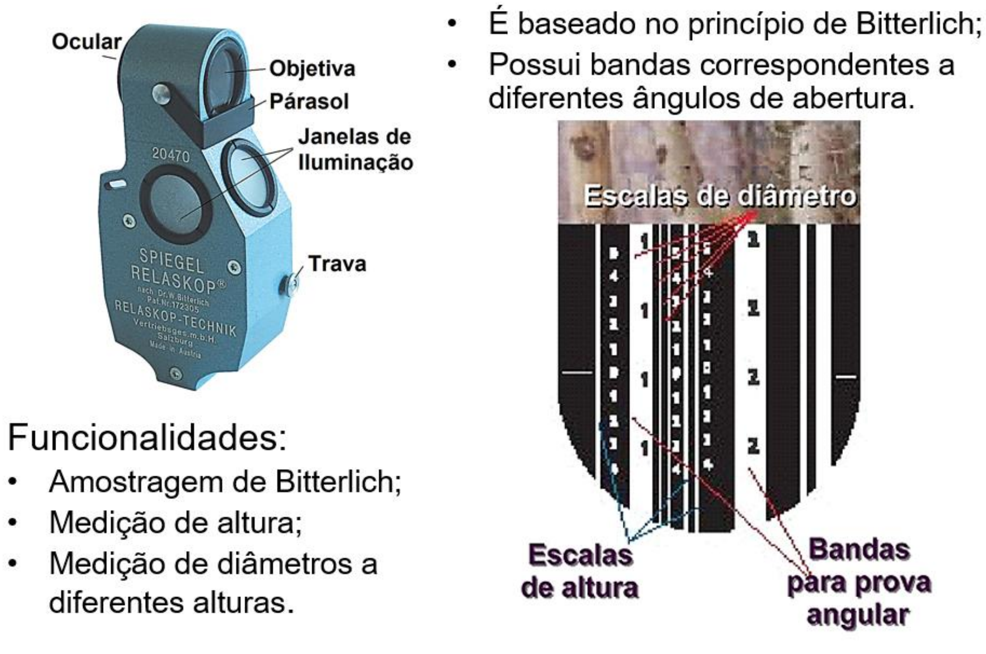


FIGURA 15 – Spiegel-Relascópio.

Atualmente, há opção por aparelhos eletrônicos com a mesma funcionalidade do Relascópio, como o dendrômetro Criterion (Figura 16).

FIGURA 16 – Dendrômetro Criterion.

3.2.2.2 Fator de Numeração Angular (K), ou constante instrumental

Considerando-se a ocorrência de uma só árvore maior do que o ângulo (α) na unidade amostral (N=1), e fazendo-se:

$$K = GUA_i$$

Obtém-se o valor do fator de numeração angular (K), que é dado por:

$$K = 10000.\ (1/4).(d_i/R_i)^2$$

Sendo a área basal por hectare (G) calculada pelo número de árvores por hectare (N) multiplicado pela área basal média das árvores ($\bar{g}$) da unidade amostral, como:

$$G = N\ .\ \bar{g}$$

Continuando, analogamente:

$$G = N\ .\ GUA_i$$

Substituindo-se GUAi, obtém-se a equação de Bitterlich:

$$G = N\ .\ K$$

Subentende-se que há um raio crítico (R_i) para que cada árvore no ponto amostral seja contada, por ter diâmetro (d_i) maior que a abertura do ângulo correspondente a um determinado fator de numeração (K), calculado por:

$$K = 10000.\ (1/4).(d_i/R_i)^2$$

Ou:

$$K = 2500\ (d_i\ /R_i)^2, \quad R_i = d_i\ \sqrt{(2500/K)}, \quad d_i = R_i\ /\ \sqrt{(2500/K)}$$

3.2.2.3 Árvores duvidosas

Árvores duvidosas têm sido tratadas de três maneiras diferentes na amostragem por contagem angular:

- Medindo-se a distância horizontal do centro da UA até o centro do tronco da árvore a 1,3 m de altura, calcula-se o diâmetro limite por d_{lim}=R/√(2500/K); se d_{lim} for menor que o DAP da árvore ela é incluída na UA; esta é a maneira mais correta (Tabela 2);
- Ordenando-se as árvores duvidosas e excluindo-se a 1ª, incluindo-se a 2ª, e assim por diante;
- Contando-se as árvores duvidosas como 0,5 em vez de 1 para calcular G=N.K; é o pior método e complica o cálculo das médias, pois a média tem de ser calculada com metade do diâmetro ou da altura das árvores.

TABELA 2 - Exemplos de árvores de uma unidade amostral que devem ser ou não contadas em função da banda (fator de numeração), da distância até o centro da unidade amostral e do diâmetro (d) da árvore

Árvore	K	d (cm)	Distância até a árvore (m)	R crítico (m)	Contar? (sim/não)
1	1	28	7,0	14,0	Sim
2	2	28	7,0	7,0	Não
3	3	28	7,0	4,7	Não
4	4	28	7,0	3,5	Não
5	1	35	8,0	17,5	Sim
6	2	35	8,0	8,8	Sim
7	3	35	8,0	5,8	Não
8	4	35	8,0	4,4	Não

3.2.2.4 Execução da amostragem por prova de numeração angular

Inicialmente, demarca-se o centro da UA. A partir do sentido Norte e em sentido horário, conta-se as árvores com DAP mais largo que o ângulo escolhido num giro de 360º. As árvores duvidosas como a nº 4 devem ter a dúvida dirimida pela equação:

$$d_{LIM} = R / [\ 50 \sqrt{(1/K)}\ ]$$

Onde: dLIM=diâmetro limite em m; R=distância do centro da UA à árvore em m; K=fator de numeração angular.

Se o d_{Lim} calculado for igual ou maior que o d medido da árvore, a árvore é excluída.

Na Figura 17 as árvores 1 e 8 estão fora da UA; a árvore 4 é duvidosa, com d=35cm a 10 m de distância está dentro pois o diâmetro da árvore é maior que o d_{LIM} [d_{LIM}=R/[50√(1/K)]=10/[50√(1/3)]=34,6cm]; contou-se 7 árvores na UA com um fator de numeração K=3, resultando em 21 m²/ha de área basal.

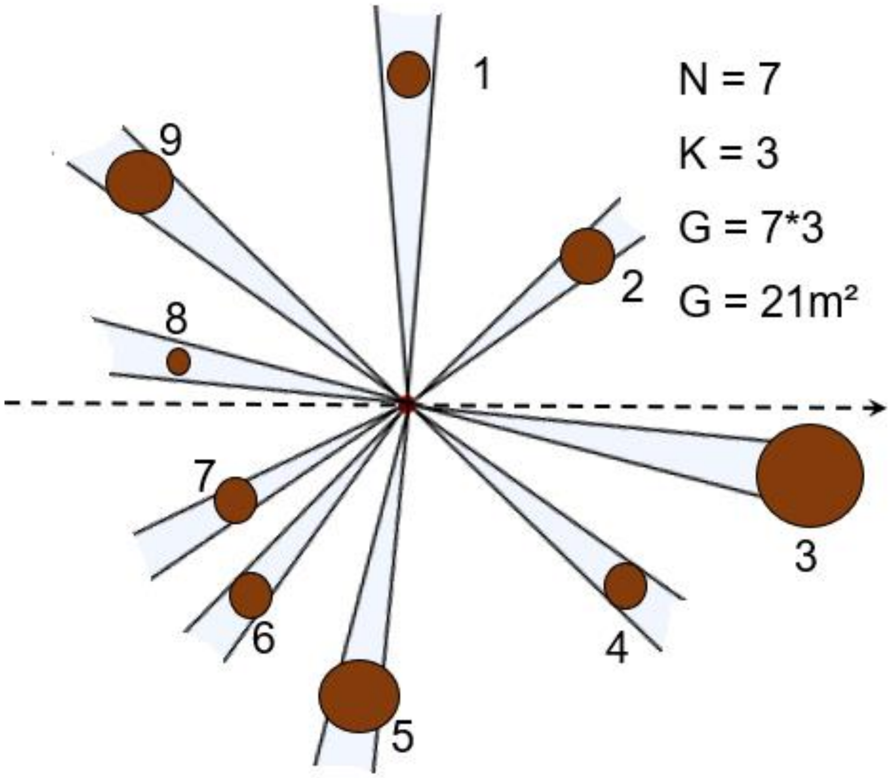


FIGURA 17 – Amostragem de Bitterlich.

3.2.2.5 Determinação da média das variáveis da unidade amostral

3.2.2.5.1 Área Basal média por hectare

A área basal por hectare (G), em m²/ha é obtida diretamente pela multiplicação do fator de numeração (K) pelo número de árvores (n) incluídas na unidade amostral:

$$G = K \, . \, n$$

3.2.2.5.2 Diâmetro médio aritmético ($\bar{d}$)

É calculado com os diâmetros ponderados pela área basal das árvores, usando-se a equação:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{g_i}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{g_i}}$$

Onde: $\bar{d}$ = diâmetro médio da unidade amostral; n = número de árvores selecionadas no ponto de amostragem; di = diâmetro individual da árvore “i”; g_i = área basal da árvore “i” (m²).

3.2.2.5.3 Altura média aritmética ($\bar{h}$)

É calculado com as alturas ponderadas pela área basal das árvores, usando-se a equação:

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{g_i}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{g_i}}$$

Onde: $\bar{h}$ = altura média da unidade amostral; n = número de árvores selecionadas no ponto de amostragem; hi = altura individual da árvore “i”; g_i = área basal da árvore “i” (m²).

3.2.2.5.4 Frequência por hectare (N)

A Frequência (N), ou número de árvores por hectare é obtida pela equação:

$$N = K . \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{g_i}$$

Onde: N = frequência de árvores por hectare; K = fator de área basal; gi = área basal da árvore “i” (m²).

3.2.2.5.5 Volume por hectare (V)

A determinação do volume por hectare é obtida pela equação:

$$V = K.\sum_{i=1}^{n} \frac{v_i}{g_i}$$

Onde: V = Volume por hectare (m³/ha); K = fator de área basal; n = número de árvores selecionadas no ponto de amostragem; v_i = volume da árvore “i” selecionada (m³); g_i = área basal da árvore “i” selecionada (m²).

3.2.2.6 Vantagens da amostragem por numeração angular

- Obtenção da área basal por hectare de forma imediata;
- Rapidez no cálculo do volume quando se conhece o fator de forma médio;
- Facilidade e rapidez na locação da unidade amostral (ponto).

3.2.2.7 Desvantagens da amostragem por numeração angular

- Demanda maior número de unidades, geralmente, em relação à unidades de área fixa;
- Maior custo do que o método de área fixa, em geral, para a mesma precisão;
- Necessita equipamento especial;
- Menor precisão na estimativa do volume;
- As árvores medidas podem não ser as mesmas em duas ocasiões de um inventário contínuo, não se prestando para estudos de crescimento.

3.2.2.8 Cuidados na amostragem por numeração angular

- Para maior precisão, deve-se medir as distâncias do centro até o meio do tronco na base das árvores duvidosas para determinar se estão dentro ou fora da unidade amostral.

3.2.3 Método das 6 árvores de Prodan

O método de Prodan tem alguma semelhança com o método de Bitterlich, com a diferença de que fixa o número de árvores a considerar na unidade amostral.

A unidade amostral é composta pelas 6 árvores mais próximas ao seu ponto amostral central. Portanto, a área da unidade amostral é variável e a seleção é realizada com probabilidade proporcional à distância (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997).

O método tem sido usado em estudos de competição entre árvores.

3.2.3.1 Superfície da unidade amostral (S)

A superfície da unidade amostral é calculada como a área de um círculo com o raio correspondente à distância da 6ª árvore mais distante do centro da unidade entre as 6 árvores do ponto amostral, pela equação:

$$S = \pi . R_6^2$$

Onde: S = superfície da unidade amostral; R_6 = distância da 6ª árvore mais distante do centro da unidade entre as 6 árvores do ponto amostral.

3.2.3.2 Frequência por hectare (N)

O número de árvores por hectare, ou frequência por hectare é determinado como segue:

$$N = \frac{55000}{\pi . R_6^2}$$

Onde: N = frequência de árvores por hectare; R_6 = distância da 6ª árvore mais distante do centro da unidade entre as 6 árvores do ponto amostral.

3.2.3.3 Área Basal por hectare (G)

A área basal por hectare é estimada pela equação:

$$\hat{G} = \frac{2500.\left[\sum_{i=1}^{n-1} d_i^2 + \left(\frac{d_6}{2}\right)^2\right]}{R_6^2}$$

Onde: G=área basal estimada em m²/ha; n = número de árvores contadas na unidade amostral; di = diâmetro da árvore de ordem i; d6 = diâmetro da árvore de ordem 6; R6 = distância (raio) da árvore de ordem 6 até o ponto central da unidade amostral.

3.2.3.4 Volume por hectare (V)

O volume por hectare é determinado por meio da equação:

$$V = \frac{10000.\left[\sum_{i=1}^{n-1} v_i + \left(\frac{v_6}{2}\right)\right]}{\pi.R_6^2}$$

Onde: V=volume em m³/ha; n = número de árvores contadas na unidade amostral; vi = volume da árvore de ordem i; v6 = volume da árvore de ordem 6; R6 = distância (raio) da árvore de ordem 6 (mais distante) até o ponto central da unidade amostral.

3.2.3.5 Vantagens do método de Prodan

- é prático e de fácil aplicação;
- há rapidez na realização da amostragem;
- não há erro na demarcação da unidade amostral.

3.2.3.6 Desvantagens do método de Prodan

- tendenciosidade dos estimadores quando a densidade de árvores por hectare é muito pequena ou muito grande;
- não é recomendável seu uso com objetivo de estudos de sucessão ou para manejo florestal, devido ao pequeno número de árvores por unidade amostral, dificultando obter bons estimadores para mortalidade e para altura dominante.

3.2.4 Método de quadrantes

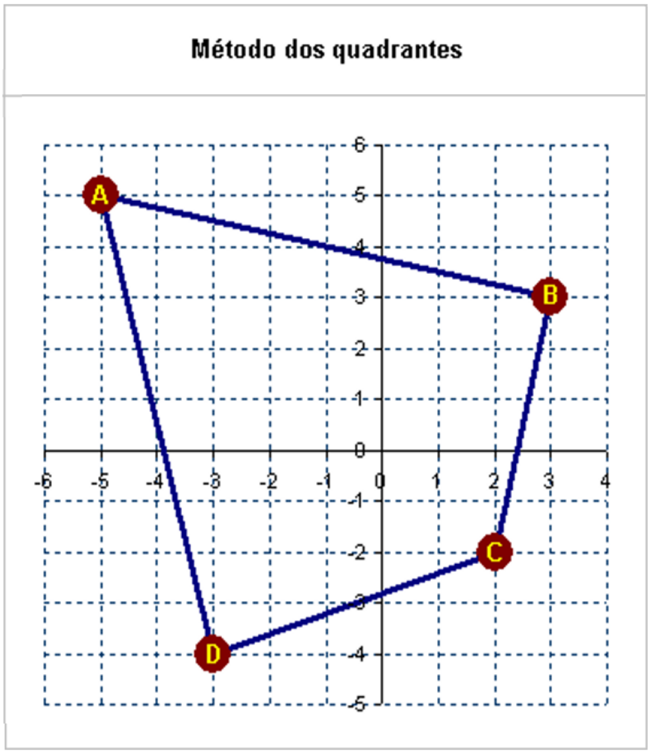
Este é o método foi utilizado pelo governo americano quando do levantamento topográfico do território dos Estados Unidos na metade do Século XIX.

A unidade amostral do método dos quadrantes é composta por duas linhas cruzadas ortogonalmente, formando 4 quadrantes, sendo incluída a árvore mais próxima do seu centro em cada quadrante, num total de 4 árvores por unidade amostral.

De cada árvore são tomadas as coordenadas em relação aos dois eixos que partem do ponto central formando o quadrante, a distância até a árvore localizada no quadrante seguinte, o seu diâmetro e demais variáveis dendrométricas de interesse.

3.2.4.1 Superfície da unidade amostral de Quadrantes

A área da unidade amostral (A) é definida como 4 vezes a área média por árvore, enquanto a área média por árvore pode ser calculada como na Figura 18.



Árvore		x	y	a	b
1	A	-5	5	-15,00	15,00
2	B	3	3	-6,00	6,00
3	C	2	-2	-8,00	6,00
4	D	-3	-4	-15,00	20,00
Soma				-44,00	47,00

Formulas:	Resultados:	
a=x(i)*y(i+1); b=y(i)*x(i+1).	Área	45,5 m²
Soma(a)=A; Soma(b)=B.	EM	6,75 m
Area=ABS((A-B)/2).	N	229,78 arv/ha

FIGURA 18 – Determinação da superfície da unidade amostral de quadrantes por cálculo topográfico pelo método de Gauss.

3.2.4.2 Fator de Proporcionalidade de área (F)

Fator de proporcionalidade usado para converter as estatísticas da unidade em estimativas por ha:

$$F = A / a$$

Onde: A = 10000 m² (1 ha); a = área da unidade amostral em m².

3.2.4.3 Frequência por hectare (N)

O número de indivíduos, ou frequência por hectare é calculado pela equação:

$$N = n \cdot F = n \cdot A / a = n \cdot 10000 / a$$

Onde: N = número de indivíduos por hectare; n = número de indivíduos encontrados na unidade amostral; A = 10000 m² (1 ha); F = fator de proporcionalidade de área; a = área da unidade amostral em m².

3.2.4.4 Área Basal por hectare (G)

A área basal por hectare é encontrada por meio da expressão:

$$G = \left(\sum_{i=1}^{n} g_i\right).F$$

Onde: G = área basal em m² por hectare; g_i = área basal individual da árvore i em m² (g_i=π.di²/4); d_i = diâmetro à altura do peito da árvore i; n = número de árvores da unidade amostral; F = fator de proporcionalidade de área.

3.2.4.5 Volume por hectare (V)

O volume da unidade amostral por hectare (V) é estimado pela equação:

$$V = \left(\sum_{i=1}^{n} v_i\right).F$$

Onde: V = volume em m³ por hectare; vi = volume da árvore i em m³; n = número de árvores da unidade amostral i; F = fator de proporcionalidade de área.

3.2.4.6 Vantagens

- Facilidade e rapidez na locação e delimitação das unidades amostrais.

3.2.4.7 Desvantagens

- Maior erro nas estimativas devido ao ângulo de exclusão de 90º;
- Necessidade de grande número de UAs.

3.2.4.8 Cuidados

- Medição correta da distância entre árvores, usando os centros dos tronco em suas bases como pontos de início/fim da medida.

3.2.5 Método de Strand

O método de amostragem de Strand pode ser considerado um método em linhas baseado no método de Bitterlich, com seleção por probabilidade proporcional ao diâmetro para amostragem da área basal por hectare (G) e por probabilidade proporcional à altura para amostragem de volume por hectare (V).

A unidade amostral é uma linha de comprimento "L" sobre a qual se enumeram todas as árvores que se qualificam para a amostragem. O comprimento padrão da unidade amostral de Strand é de 15,7 metros (PELLICO NETTO E BRENA, 1997).

O levantamento é realizado em duas etapas:

1ª) Amostragem proporcional ao diâmetro realizada pelo método de Bitterlich aplicado em linhas;

2ª) Amostragem proporcional à altura, sendo D ≤ (h/2), ou h > tg 63º26'06".

A probabilidade de inclusão (pi) de uma árvore na unidade amostral é dada por:

$$pi = R_i \,.\, L / A$$

Onde: pi = probabilidade de inclusão da árvore i; R_i = raio marginal da árvore "i" incluída na unidade amostral; L = comprimento da linha de amostragem; A = área do povoamento.

Ou, pelo método de Bitterlich:

$$pi = d_i \,.\, L / K \,.\, A$$

Onde: $K = d_i / R_i$ = fator de área basal, ou $R_i = d_i / K$; d_i = diâmetro da árvore i; L = comprimento da linha de amostragem; A = área do povoamento.

Assim, a probabilidade de inclusão ou não de uma árvore na unidade é dada pela distribuição de Bernoulli (sim=1 / não=0).

3.2.5.1 Área Basal por hectare (G)

De acordo com Péllico Netto e Brena (1997), o estimador não tendencioso para a área basal por hectare (G), para linhas (unidades amostrais) de qualquer comprimento, derivado da distribuição de Bernoulli e associado ao fator de área basal (K) de Bitterlich, é o seguinte:

$$\hat{G} = \frac{\pi.\sqrt{K}}{2\ L}.\sum_{i=1}^{n} d_i$$

Onde: $\hat{G}$ = área basal estimada em m²/ha; n = número de árvores contadas na unidade amostral; K= fator de área basal; L = comprimento da unidade amostral; d_i = diâmetro da árvore de ordem i; i = número de ordem da árvore.

3.2.5.2 Frequência por hectare (N)

O número de árvores por hectare, ou frequência por hectare, é estimado por equações diferentes para determinação da área basal por hectare (G) e para o volume por hectare (V), como segue:

3.2.5.3 Volume por hectare (V)

O volume por hectare pode ser obtido a partir de um fator de forma (f) médio para a população, sendo calculado por:

$$V = f\frac{1}{10}.\sum_{i=1}^{m} d_i^2$$

Onde: V = volume em m³/ha; f = fator de forma médio das árvores do povoamento; m = número de árvores contadas na unidade amostral; di = diâmetro da árvore de ordem i; m = número de árvores da unidade amostral; i = número de ordem da árvore.

3.2.5.4 Vantagens

- redução do tempo necessário para a amostragem;
- redução dos erros devidos à definição dos limites da unidade;
- a flexibilidade do fator de numeração permite que seja sempre amostrado um número de árvores adequado;
- o levantamento pode ser realizado com aparelhos de baixo custo;
- pode ser usado para inventários de regeneração.

3.2.5.5 Desvantagens

- dificuldade na escolha das árvores quando o sub-bosque é denso;
- ocorrem erros amostrais quando há defeitos óticos nos aparelhos;
- é inviável como unidade de levantamento contínuo e estimativas de crescimento;
- a determinação da área basal e do volume por hectare é realizada de forma diferente um do outro;
- a determinação do volume implica em determinar o fator de forma médio das árvores com antecedência.

3.2.5.6 Cuidados

- as árvores duvidosas devem ter sua distância à linha amostral medida parra conferência;
- deve-se estabelecer uma distância mínima entre as linhas de amostragem para não haver árvores que pertençam a duas unidades amostrais simultaneamente.

3.2.6 Método do vizinho mais próximo

Neste método, a unidade amostral é composta pela árvore mais próxima ao ponto de amostragem e pela sua vizinha mais próxima (Figura 19).

A distância entre a árvore mais próxima ao ponto amostral e a sua vizinha mais próxima é multiplicada pelo fator de correção 1,67 para se determinar a área da unidade amostral.

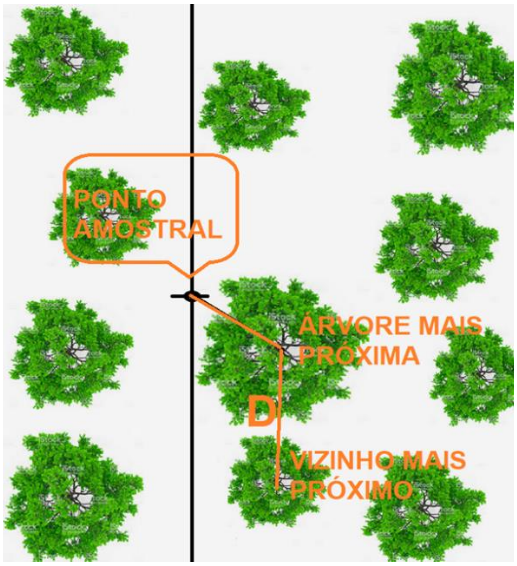


FIGURA 19 – Método do vizinho mais próximo.

3.2.6.1 Área da unidade amostral (a)

A área da unidade amostral é calculada pelo quadrado da distância corrigida, como segue:

$$a = (1,67.D)^2$$

Onde: a = área da unidade amostral; D = distância da árvore mais próxima ao ponto amostral até o vizinho mais próximo; 1,67 = fator de correção.

3.2.6.2 Fator de Proporcionalidade de Área (F)

O fator de proporcionalidade de área usado para converter as estatísticas por parcela em estimativas por ha é calculado por:

$$F = A / a$$

Onde: A = 10000 m² (1 ha); a = área da unidade amostral em m².

3.2.6.3 Frequência por hectare (N)

O número de indivíduos, ou frequência por hectare é calculado como segue:

$$N = n \,.\, F = n \,.\, A / a = n \,.\, 10000 / a$$

Onde: N = número de indivíduos por hectare; n = número de indivíduos encontrados na unidade amostral; A = 10000 m² (1 ha); F = fator de proporcionalidade de área; a = área da unidade amostral em m².

3.2.6.4 Área Basal por hectare (G)

A área basal por hectare (G) é encontrada por meio da expressão:

$$G = \left(\sum^{n} g_i \right) . F$$

Onde: G = área basal em m² por hectare; gi = área basal individual da árvore i em m² ($g_i = \pi . d_i^2/4$); di = diâmetro à altura do peito da árvore i; n = número de árvores da unidade amostral; F = fator de proporcionalidade de área.

3.2.6.5 Volume por hectare (V)

O volume da unidade amostral por hectare (V) é estimado pela equação:

$$V = \left(\sum_{i=1}^{n} v_i \right) . F$$

Onde: V = volume em m³ por hectare; vi = volume da árvore i em m³; n = número de árvores da unidade amostral i; F = fator de proporcionalidade de área.

3.2.6.6 Vantagens

- Facilidade e velocidade de locação e demarcação das UAs.

3.2.6.7 Desvantagens

- Erro na área da UA devido ao ângulo de exclusão de 180º;
- Necessário grande número de UAs.

3.2.6.8 Cuidados

- Medição correta da distância das duas árvores, desde os centros de suas bases até o centro da UA.

3.2.7 Métodos de Transectos

A unidade amostral é uma linha ou faixa (transecto) em corte transversal sobre a área de estudo, que pode atravessar toda a área ou ter comprimentos fixos em caso de estudo de perfis de florestas. É utilizada principalmente em inventários de florestas naturais para estudos fitossociológicos, de gradientes e confecção de perfis da vegetação.

Para permitir análise da variância da população é necessário usar três transectos ou mais e para permitir conhecer a variância interna dos transectos é necessário dividi-los em partes de comprimento igual, de forma que não fiquem menos de três unidades por transecto; por exemplo: se houver três transectos na amostragem com 150, 350, 730 metros de comprimento, poderiam ser divididos em subunidades de 50 metros de comprimento, ficando o primeiro com 3 subunidades, o segundo com 7 e o terceiro com 14 subunidades completas e uma incompleta de 30 metros de comprimento.

3.2.7.1 Tipos de transectos

- Transecto Linear
- Transecto em faixa
- Transecto em Bissecção

3.2.7.1.1 Transecto Linear

Transectos lineares (Figura 20) são utilizados principalmente para confecção de perfis nas escalas 1:100 a 1:50 para árvores e arbustos e 1:10 ou escala maior para regeneração e ervas.

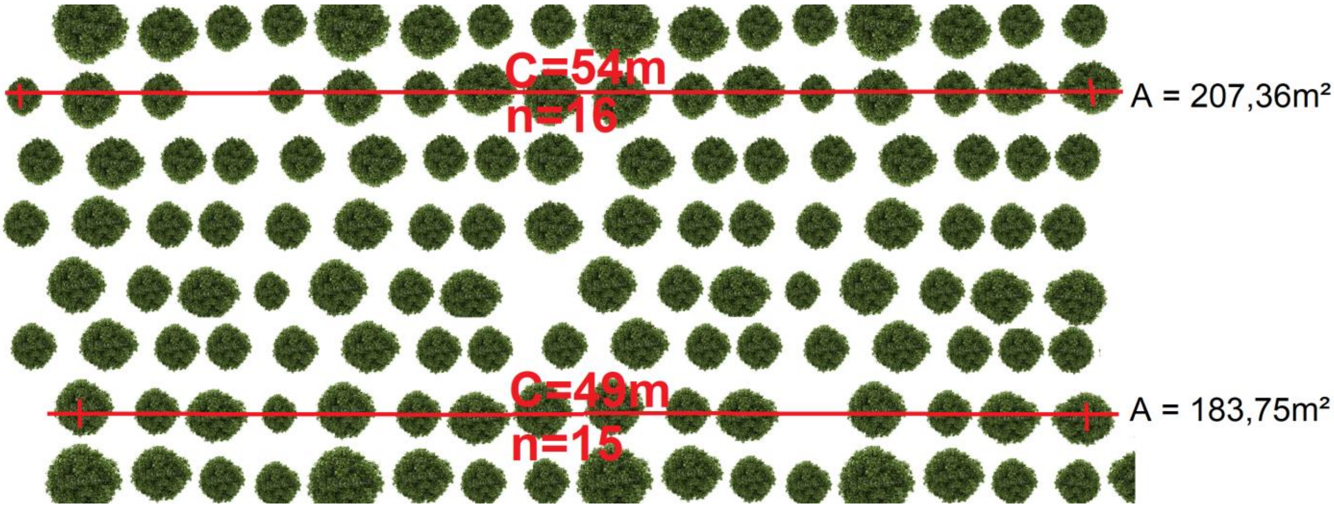


FIGURA 20 – Transectos lineares.

As árvores sobre a linha de amostragem são incluídas no transecto. Mede-se o comprimento (L) da linha amostral, do centro do primeiro tronco ao centro do último tronco na linha. A distância média (D) entre árvores na linha é calculada pela expressão:

$$D = L / (n-1)$$

Onde: D = distância média entre as árvores da linha amostral; L = comprimento da linha amostral; n = número de árvores da unidade amostral.

A área da unidade amostral (a) é calculada por:

$$a = n * D^2.$$

O fator de proporcionalidade de área (F) é calculado independentemente para cada linha amostral por:

$$F = 10000\ m^2 / a$$

Onde: F = fator de proporcionalidade de área; a = área da unidade amostral em m²; 10000 m² = 1 ha.

Os demais cálculos são realizados como na amostragem por unidades de área fixa.

3.2.7.1.2 Transecto em Faixa

Um cinturão ou transecto em faixa é uma parcela de largura fixa alongada (Figura 21), atravessando toda a tipologia vegetal em estudo. São muito úteis para estudos de vegetação natural em pequenas áreas florestais até um máximo de 500 hectares, com unidades amostrais distribuídas de forma sistemática.

FIGURA 21 – Transectos em faixas.

As fórmulas usadas para cálculos são as mesmas utilizadas para unidades amostrais de área fixa, mas deve-se transformar todas as estatísticas para o hectare, pois os transectos podem ter diferentes comprimentos, implicando em área diferente para cada um.

A largura e comprimento da unidade amostral devem ser tais que permitam representar a população estudada com o máximo de fidelidade, devendo-se dividir os transectos em subunidades de comprimento fixo para estudar a variabilidade dentro dos mesmos.

3.2.7.1.3 Transecto em Bissecção

É um transecto em que se estuda a parte aérea e o sistema radicular das plantas. Este método é utilizado para estudos detalhados da estrutura e distribuição de raízes, podendo incluir a estratificação vertical, desde as árvores dominantes, até os brotos existentes além das raízes (GARCIA e LOBO-FARIA, 2007). Podem ser lineares ou em faixas.

4 SISTEMAS DE AMOSTRAGEM

Os sistemas de amostragem caracterizam a abordagem estatística e forma de distribuir as unidades amostrais.

As formas de distribuição podem ser de cinco tipos básicos, quais sejam:

a) Aleatória sem restrições:

Na amostragem aleatória sem restrições as unidades são sorteadas aleatoriamente sobre toda a população. Na prática, divide-se toda a área da população em N unidades potenciais de mesmo tamanho e sorteia-se n unidades amostrais para compor a amostra. Outra maneira é definir o tamanho das unidades amostrais e a quantidade necessária e sortear as coordenadas de localização de cada uma sobre a área da população.

b) Aleatória com restrições:

Algum tipo de restrição é imposto à população antes da distribuição das unidades amostrais que podem ser estratos ou níveis de amostragem. Na amostragem com estratos, divide-se a população em função de características diferentes que apresenta, separando-a em função das espécies ocorrentes, idades diferentes etc. Na amostragem em múltiplos níveis, divide-se a população em unidades de primeiro nível, redividindo-se estas em unidades menores de 2º nível, podendo haver mais níveis. Depois de formados os estratos ou níveis, as unidades amostrais são distribuídas aleatoriamente e de forma independente em cada nível ou estrato.

c) Sistemática sem restrições:

As unidades são distribuídas sistematicamente sobre toda a população. Para linhas ou faixas, define-se um valor de equidistância entre linhas ou faixas (D) e sorteia-se um valor de distância (d) dentro da amplitude da equidistância D, onde será o início da primeira linha ou o meio da primeira faixa amostral. As demais linhas ou faixas serão distanciadas umas das outras pelo valor da equidistância D. Para redes, divide-se a área total em linhas verticais equidistantes e linhas horizontais equidistantes e sorteia-se as coordenadas do 1º cruzamento das linhas.

d) Sistemática com restrições:

Divide-se a população em estratos ou níveis de amostragem. Na amostragem com estratos, divide-se a população em função de características diferentes que apresenta, separando-a em função das espécies ocorrentes, idades diferentes, etc. Na amostragem em múltiplos níveis, divide-se a população em unidades de primeiro nível, redividindo-se estas em unidades menores de 2º nível, podendo haver mais níveis. Depois de formados os estratos ou níveis, as unidades amostrais são distribuídas de forma sistemática e independente em cada nível ou estrato.

e) Misto – parte aleatória e parte sistemática.

É uma amostragem com restrições realizada em dois ou mais níveis. Pelo menos em um nível a distribuição é aleatória e em pelo menos um outro nível a distribuição é sistemática.

4.1 Probabilidade (p) e Limite de Erro Amostral (E)

Antes de iniciar a amostragem, deve-se estabelecer com que precisão ou certeza se deseja a média da população. Estabelece-se a probabilidade (p) de certeza para a média da população que se deseja; por exemplo: p=0,95, ou em percentagem p=95%. O Limite de Erro Amostral admitido (E) é o erro admitido em função da probabilidade desejada estabelecida e é calculado por E = 2 vezes (1-p) vezes a média.

Por exemplo, se a média=160m³/ha e p=0,95: E = +/- (1-0,95)*160m³/ha E% = 100 * 16m³/ha / 160m³/ha = 10% da média; ou seja, é admitido um erro de 10% da média.

4.2 Estatísticas da amostragem sem restrições

4.2.1 Intensidade amostral

Intensidade Amostral (IA) é representada pela percentagem da área da floresta em estudo que foi amostrada. A IA é calculada por:

$$IA = 100 \, . \, n \, . \, a \, / \, A$$

Onde: IA = Intensidade Amostral em percentagem; n = número de unidades amostrais; a = área da unidade amostral em metros quadrados; A = área da população em metros quadrados.

Como exemplo, considere-se uma plantação florestal com área de 100 hectares, ou 1.000.000 de m², submetida a uma amostragem de 50 unidades amostrais de 400 m² cada uma, compondo uma amostra de 50 x 400 m² = 20000 m², ou 2 hectares; a amostra representa, portanto, uma Intensidade Amostral (IA) de 2% da área da população florestal.

O cálculo da intensidade amostral pode ser realizado alternativamente pela percentagem de unidades amostrais usadas para representar a população (n) e o número potencial de unidades amostrais (N). O número potencial de unidades amostrais (N) é calculado pela divisão da área total da população pela área de uma única unidade amostral. A intensidade amostral

Populações cuja amostra é menor do que 2% de intensidade, são ditas infinitas. Quando a amostragem tem intensidade de 2% ou mais, a população é dita finita. Populações finitas precisam ter suas estatísticas corrigidas para reduzir a tendenciosidade, utilizando-se um fator de correção (FC) multiplicativo calculado pela expressão:

$$FC = \left(\frac{N - n}{N}\right)$$

Onde: FC = fator de correção; n = número de unidades amostrais; N = número potencial de unidades amostrais da população.

4.2.2 Média

As médias amostrais são calculadas pela expressão:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \bar{x}_i}{n}$$

Onde: $\bar{x}$ = média amostral; $\bar{x}_i$ = média da unidade amostral i; n = número de unidades amostrais; i = número de ordem da unidade amostral.

4.2.3 Variância

A variância amostral é calculada por:

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

Onde: s_x^2 = variância amostral; $\bar{x}$ = média amostral; $\bar{x}_i$ = média da unidade amostral i; n = número de unidades amostrais; i = número de ordem da unidade amostral.

4.2.4 Suficiência amostral (n)

A suficiência amostral é definida como o número de unidades amostrais suficientes para representar a população com o erro máximo admitido previamente determinado em relação à média da população. O cálculo é realizado para população infinita sem o fator de correção e para população finita com o fator de correção, como segue:

- Para população infinita

$$n = \frac{t^2_{(\mathrm{p,GL})} . s_x^2}{E^2}$$

- Para população finita

$$n = \frac{N . t^2_{(\mathrm{p,GL})} . s_x^2}{N . E^2 + t^2_{(\mathrm{p,GL})} . s_x^2}$$

Onde: n = número de unidades amostrais suficientes para representar a população; s_x^2 = variância amostral; $\bar{x}$ = média amostral; $\bar{x}_i$ = média da unidade amostral i; n = número de unidades amostrais; E = erro amostral admitido (E% x Média); N = número potencial total de unidades amostrais; t(p,GL) = valor do t de Student para n-1 graus de liberdade (GL) e nível de probabilidade desejado..

4.2.5 Coeficiente de variação

O coeficiente de variação em percentagem da média é calculado pela expressão:

$$cv = \frac{100 . s_x}{\bar{x}}$$

Onde: CV = coeficiente de variação; s_x = desvio padrão; $\bar{x}$ = média amostral.

4.2.6 Variância da média

A Variância da Média é determinada por:

- Para população infinita

$$S_{\bar{x}}^2 = \pm \frac{S_x^2}{n-1}$$

- Para população finita

$$s_{\bar{x}}^2 = \left(\frac{s_x^2}{n-1}\right).\left(\frac{N-n}{N}\right)$$

Onde: $S_{\bar{x}}^2$= variância da média; S_x^2 = variância; n = número de unidades amostrais; N = número potencial de unidades amostrais.

4.2.7 Erro padrão da média

O Erro Padrão da Média é determinado por:

- Para população infinita

$$S_{\bar{x}} = \pm \frac{s_x}{\sqrt{n}}$$

- Para população finita

$$S_{\bar{x}} = \pm \frac{s_x}{\sqrt{n}} \sqrt{\left(\frac{N-n}{N}\right)}$$

Onde: $S_{\bar{x}}$ = erro padrão da média; s_x = desvio padrão; n = número de unidades amostrais; N = número potencial de unidades amostrais.

4.2.8 Erro amostral

O Erro da Amostragem é calculado para valores absolutos e relativos, como segue:

- Erro amostral absoluto (Ea)

$$E_a = \pm\ t_{(p,GL)}.S_{\bar{x}}$$

- Erro amostral relativo (Er)

$$E_r = \pm\ \frac{100.t_{(p,GL)}.S_{\bar{x}}}{\bar{x}}$$

Onde: Ea, Er = erro amostral absoluto e relativo, respectivamente; $S_{\bar{x}}$ = erro padrão da média; GL = n – 1 (graus de liberdade); p = probabilidade de certeza desejada para a média; t(p,GL) = valor do t de Student para n-1 graus de liberdade (GL) e probabilidade desejada.

4.2.9 Intervalo de confiança

$$IC\ [(\bar{x} -\ t_{(p,GL)}.S_{\bar{x}}) \leq \mu \leq (\bar{x} +\ t_{(p,GL)}.S_{\bar{x}})] = p$$

Onde: IC = intervalo de confiança; μ = média da população; p = probabilidade de certeza desejada para a média; GL = graus de liberdade = nº de unidades amostrais - 1; t(p,GL) = valor do t de Student para n-1 graus de liberdade (GL) e probabilidade desejada.

4.2.10 Estimativa mínima de confiança

$$EMC = \bar{x} -\ t_{(p,GL)}.S_{\bar{x}}$$

Onde: EMC = estimativa mínima de confiança; $\bar{x}$ = média amostral; P = Probabilidade desejada; GL = graus de liberdade (nº de unidades amostrais – 1); t(p,GL) = valor do t de Student para n-1 graus de liberdade (GL) e probabilidade desejada.

4.3 Amostragem com restrições

Quando a área florestal é muito grande, ou com diferentes tipologias de florestas, pode haver grande variação, o que poderá implicar em um número muito grande de unidades amostrais para a precisão requerida. Para reduzir a variação entre unidades amostrais, recorre-se à amostragem com divisão em estratos ou divisão em estágios, ao que se denominou aqui de amostragem em múltiplos níveis. A divisão pode ser por unidade administrativa, por idade, por espécie, por qualidade do sítio, em blocos, em estágios, etc;

Áreas muito grandes podem ser divididas em grandes unidades amostrais de 1º nível e estas subdivididas novamente em unidades amostrais menores de 2º nível e estas ainda podem novamente ser subdivididas em unidades menores de 3º nível e assim por diante.

Na amostragem com restrições, há casos em que as unidades de 1º nível possuem tamanhos diferentes, então é necessário realizar os cálculos de médias e variâncias considerando o fator de proporcionalidade (Pj) de cada uma, que é calculado por:

$$Pj = Aj / A$$

Onde: Pj = proporção da área do nível j sobre o total; Aj = área da unidade de 1º nível de ordem j considerada; j = número de ordem da unidade de 1º nível; A = Área total da população, obtida somando-se as áreas de todas as unidades de 1º nível.

No caso de mesmo tamanho das áreas das unidades de 1º nível, a proporção é Pj será igual para todas as unidades de 1º nível.

4.3.1 Amostragem com uma restrição

4.3.1.1 Níveis de divisão da população para amostragem com uma restrição

Considere-se uma área florestal a inventariar como a representada na Figura 22 a seguir:

FIGURA 22 – Área florestal a inventariar.

Dividindo a área da Figura 22 em 9 unidades de 1º nível, representadas na Figura 23, cujo número de ordem é representado pela letra j.

O total de número de unidades de 1º nível da população é representado pela letra m, m=9 neste caso, e o seu número de ordem é j. O número de parcelas amostrais dentro de cada unidade de 1º nível é representado pela letra n e o número de ordem de cada uma é representado pela letra i.

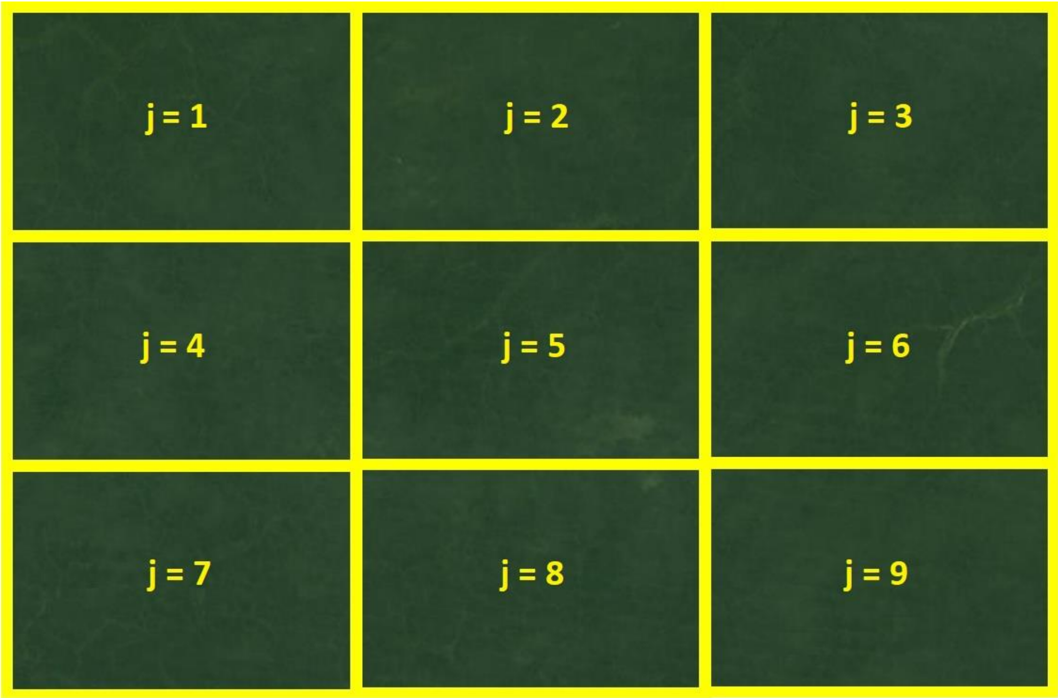


FIGURA 23 – Representação das 9 unidades de 1º nível, onde j é o número de ordem da unidade na amostragem.

4.3.1.2 *Médias das unidades de 1º nível*

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \bar{x}_{ji}}{n_j}$$

Onde: = média da unidade de 1º nível de ordem j; = média da unidade de 2º nível de ordem i; nj = número de unidades de 2º nível na unidade de 1º nível de ordem j; j = número de ordem da unidade de 1º nível; i = número de ordem da unidade de 2º nível.

4.3.1.3 *Média populacional com uma restrição*

$$\bar{\bar{x}} = \sum_{j=1}^{m} P_j\, \bar{x}_j$$

Onde: = média da população total; $\bar{x}_j$ = média da unidade de 1º nível de ordem j; Pj = proporção da área da unidade de 1º nível de ordem j sobre a área total; m = número de unidades de 1º nível; j = número de ordem da unidade de 1º nível.

4.3.1.4 Variância da população

$$s^2 = \sum_{j=1}^{m} P_j \, s_j^2$$

Onde: s² = variância da população; sj² = variância da unidade de 1º nível de ordem j; Pj = proporção da área da unidade de 1º nível de ordem j sobre a área total; m = número de unidades de 1º nível; j = número de ordem da unidade de 1º nível.

4.3.1.5 Suficiência amostral (n)

- População finita

$$\mathrm{n} = \frac{\mathrm{t}^2_{(\mathrm{p,GL})} \sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{m}} \mathrm{P_j.S_j^2}}{\mathrm{E}^2}$$

- População infinita

$$\mathrm{n} = \frac{\mathrm{N.t}^2_{(\mathrm{p,GL})} \sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{m}} \mathrm{S_j^2}}{\mathrm{N.E}^2 + \mathrm{t}^2_{(\mathrm{p,GL})} \sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{m}} \mathrm{P_j.S_j^2}}$$

Onde: sj² = variância da unidade de 1º nível de ordem j; E = erro amostral admitido em relação à média amostral; N = número potencial total de unidades amostrais da população; m = número de unidades de 1º nível; Pj = proporção da área da unidade de 1º nível de ordem j sobre a área total; t(p,GL) = valor do t de Student para n-1 graus de liberdade (GL) e nível de probabilidade (p) desejado.

4.3.1.6 Alocação das UAs

Estando determinada a suficiência amostral (n), a alocação das UA pode ser realizada em cada unidade de 1º nível somente pela proporção de área (Pj), ou pela proporção multiplicada pelo desvio padrão (Pj * sj).

Alocação pela proporção da área de cada UA de 1º nível:

$$n_j = n \; P_j$$

Onde: nj = número de unidades amostrais a alocar na unidade de 1º nível de ordem j; n = nº de total unidades amostrais necessárias no inventário definitivo; Pj = proporção de área da UA de 1º nível de ordem j.

Alocação das unidades amostrais realizada em cada UA de 1º nível pela proporção de área (Pj) e desvio padrão (sj) de cada unidade de 1º nível:

$$n_j = \frac{n\ P_j\ s_j}{s}$$

Onde: nj = número de unidades amostrais a alocar na unidade de 1º nível de ordem j; n = nº de total unidades amostrais necessárias no inventário definitivo; Pj = proporção de área da UA de 1º nível de ordem j; sj = desvio padrão da UA de 1º nível de ordem j s = desvio padrão populacional.

A alocação também pode ser proporcional aos custos de medição, conforme procedimentos descritos por Péllico Netto e Brena (1997).

4.3.1.7 Análise da variância da amostragem com uma restrição

TABELA 3 - Análise da variância da amostragem com uma restrição

Fator de Variação	**Graus de Liberdade**	**Soma de Quadrados**	**Quadrado Médio**	**F**
Entre UAs de 1º nível	m – 1	$\sum_{j=1}^{m} n_j\left(\bar{x}_j - \bar{\bar{x}}\right)^2$	SQe / GLe	QMe / QMd
Dentro das UAs de 1º nível	n – m	$\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n_j}\left(\bar{x}_{ji} - \bar{x}_j\right)^2$	SQd / GLd	-
Total	n – 1	$\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n_j}\left(\bar{x}_{ji} - \bar{\bar{x}}\right)^2$		-

Interpretação da análise da variância:

- Se o valor de F for significativo: existe diferença entre as unidades de 1º nível e a divisão é eficiente, diminuindo o erro amostral;
- Se o valor de F não for significativo: não existe diferença entre as unidades de1º nível e a divisão é desnecessária.

4.3.1.8 Coeficiente de variação

$$CV = \frac{100\ s}{\bar{\bar{x}}}$$

Onde: CV = coeficiente de variação da população; = média da população; s = desvio padrão da população. Estatísticas com restrições (2 níveis)

4.3.1.9 Variância da média populacional

- População infinita

$$s_{\bar{\bar{x}}}^2 = \sum_{j=1}^{m} \frac{P_j^2 . s_j^2}{n_j}$$

- População finita

$$s_{\bar{\bar{x}}}^2 = \sum_{j=1}^{m} \frac{P_j^2 . s_j^2}{n_j} - \sum_{j=1}^{m} \frac{P_j . s_j^2}{N}$$

Onde: $s_{\bar{\bar{x}}}^2$ = variância da média da população; Sj² = variância da unidade de 1º nível de ordem j; Pj = proporção da área da unidade de 1º nível de ordem j sobre a área total; m = número de unidades de 1º nível; nj = número de unidades de 2º nível na unidade de 1º nível de ordem j; N = número potencial de unidades amostrais de toda a população; j = número de ordem da unidade de 1º nível.

4.3.1.10 Erro amostral

$$E_a = \pm\ t_{(p,GL)} . S_{\bar{\bar{x}}} \qquad E_r = \pm\ \frac{100 . t_{(p,GL)} . S_{\bar{\bar{x}}}}{\bar{\bar{x}}}$$

Onde: Ea, Er = erro amostral absoluto e relativo, respectivamente; = média da população; $S_{\bar{\bar{x}}}$ = erro padrão da média da população; GL = graus de liberdade = nº de estratos - 1; p = probabilidade desejada; t(p,GL) = valor do t de Student para n-1 graus de liberdade (GL) e probabilidade desejada.

4.3.1.11 Intervalo de confiança

$$IC\ \left[(\bar{\bar{x}} -\ t_{(p,GL)} . S_{\bar{\bar{x}}}) \leq \mu \leq (\bar{\bar{x}} +\ t_{(p,GL)} . S_{\bar{\bar{x}}})\right] = P$$

Onde: IC = intervalo de confiança; μ = média da população; $S_{\bar{\bar{x}}}$ = erro padrão da média da população; P = 100 (1-p); GL = graus de liberdade = nº de estratos-1; p = probabilidade de erro admitida = LE/2; t(p,GL) = valor do t de Student para n-1 graus de liberdade (GL) e probabilidade de erro admitida.

4.3.1.12 Estimativa mínima de confiança

$$EMC = \bar{\bar{x}} - t_{(p,GL)}\, s_{\bar{\bar{x}}}$$

Onde: EMC = estimativa mínima de confiança; $\bar{\bar{x}}$ = média da população; $s_{\bar{\bar{x}}}$ = erro padrão da média da população; p = probabilidade desejada; GL = graus de liberdade (nº de estratos – 1); t(p,GL) = valor do t de Student para n-1 graus de liberdade (GL) e probabilidade desejada.

4.3.2 Amostragem com duas restrições

4.3.2.1 Níveis de divisão da população para amostragem com duas restrições

Considere-se uma área florestal a inventariar como a representada na Figura 24 a seguir:

FIGURA 24 – Área florestal a inventariar.

Dividindo a área da Figura 24 em 9 unidades de 1º nível, representadas na Figura 25, cujo número de ordem é representado pela letra j.

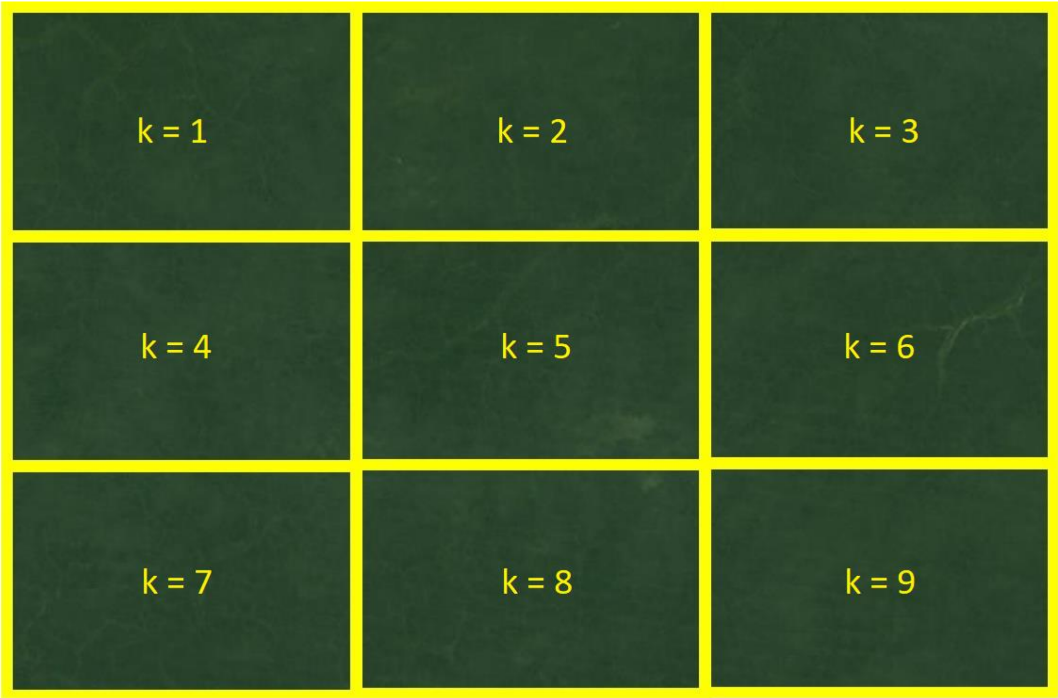


FIGURA 25 – Representação das 9 unidades de 1º nível, onde k é número de ordem da unidade na amostragem.

Redividindo-se as 9 unidades de 1º nível cada uma em outras 16 unidades, obtém-se as unidades de 2º nível, representadas pelo número de ordem j, como na Figura 26.

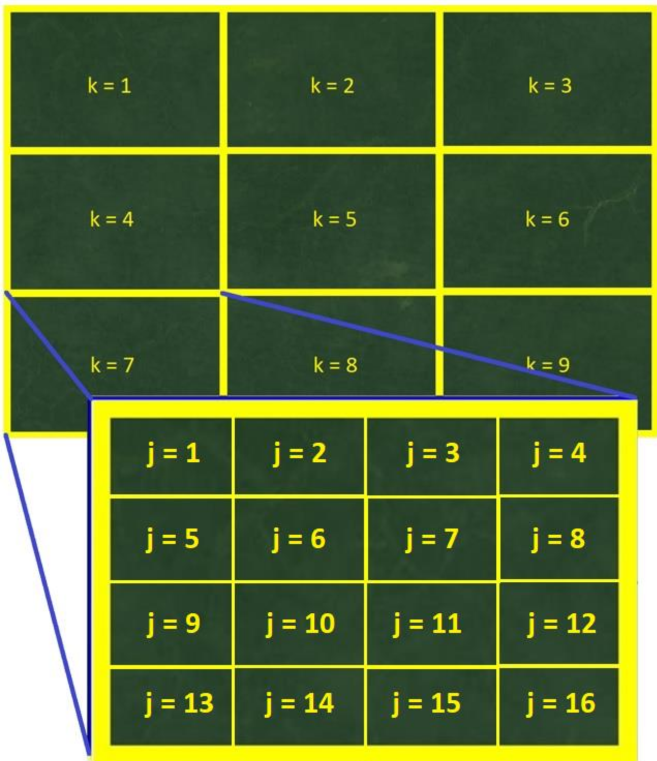


FIGURA 26 – Representação das unidades de 2º nível (j=1 a 16), da unidade de 1º nível de ordem k=7.

O número de unidades de 1º nível de toda a população é representado pela letra u. E, o número de unidades de 2º nível, em cada unidade de 1º nível, é representado pela letra m. O número de parcelas amostrais dentro de cada unidade de 2º nível é representado pela letra n e o número de ordem de cada uma é representado pela letra i.

4.3.2.2 Média populacional

$$\bar{\bar{x}} = \sum_{k=1}^{u} P_k \, \bar{x}_k$$

Onde: = média da população total; = média da unidade de 1º nível de ordem k; Pk = proporção da área da unidade de 1º nível de ordem k sobre a área total; u = número de unidades de 1º nível; k = número de ordem da unidade de 1º nível.

4.3.2.3 Média das unidades de 1º nível:

$$\bar{x}_k = \sum_{j=1}^{m} P_j \, \bar{x}_j$$

Onde: $\bar{x}_k$ = média da UA de 1º nível de ordem k; $\bar{x}_j$ = média da UA de 2º nível de ordem j, dentro da UA de 1º nível de ordem k; Pj = proporção da área da UA de 2º nível de ordem j, dentro da UA de 1º nível de ordem k; m = número de UAs de 2º nível dentro da UA de 1º nível de ordem k; k = número de ordem da unidade de 1º nível; j = número de ordem da unidade de 2º nível dentro da UA de 1º nível de ordem k.

4.3.2.4 Média das unidades de 2º nível:

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^{n} \bar{x}_{ji}}{n_j}$$

Onde: $\bar{x}_j$= média da UA de 2º nível de ordem j; $\bar{x}_{ji}$ = média da UA de 3º nível de ordem i, dentro da UA de 2º nível de ordem j; nj = número de parcelas da unidade de 2º nível de ordem j; i = número de ordem da UA de 3º nível, dentro da UA de 2º nível de ordem j; j = número de ordem da UA de 2º nível.

4.3.2.5 Alocação das UAs

4.3.2.5.1 Alocação pela proporção da área

A alocação das unidades amostrais é realizada em cada UA de 1º nível pela proporção de área (Pj) de cada UA de 1º nível:

$$nk = P_k \cdot n$$

Onde: n_k = número de unidades amostrais a alocar na unidade de 1º nível de ordem k; n = nº de total unidades amostrais necessárias no inventário definitivo; P_k = proporção de área da UA de 1º nível de ordem k.

4.3.2.5.2 Alocação pela proporção da área e desvio padrão

A alocação das unidades amostrais é realizada em cada UA de 1º nível pela proporção de área (Pj) e do desvio padrão (s_j) de cada unidade de 1º nível:

$$n_k = \frac{n \; P_k \; s_k}{S}$$

Onde: n_k = número de unidades amostrais a alocar na unidade de 1º nível de ordem k; n = nº de total unidades amostrais necessárias no inventário definitivo; P_k = proporção de área da UA de 1º nível de ordem k; s_k = desvio padrão da UA de 1º nível de ordem k; S = desvio padrão populacional.

4.3.2.6 Análise da variância da amostragem com duas restrições

TABELA 4 - Análise da variância da amostragem com duas restrições

Fator de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F
Entre UAs de 1º nível	u –1	$SQe = \sum_{k=1}^{u} n_j \, mk \, (\bar{x}_k - \bar{\bar{x}})^2$	$QMe = \frac{SQe}{GLe}$	$\frac{QMe}{QMc}$
Entre UAs de 2º nível dentro das UAs de 1º nível	u ((m/u) –1)	$SQc = \sum_{k=1}^{u}\sum_{j=1}^{m} n_j(\bar{x}_{kj} - \bar{x}_k)^2$	$QMc = \frac{SQc}{GLc}$	$\frac{QMc}{QMp}$
Entre UAs de 3º nível dentro das UAs de 2º nível	u (m/u) (n/m–1)	$SQp = \sum_{k=1}^{u}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}(\bar{x}_{kji} - \bar{x}_{kj})^2$	$QMp = \frac{SQp}{GLp}$	–
Total	u (m/u) (n/m) –1	$SQt = \sum_{k=1}^{u}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}(\bar{x}_{kji} - \bar{\bar{x}})^2$	$QMt = \frac{SQt}{GLt}$	–

Onde: u = número total de UAs de 1º nível (primárias); m = número total de UAs de 2º nível (secundárias); n = número total de UAs de 3º nível (terciárias); mk = número de UAs de 2º nível, dentro da UA de 1º nível de ordem k; n_j = número de UAs de 3º nível, dentro da UA de 2º nível de ordem j; $\bar{\bar{x}}$ = média geral da população; $\bar{x}_k$= média da

UA de 1º nível de ordem k; $\bar{x}_{kj}$ = média da UA de 2º nível de ordem j dentro da UA de 1º nível de ordem k; $\bar{x}_{kji}$ = média da UA de 3º nível de ordem i dentro da UA de 2º nível de ordem j, dentro da UA de 1º nível de ordem k; FV = fator de variação; GLe, GLc, GLp, GLt = graus de liberdade das UAs de 1º, de 2º, de 3º nível e total, respectivamente; SQe, SQc, SQp, SQt = Soma de quadrados das UAs de 1º, das de 2º, das de 3º nível e total, respectivamente; QMe, QMc, QMp , QMt = quadrado médio das UAs de 1º, de 2º, de 3º nível e total respectivamente; F = Valor do F de Snedecor.

4.3.2.6.1 Interpretação da análise da variância

- Se o valor de F entre UAs de 1º nível for significativo, há diferença entre as mesmas e a divisão pelas UAs de 1º nível foi eficiente, reduzindo a variância; caso contrário, a divisão é desnecessária;
- Se o valor de F entre UAs de 2º nível for significativo, há diferença entre as mesmas e a divisão em UAs de 2º nível dentro das UAs de 1º nível reduz a variância; caso contrário, a amostra pode ser considerada como aleatória simples, desprezando-se a divisão em 2º nível dentro das de 1º nível.

4.3.2.7 Coeficiente de variação

$$CV = \frac{100\,s}{\bar{\bar{x}}}$$

Onde: CV = coeficiente de variação da população; $\bar{\bar{x}}$ = média da população; s = desvio padrão da população.

4.3.2.8 Variância da média populacional

- População infinita

$$s_{\bar{\bar{x}}}^2 = \sum_{k=1}^{u} \frac{P_k^2 . s_k^2}{m_k}$$

- População finita

$$s_{\bar{\bar{x}}}^2 = \sum_{k=1}^{u} \frac{P_k^2 . s_k^2}{m_k} - \sum_{k=1}^{u} \frac{P_k . s_k^2}{N}$$

Onde: = variância da média da população; S_k^2 = variância da UA de 1º nível de ordem j; P_k = proporção da área da UA de 1º nível de ordem k sobre a área total; u = número de UAs de 1º nível; m_k = número de UAs de 2º nível na unidade de 1º nível de ordem k; N = número potencial de unidades amostrais de toda a população; k = número de ordem da unidade de 1º nível.

4.3.2.9 Erro amostral

$$E_a = \pm\, t_{(p,GL)}.S_{\bar{\bar{x}}} \qquad E_r = \pm\, \frac{100.t_{(p,GL)}.S_{\bar{\bar{x}}}}{\bar{\bar{x}}}$$

Onde: Ea, Er = erro amostral absoluto e relativo, respectivamente; $\bar{\bar{x}}$ = média da população; $S_{\bar{\bar{x}}}$ = erro padrão da média da população; GL = graus de liberdade = nº de UAs de 1º nível menos 1 (u – 1); p = probabilidade desejada (usualmente 0,95); t(p,GL) = valor do t de Student para u-1 graus de liberdade (GL) e probabilidade desejada.

4.3.2.10 Intervalo de confiança

O intervalo de confiança é calculado por:

$$IC\ [(\bar{\bar{x}} - t_{(p,GL)}.S_{\bar{\bar{x}}}) \leq \mu \leq (\bar{\bar{x}} + t_{(p,GL)}.S_{\bar{\bar{x}}})] = P$$

Onde: IC = intervalo de confiança; μ = média da população; $S_{\bar{\bar{x}}}$ = erro padrão da média da população; P = probabilidade, em geral é 95%; GL = graus de liberdade = nº de estratos - 1; p = probabilidade de erro admitida = LE/2; t(p,GL) = valor do t de Student para u-1 graus de liberdade (GL) e probabilidade de erro admitida.

4.3.2.11 Estimativa mínima de confiança

É representada pelo limite inferior da média, por:

$$EMC = \bar{\bar{x}} - t_{(p,GL)}\ s_{\bar{\bar{x}}}$$

Onde: EMC = estimativa mínima de confiança; $\bar{\bar{x}}$ = média da população; $s_{\bar{\bar{x}}}$ = erro padrão da média da população; p = probabilidade desejada; GL = graus de liberdade (nº de unidades de 1º nível – 1); t(p,GL) = valor do t de Student para u-1 graus de liberdade (GL) e probabilidade desejada.

5 PROCESSOS DE AMOSTRAGEM

Caracterizam-se pela estrutura amostral, ou seja, pela combinação do método de amostragem com o sistema de amostragem na estrutura da amostragem.

Os principais processos amostrais são listados a seguir e descritos nos tópicos 5.1 a 5.5:

- AAS – Amostragem aleatória simples;
- AAE – Amostragem aleatória estratificada;
- AS – Amostragem sistemática:
    - Em Linhas;
    - Em Faixas;
    - Em Redes;
    - Com múltiplos inícios aleatórios;
- AC - Amostragem em conglomerados;
- AMS - Amostragem em múltiplos estágios.

Usualmente, inicia-se um inventário

5.1 Amostragem Aleatória Simples (AAS)

É o método básico de seleção probabilística. Todas as UAs tem a mesma chance de serem selecionadas. A área florestal total é dividida em N Unidades Potenciais iguais =na forma e tamanho desejado para a Unidade Amostral e são selecionadas aleatoriamente n unidades para compor a amostra.

As estatísticas utilizadas com a amostragem aleatória simples são as dos sistemas de amostragem sem restrições descritas no Capítulo 4.

A distribuição das unidades amostrais pode ser pelo método da ordenação ou pelo método da linha base.

Há principalmente dois métodos para aleatorização das unidades amostrais na área a inventariar: ordenação e linha base.

- Exemplo do método da ordenação (Figura 27)
    - Divide-se a área total em quadrados ou retângulos iguais a área da UA, que formarão as unidades potenciais (N);

- Ordena-se as unidades potenciais de 1 a N;
- Deixa-se de fora as unidades sobre a bordadura (aqui é >10 m);
- Sorteia-se n Unidades Amostrais (UA) dentre as N unidades potenciais.
- No exemplo da próxima lâmina, há 346 unidades potenciais que não estão sobre a bordadura;
- A aleatorização pode ser realizada no Excel, utilizando-se a função =Aleatórioentre(1;346);
- No inventário piloto foram sorteadas as 7 unidades amostrais a seguir: 286, 230, 14, 80, 102, 6, 48, 191, 313 e 23.

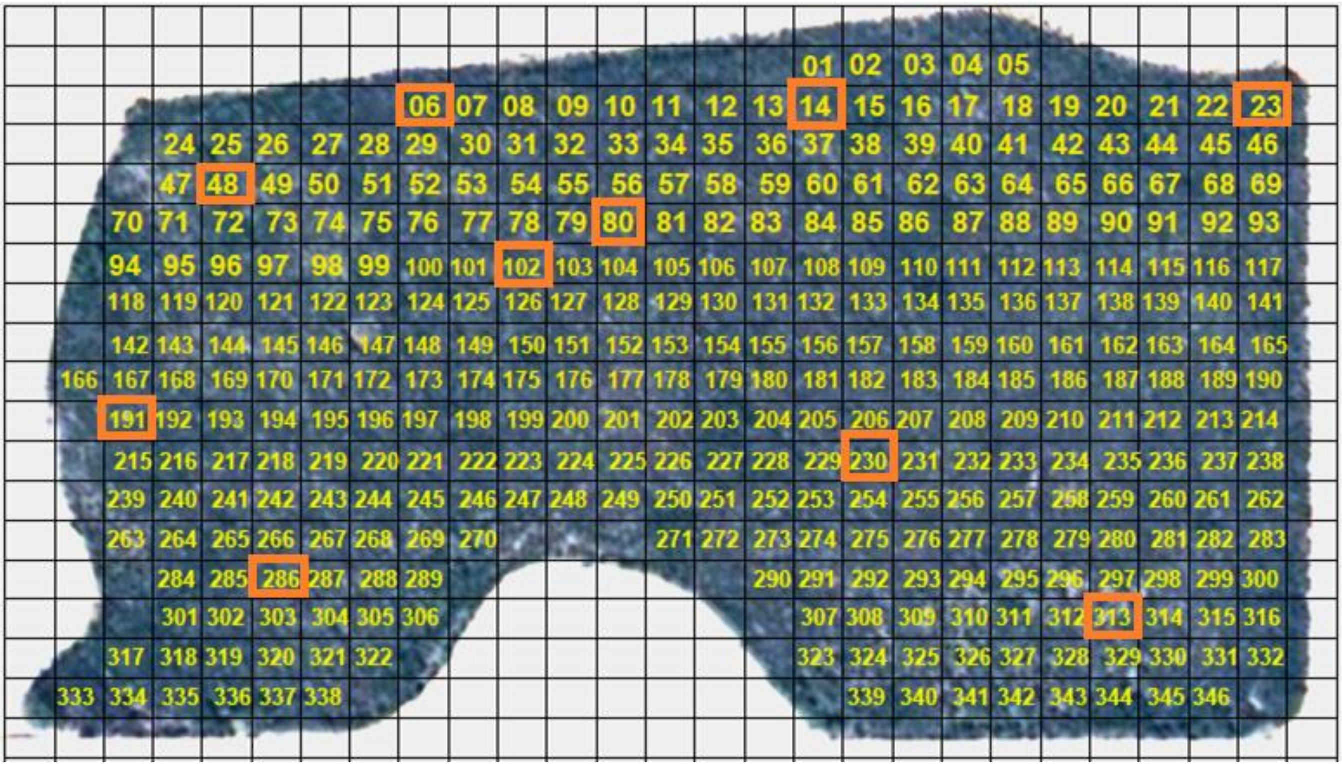


FIGURA 27 – Divisão da área florestal em parcelas N potenciais para a aleatorização das unidades amostrais.

- Método de distâncias a partir de uma linha base (Figura 28)
  - Traça-se uma linha base atravessando toda a área a inventariar;
  - Mede-se o comprimento da linha base sobre a área a inventariar;
  - Desconta-se do comprimento da linha base a bordadura de ambos os lados; diminui-se ainda a dimensão da UA no sentido da linha base;
  - O ponto de partida na linha base será igual à bordadura mais a dimensão da UA (10m + 25m = 22,5m);
  - No Exemplo da, a linha base tem 705m

- (705 – 2x10m da bordadura – 25m da UA = 660),
- Sorteia-se a distância a percorrer até do ponto de partida ao ponto de acesso para a UA [=Aleatórioentre(22,5;660) – deu 450m neste exemplo];
- Sorteia-se para qual lado da linha será locada a UA (direita);
- Mede-se a distância do ponto de acesso na linha base até a bordadura da floresta (160 m);
- Desconta-se a ½ da largura da UA (10m) e a bordadura de 10 m, restando 140m;
- Sorteia-se a distância do ponto de acesso na linha base a partir da ½ da largura da UA (10m) até o centro da UA, como segue: [=Aleatórioentre(10;140) – 85m].

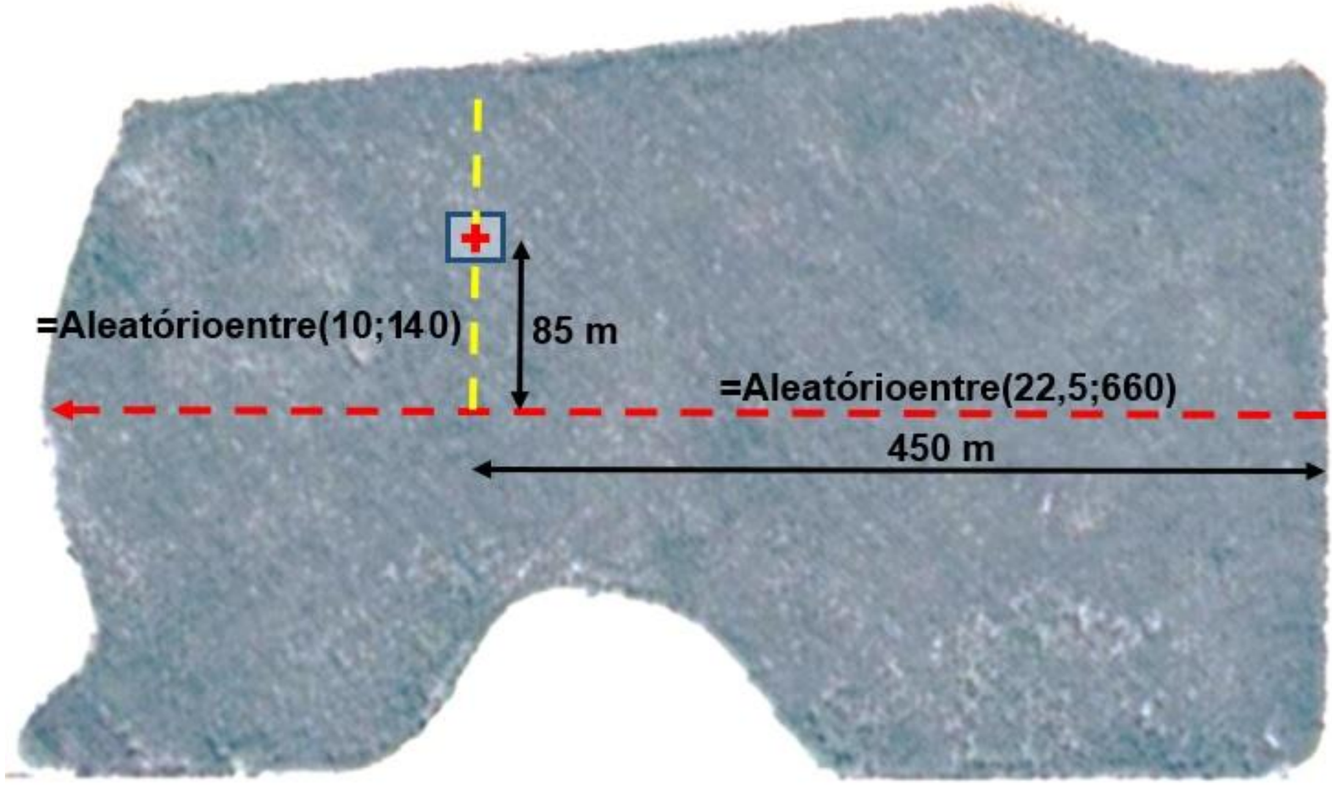


FIGURA 28 - Aleatorização das unidades amostrais pelo método da linha base.

5.1.1 Exemplo de Amostragem Aleatória Simples

Supondo-se que a área do povoamento florestal representado na Figura 27 possua 18 hectares e tendo-se decidido amostrar 10 parcelas no inventário piloto, cujos volumes por hectare por parcela são apresentados na Tabela 5 a seguir.

TABELA 5 – Volume por parcela, média e variância do inventário piloto

Parcela	Volume (m^3/ha)
6	154,0
14	226,0
23	208,0
48	219,0
80	183,0
102	275,0
191	287,0
230	161,0
286	143,0
313	194,0
Média	205,0
Variância	2361,8

O limite de erro amostral E%) admitido no inventário sendo de 10% da média, para uma probabilidade de 95% de confiança para a média; e, em termos absolutos o erro amostral (E) sendo dado por:

$$E = E\% \,.\, Média = 10\% \,.\, 205{,}0 \; m^3/ha = 20{,}5 \; m^3/ha$$

Considerando:

- Área da floresta = 18,0 ha;
- Área das parcelas = 500 m^2;
- N potencial = 360 parcelas;
- Intensidade amostral = 2,8% = população finita;
- Graus de Liberdade (GL): 10 parcelas – 1 = 9 graus de liberdade;
- Valor de $t_{(0,95;9)}$ = 1,8331.

Utilizando-se a equação para população finita para determinar o número de unidades amostrais suficientes para a probabilidade requerida, tem-se:

$$n = N \,.\, t^2 \,.\, S^2 / (N \,.\, Ea^2 + t^2 \,.\, S^2)$$

$$n = 360 \,.\, 1{,}8331^2 \,.\, 2361{,}8 / (360 \,.\, 21{,}66^2 + 1{,}8331^2 \,.\, 2361{,}8) = 17{,}9$$

Resulta num número de unidades amostrais de n = 17,9, (Tabela 6) que deve ser aproximado sempre para mais, resultando em 18 unidades amostrais. Agora, deve-se encontrar o valor de t para GL=18-1=17 graus de liberdade e repetir o cálculo de n com o novo valor de $t_{(p;GL)}$ até que o valor estabilize. O resultado para as aproximações até estabilizar o valor do número de unidades necessário (n) no inventário definitivo é apresentado na Tabela 6, para este caso.

TABELA 6 – Determinação do número de unidades amostrais (n) suficiente para representar a população com 95% de probabilidade de confiança para a média.

Aproximação	Graus de liberdade	$t_{(p;GL)}$	n suficiente
1ª	9	1,8331	17,9
2ª	17	1,7396	16,2
3ª	16	1,7459	16,4
4ª	16	1,7459	16,4
Nº de unidades amostrais a inventariar =			17

Os estoques de madeira por unidade amostral no inventário definitivo são apresentados na Tabela 7.

TABELA 7 – Volume médio por parcela no inventário definitivo

Parcela	Volume ($\bar{x}_i$) (m³/ha)	$(\bar{x}_i - \bar{x})^2$
6	154,0	4576,1
14	226,0	18,9
23	208,0	186,2
48	219,0	7,0
80	183,0	1493,6
102	275,0	2846,5
191	287,0	4271,0
230	161,0	3678,1
286	143,0	6185,4
313	194,0	764,4
24	263,0	1710,1
37	257,0	1249,8
56	225,0	11,2
138	228,0	40,4
244	275,0	2846,5
253	195,0	710,1
274	275,0	2846,5
Soma	3768,0	33441,9
Média ($\bar{x}$)	221,6	-

Os resultados estatísticos da amostragem são apresentados a seguir.

5.1.1.1 Intensidade amostral (IA)

Intensidade Amostral (IA) é representada pela percentagem da área da floresta em estudo que foi amostrada, sendo calculada por:

$$IA = 100 \,.\, n \,.\, a / A$$

$$IA = 100.17.500m^2 / (18ha.10000) = 4{,}72\%$$

Onde: IA = Intensidade Amostral em percentagem; n = número de unidades amostrais; a = área da unidade amostral em metros quadrados; A = área da população em metros quadrados.

A amostragem tem intensidade de 2% ou mais, a população é finita. Populações finitas precisam ter suas estatísticas corrigidas para reduzir a tendenciosidade, utilizando-se um fator de correção (FC) multiplicativo calculado pela expressão:

$$FC = \left(\frac{N-n}{N}\right)$$

$$FC = (360-17) / 360 = 0{,}952777778$$

Onde: FC = fator de correção; n = número de unidades amostrais; N = número potencial de unidades amostrais da população.

5.1.1.2 Média amostral ($\bar{x}$)

A média amostral é calculada pela expressão:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \bar{x}_i}{n}$$

$$\bar{x} = 3768 / 17 = 221{,}6 \; m^3/ha$$

Onde: $\bar{x}$ = média amostral; $\bar{x}_i$ = média da unidade amostral i; n = número de unidades amostrais; i = número de ordem da unidade amostral.

5.1.1.3 Variância (S_x^2)

A variância amostral é calculada por:

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

$$S_x^2 = 33441{,}9 / (17-1) = 2090{,}12 \; (m^3/ha)^2$$

Onde: s_x^2 = variância amostral; $\bar{x}$ = média amostral; $\bar{x}_i$ = média da unidade amostral i; n = número de unidades amostrais; i = número de ordem da unidade amostral.

5.1.1.4 Desvio Padrão (S_x)

É calculado como a raiz quadrada da variância, por:

$$S_x = \sqrt{S_x^2}$$

$$S_x = \sqrt{2090,12\ (m^3/ha)^2} = 45,7\ m^3/ha$$

Onde: S_x = Desvio Padrão em m³/ha; S_x^2 = Variância amostral em (m³/ha)².

5.1.1.5 Coeficiente de variação (CV)

O coeficiente de variação em percentagem da média é calculado pela expressão:

$$cv = \frac{100.s_x}{\bar{x}}$$

$$CV = 100.\ 45,7\ m^3/ha\ /\ 221,6\ m^3/ha = 20,6\%$$

Onde: CV = coeficiente de variação; s_x = desvio padrão; $\bar{x}$ = média amostral.

5.1.1.6 Variância da média ($s_{\bar{x}}^2$)

A Variância da Média é determinada por:

$$s_{\bar{x}}^2 = \left(\frac{s_x^2}{n-1}\right).\left(\frac{N-n}{N}\right)$$

$$S_{\bar{x}}^2 = (2090,12\ (m^3/ha)^2/(17-1)).((360-17)/360) = 117,1 (m^3/ha)^2$$

Onde: $S_{\bar{x}}^2$= variância da média; S_x^2 = variância; n = número de unidades amostrais; N = número potencial de unidades amostrais.

5.1.1.7 Erro padrão da média ($S_{\bar{x}}$)

O Erro Padrão da Média é determinado pela raiz quadrada da variância da média:

$$S_{\bar{x}} = \pm\sqrt{s_{\bar{x}}^2}$$

$$S_{\bar{x}} = \pm\sqrt{117,1\ (m^3/ha)^2} = \pm 10,8\ m^3/ha$$

Onde: $S_{\bar{x}}$ = erro padrão da média; $S_{\bar{x}}^2$= variância da média.

5.1.1.8 Erro amostral

O Erro da Amostragem é calculado para valores absolutos e relativos, como segue:

- Erro amostral absoluto (Ea)

$$E_a = \pm\ t_{(p,GL)}.S_{\bar{x}}$$

Sendo t(0,95;17-1)= 1,7459

Ea = ± 1,7459.10,8 m³/ha = ±18,9 m³/ha

- Erro amostral relativo (Er)

$$E_r = \pm\ \frac{100.\,t_{(p,GL)}.S_{\bar{x}}}{\bar{x}}$$

*Er = ± 100 * 18,9 m³/ha / 221,6 m³/ha = ± 8,5%*

Onde: Ea, Er = erro amostral absoluto e relativo, respetivamente; $S_{\bar{x}}$ = erro padrão da média; GL = n – 1 (graus de liberdade); p = probabilidade de certeza desejada para a média; $t_{(p,GL)}$ = valor do t de Student para n-1 graus de liberdade (GL) e probabilidade desejada.

5.1.1.9 Intervalo de confiança (IC)

$$IC\ [(\bar{x} -\ t_{(p,GL)}.S_{\bar{x}}) \leq \mu \leq (\bar{x} +\ t_{(p,GL)}.S_{\bar{x}})] = p$$

IC [202,7 m³/ha ≤ μ ≤ 240,5 m³/ha] = 95%

Onde: IC = intervalo de confiança; μ = média da população; p = probabilidade de certeza desejada para a média; GL = graus de liberdade = nº de unidades amostrais - 1; $t_{(p,GL)}$ = valor do t de Student para n-1 graus de liberdade (GL) e probabilidade desejada.

5.1.1.10 Estimativa mínima de confiança (EMC)

$$EMC = \bar{x} -\ t_{(p,GL)}.S_{\bar{x}}$$

EMC = 221,6 m³/ha - 18,9 m³/ha = 202,7 m³/ha

Onde: EMC = estimativa mínima de confiança; $\bar{x}$ = média amostral; P = Probabilidade desejada; GL = graus de liberdade (nº de unidades amostrais – 1); t(p,GL) = valor do t de Student para n-1 graus de liberdade (GL) e probabilidade desejada.

5.2 Amostragem Aleatória Estratificada (AAE)

A amostragem aleatória estratificada é o método de amostragem em que a área a inventariar é dividida horizontalmente em função da idade, sítio, espécie, ou fisionomia de cada subdivisão denominada de estrato horizontal da vegetação.

Seu uso é recomendado sempre que a floresta a inventariar apresenta conjuntos de povoamentos de diferentes tipologias (estratos) definidas por idades diferentes, sítios diferentes, espécies diferentes, ou diferentes fisionomias.

As subdivisões ou talhões que apresentam as mesmas características passam a representar uma classe e podem ser tratados em conjunto, compondo um só estrato;

A estratificação pode ser simplesmente administrativa. O conjunto de estratos compõe a floresta objeto do inventário. A vantagem sobre a AAS é que a AAE permite obter informações independentes para cada estrato e o erro amostral estratificado geralmente é menor para uma mesma intensidade amostral em função da própria estratificação, exigindo um número menor de unidades amostrais para uma mesma precisão.

A amostragem aleatória estratificada se utiliza das equações para amostragem com restrições, descritas no Capítulo 4.

Deve-se primeiro dividir a população em estratos e sortear as unidades amostrais do inventário piloto em cada estrato e obter a média e variância preliminares com a finalidade de calcular a suficiência amostral do inventário definitivo.

5.2.1 Exemplo de Amostragem Aleatória Estratificada

5.2.1.1 Enunciado

Suponha-se que temos duas áreas com idades diferentes e estratificamos a população por estas duas idades.

A área a inventariar trata-se de uma floresta de *Pinus taeda* com 34,9 ha no total, sendo 13,9 ha com 35 anos e 21,0 ha com 25 anos, denominados de estratos 1 e 2, respectivamente.

No inventário piloto decidiu-se medir 10 unidades amostrais (UA), sendo 4 no estrato 1 e 6 no estrato 2, de acordo com a proporção de área de cada estrato. O número potencial de unidades amostrais da população é de 34,9 ha / 0,05 ha = 698 unidades potenciais. A

Intensidade Amostral (IA) foi calculada em 1,4% (=100.10/698), considerando-se a população infinita nesta fase.

Considere-se as informações relacionadas a seguir:

- Espécie plantada: *Pinus taeda*;
- Área total do povoamento florestal: 34,92 ha;
- Área do estrato 1 com 35 anos de idade: 13,90 ha;
- Área do estrato 2 com 25 anos de idade: 21,02 ha;
- Área da unidade amostral (UA): 500 m²;
- Número potencial de parcelas da população: 698,4 unidades potenciais;
- Número potencial de parcelas do estrato 1: 278 unidades potenciais;
- Número potencial de parcelas do estrato 2: 420,4 unidades potenciais;
- Proporção de área do estrato 1: 0,398052692;
- Proporção de área do estrato 2: 0,601947308;
- Equação de volume: $v = b0 + b1 * d^2h$;
- Probabilidade de confiança para a média: 95%.

Os resultados do inventário piloto são apresentados na Tabela 8 com médias e variâncias.

TABELA 8 - Resultados do inventário piloto com determinação de médias e variâncias

Estrato (j)	UA (i)	d (cm)	h (m)	v (m³)	V = Xi (m³/ha)	Xj (m³/ha)	Sj² (m³/ha)²	nj	Aj (ha)	Pj	X (m³/ha)	S² (m³/ha)²
1	1	36,76	31,42	1,79	753,22							
1	2	42,38	34,59	2,56	819,51	735,53	4545,42	4	13,90	0,398		
1	3	41,15	31,36	2,20	661,22							
1	4	36,68	29,95	1,69	708,19							
2	1	30,46	27,63	1,10	507,04						649,89	16505,40
2	2	30,00	26,17	1,01	586,08							
2	3	30,39	27,26	1,07	365,12	593,25	24414,23	6	21,02	0,602		
2	4	37,21	28,68	1,64	655,53							
2	5	36,04	29,26	1,61	610,91							
2	6	29,34	26,31	0,99	834,81							
Total	10								34,92			

Onde: UA = número da unidade amostral; d = diâmetro médio da UA; h = altura média da UA; v = volume médio individual da UA; V = volume por hectare; Xj = média volumétrica do estrato j; Sj² = variância do estrato j; nj = número de unidades amostrais do estrato j; Aj = área do estrato j; Pj = proporção de área do estrato j; X = volume médio estratificado da população por hectare; S² = variância estratificada da população.

Sendo a probabilidade de confiança para a média de 95%, o erro amostral relativo admitido é de (100%-95%) = 10% e o erro amostral absoluto admitido de 64,989 m³/ha. Na sequência, determinou-se a suficiência amostral (n) para o inventário definitivo apresentada na Tabela 9, utilizando-se a equação para populações infinitas, como segue:

$$n = t^2 \cdot S^2 / E^2,$$

que em 1ª aproximação (Tabela 9) resultou em:

$$n = 1{,}8331 \cdot 16505{,}40(m^3/ha)^2 / 64{,}989 m^3/ha = 13{,}38$$

Onde: $t_{(p;GL)}$ = t de Student para uma probabilidade (p) de 95% e 9 graus de liberdade (GL); S^2 = variância estratificada da população; E = erro amostral absoluto admitido.

O cálculo da suficiência amostral foi refeito com cada número de graus de liberdade gerado, até que n estabilizou em 13 unidades amostrais necessárias para o inventário definitivo.

TABELA 9 – Determinação da suficiência amostral para o inventário definitivo

Aproximação	Graus de liberdade	$t_{(p;GL)}$	n suficiente
1ª	9	1,8331	13,38
2ª	13	1,7709	12,48
3ª	12	1,7823	12,64
4ª	12	1,7823	12,64
Nº de unidades amostrais a inventariar =			13

A alocação do número de unidades necessárias por estrato (nj) foi realizada proporcionalmente à área de cada um (nj = Pj . n), considerando a necessidade de 13 parcelas para toda a floresta, conforme segue:

- n1 = P1 . n = 0,398 . 13 = 5,17; aproximou-se para mais, resultando em 6 parcelas;
- n2 = P2 . n = 0,602 . 13 = 7,83; aproximou-se para mais, resultando em 8 parcelas;
- Somando-se n1 e n2, tem-se um total de **14** unidades amostrais necessárias para o inventário definitivo.

A intensidade amostral do inventário definitivo foi calculada como:

IA = 100 . 14 / 698 = 2%, ou seja, a população é considerada finita nesta fase e as estatísticas amostrais têm de ser calculadas com as equações correspondentes para população finita. O Fator de Correção (FC) é definido por:

$$FC = (N\text{-}n) / N$$

$$FC = (698\text{-}14)/698 = 0{,}97994$$

Onde: FC = Fator de Correção; N = número potencias de parcelas da população; n = número de parcelas amostrais.

Os resultados do inventário definitivo são apresentados na Tabela 10 e, na sequência, as estatísticas amostrais.

TABELA 10 – Resultados do inventário definitivo da amostragem estratificada

Estrato (j)	UA (i)	di (cm)	hi (m)	vi (m³)	Vi (m³/ha)	Xj	Sj²	nj	Área (ha)	Pj	X	S²	Somas de quadrados			Pj² . Sj² / nj	Pj . Sj² / N
													Entre	Dentro	Total		
1	1	36,76	31,42	1,7934	753,22	747,78	6082,05	6	13,9	0,3981	688,7	19512,4	20897,3	29,6	4154,4	160,6	3,5
	2	42,38	34,59	2,5610	819,51									5145,8	17095,6		
	3	41,15	31,36	2,2041	661,22									7493,0	758,8		
	4	36,68	29,95	1,6862	708,19									1567,7	377,2		
	5	41,78	29,79	2,1429	685,74									3848,6	9,1		
	6	35,84	32,05	1,7176	858,80									12325,5	28912,3		
2	1	30,46	27,63	1,1023	507,04	649,74	28393,62	8	21,0	0,6019			12184,1	20363,2	33024,2	1286,0	24,5
	2	30,00	26,17	1,0105	586,08									4052,1	10543,6		
	3	30,39	27,26	1,0739	365,12									81006,8	104744,6		
	4	37,21	28,68	1,6388	655,53									33,6	1104,4		
	5	36,04	29,26	1,6077	610,91									1507,5	6061,0		
	6	29,34	26,31	0,9938	834,81									34253,4	21330,9		
	7	32,76	31,18	1,4001	812,06									26347,5	15201,2		
	8	34,08	30,33	1,4756	826,35									31191,2	18929,5		
2	14	35,15	29,62	1,58	688,76			14	34,9	1,0000			33081,3	229165,6	262246,9	1446,6	27,9

Onde: UA = número da unidade amostral; d = diâmetro médio da UA; h = altura média da UA; v = volume médio individual da UA; V = volume por hectare; Xj = média volumétrica do estrato j; Sj² = variância do estrato j; nj = número de unidades amostrais do estrato j; Aj = área do estrato j; Pj = proporção de área do estrato j; X = volume médio estratificado da população por hectare; S² = variância estratificada da população.

A verificação da efetividade da estratificação foi realizada por meio da análise de variância apresentada na Tabela 11.

TABELA 11 - Análise da variância da amostragem estratificada

Fator de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	PR>F
Entre estratos	1	33081,3	33081,3	1,73	0,12357 (n.s.)
Dentro dos estratos	12	229165,6	19097,1	-	-
Total	13	262246,9	-	-	-

(n.s.) Não houve diferença significativa entre os estratos (PR>F=0,12), portanto a amostragem estratificada estatisticamente não apresentou redução do erro amostral para uma mesma intensidade de amostragem.

- Média estratificada da população ($\bar{\bar{X}}$)

$$\bar{\bar{X}} = 649{,}74 \text{ m}^3/\text{ha}$$

- Variância da média estratificada da população ($S^2_{\bar{\bar{x}}}$)

$$(S^2_{\bar{\bar{x}}}) = 28.393{,}62 \ (\text{m}^3/\text{ha})^2$$

- Intensidade amostral (IA)

$$IA = 100 \times 14UA \times 500m^2 / 10000 \, . \, 34{,}92 \text{ ha} = 2\%$$

Portanto, a população é considerada finita nesta fase.

- Coeficiente de variação (CV) =

$$CV = 20{,}3\%$$

- Variância da média estratificada ($S^2_{\bar{\bar{x}}}$)

$$S^2_{\bar{\bar{x}}} = 1418{,}7 \ (\text{m}^3/\text{ha})^2$$

- Erro padrão da média estratificada ($S_{\bar{\bar{x}}}$)

$$S_{\bar{\bar{x}}} = 37{,}7 \text{ m}^3/\text{ha}$$

- Erro amostral (E)

- Erro amostral absoluto: Ea = 66,7 m³/ha

- Erro amostral relativo: Er = 9,7%

- Intervalo de confiança (IC)

$$IC = [\ 622{,}1 \text{ m}^3/\text{ha} \leq \text{média} \leq 755{,}5 \text{ m}^3/\text{ha}] = 95\%$$

- Estimativa mínima de confiança (EMC)

- Para a média: EMC = 622,1 m³/ha

- Para a população: EMC = 21.722 m³

5.3 Amostragem Sistemática (AS)

É a amostragem com distribuição das UAs a distâncias regulares umas das outras sobre toda a área a inventariar. Geralmente, resulta em maior precisão da média quando se compara com a amostragem aleatória, pois abrange uniformemente toda a população. Não existe um método para se determinar a variância amostral com exatidão, somente se obtém uma aproximação para a variância. A distribuição das unidades amostrais é realizada conforme um esquema geométrico regular, podendo ser de duas formas:

– Com 1 só início aleatório;

– Com múltiplos inícios aleatórios.

5.3.1 Amostragem sistemática com um só início aleatório

Neste tipo de amostragem, somente a posição da primeira unidade é aleatorizada. A estimativa da variância não é precisa, devido à própria sistematização. A amostragem com um só início aleatório pode levar à recorrência de características das unidades amostrais pela locação poder coincidir com a variação da vegetação devido à topografia e consequentemente apresentar tendenciosidade nas estimativas.

Pode ser realizada em linhas, faixas e redes; a amostragem sistemática em redes pode ser classificada como linhas com alinhamento de parcelas nos dois sentidos.

Assemelha-se à amostragem em conglomerados quando se tem um só início aleatório, onde as linhas ou faixas são semelhantes a conglomerados compostos por unidades menores.

Usa-se as equações para amostragem com uma restrição em que cada linha ou faixa representa uma unidade de 1º nível e as unidades amostrais de 2º nível são as parcelas em cada faixa ou linha.

A diferença entre linhas ou faixas é que nas linhas há espaçamento entre as parcelas da linha, enquanto nas faixas não há distanciamento entre as parcelas dentro da faixa. Tanto para linhas ou faixas, inicialmente se deve definir o intervalo (i) de distância entre as linhas ou faixas e, com o mapa da floresta, verificar quantas unidades serão alocadas em cada linha ou faixa para conferir se a suficiência amostral calculada determinada com os dados do inventário piloto será alcançada.

Para se determinar o ponto de início da primeira linha ou faixa, traça-se uma linha reta de bordadura no sentido longitudinal das linhas ou faixas. A distância da linha de bordadura interna traçada da floresta até o ponto de início da primeira linha ou faixa deverá ser sorteada da seguinte maneira:

- Intervalo (i) de distância entre as linhas ou faixas: i = 200 m;
- Parcelas de 30 m de comprimento (C) e 20 m de largura (L);
- Valores do intervalo de distância a partir da linha de bordadura:
    - Início = (L/2) = 20/2 = 10 m;
    - Final = [i – (L/2)] = 200 – 20/2 = 190 m;
- No Excel ou no Calc sorteia-se com a função: =Aleatórioentre(10;190)
- No exemplo na Figura 29 sorteou-se a distância de 50 m até a primeira linha amostral.

FIGURA 29 Amostragem sistemática com um só início aleatório

• Após o sorteio (50m), todas as demais linhas amostrais serão equidistantes umas das outras em 200 metros neste exemplo (Figura 30). A largura da bordadura deve ser ≥10 m ao longo de toda a margem.

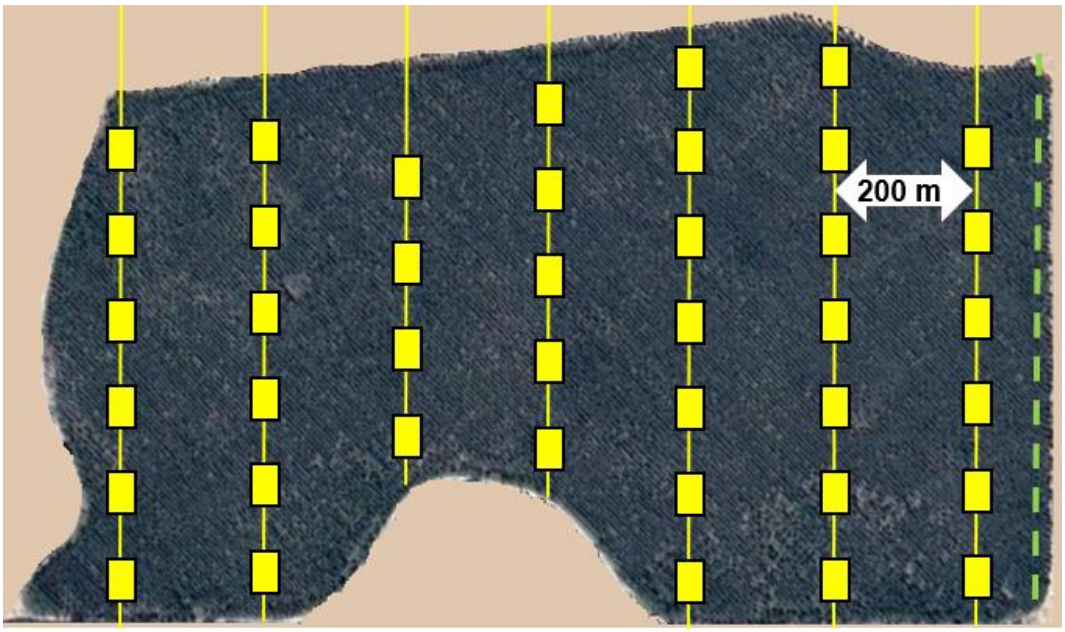


FIGURA 30 – Amostragem sistemática em linhas com equidistância de 200m entre as linhas.

Na amostragem em linhas determina-se previamente o número de linhas, medindo cerca de 3 parcelas por linha de 3 ou mais linhas no inventário piloto e adapta-se posteriormente a distância entre parcelas nas linhas para obter o número de parcelas suficientes para o inventário definitivo.

Para o inventário definitivo mede-se o comprimento total das linhas, exclui-se a largura das duas bordaduras de cada linha e divide-se pelo número total de parcelas necessário (n) menos 1, obtendo-se a distância entre parcelas:

$$DEL = (CT – 2\ B\ nL) / (n – 1)$$

Onde: DEL = distância entre linhas; CT = comprimento total das linhas; B = largura da bordadura florestal a evitar; nL = nº de linhas do inventário definitivo; n = nº total de parcelas necessário no inventário definitivo.

Nos inventários sistemáticos em linhas as parcelas do inventário piloto têm de ser colocadas onde foram amostradas e geralmente não ficam equidistantes como as demais parcelas e ficarão a uma distância irregular das demais no inventário definitivo.

Nos inventários em faixas, as parcelas do inventário piloto tem de ser faixas inteiras e não se enquadrarão no desenho da amostragem do inventário definitivo, não ficando equidistantes das demais. O mais correto seria eliminar as parcelas do inventário piloto, mas isso seria um desperdício de tempo e recursos, então aceita-se que as parcelas do inventário piloto fiquem deslocadas das posições previstas no inventário definitivo.

5.3.2 Amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios

Neste tipo de amostragem a posição de cada linha ou faixa é sorteada de forma independente, fazendo com que a estrutura represente uma amostragem em conglomerados, fornecendo uma estimativa precisa da variância e utiliza-se as fórmulas do sistema de amostragem com restrições.

Recomenda-se utilizar um número mínimo de 5 linhas ou faixas amostrais para se obter uma variância mais precisa.

A amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios é realizada como segue:

- Define-se a distância entre linhas ou faixas;
- Divide-se a área amostral em bandas com largura igual a distância entre linhas ou faixas;
- Sorteia-se a posição de cada linha ou faixa amostral separadamente desde o limite de divisão de cada banda;
- O sorteio é realizado em valores de distância de início e fim, como segue:
  - Início = metade da largura (L) das parcelas;
  - Fim = distância entre linhas ou faixas (D) menos a metade da largura das parcelas;
  - No Excel ou Calc: =Aleatórioentre(Início;Fim)
  - Exemplo:
    - L = 20m,
    - D = 200m,
    - Início = 20/2 = 10m,
    - Fim = 200 – 20/2 = 190 m:
    - =Aleatórioentre(10;190)
    - O resultado é a distância da linha até a divisa da banda; o sorteio é feito em cada banda.

As linhas ficam a diferentes distâncias dos limites das bandas.

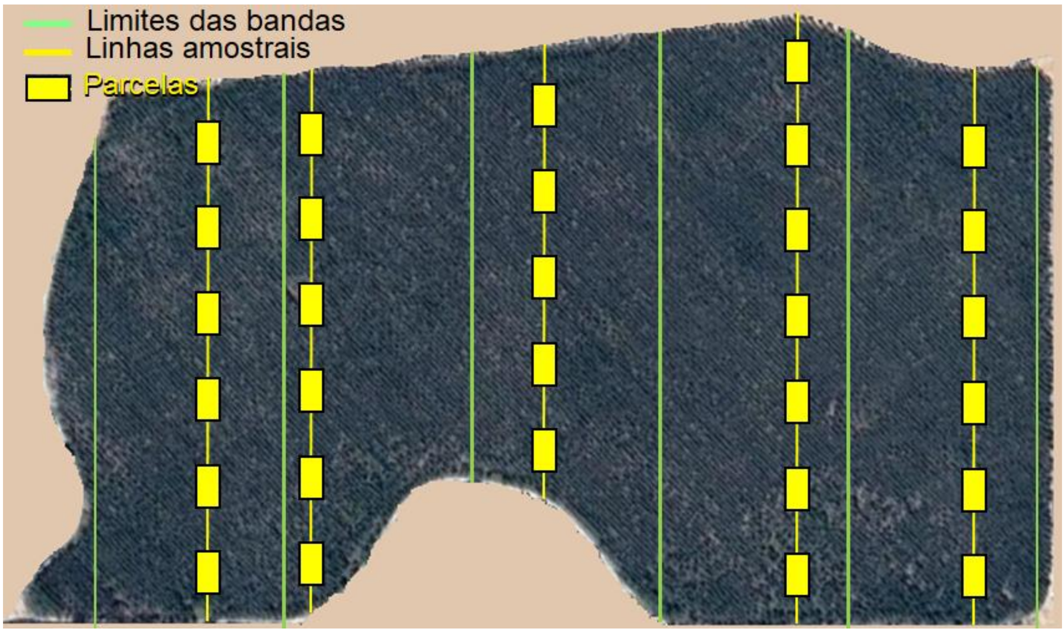


FIGURA 31 – Amostragem sistemática em linhas com múltiplos inícios aleatórios.

5.4 Amostragem em Conglomerados (AC)

A amostragem em conglomerados é um processo de amostragem em dois ou mais níveis onde as unidades amostrais de 1º nível são compostas por um grupo com número fixo de unidades menores de 2º nível de mesmo tamanho, que podem ainda ser compostas por unidades menores ainda de 3º nível. Exemplos de conglomerados estão na Figura 32.

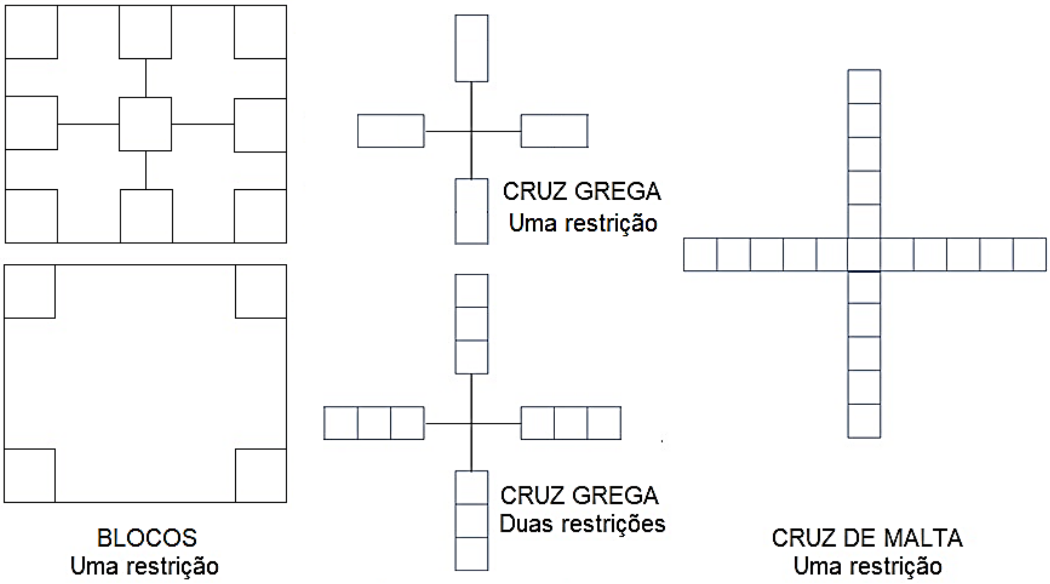


FIGURA 32 - Exemplos de conglomerados utilizados em inventários florestais.

Vários tipos de desenhos são possíveis, sendo que o formato em cruz grega é um dos mais utilizados.

Neste tipo de amostragem, geralmente os conglomerados têm tamanho fixo, mas pode ocorrer amostragem com conglomerados de diferentes tamanhos, ou incompletos. A literatura também cita subunidades de Bitterlich (DRUSZCZ et al, 2012; RETSLAFF et al, 2014). Às vezes há mais de um tipo de subunidade, principalmente para avaliação de regeneração, ou vegetação de menor porte (FLORIANO, 2014).

As subunidades para avaliação de regeneração têm menor tamanho e geralmente são inseridas nas subunidades de maior tamanho. A distância entre as subunidades dos conglomerados tem alta correlação com a variância dentro e entre conglomerados:

- Quanto maior a distância entre as parcelas do conglomerado, maior a variância dentro (Sd^2) e menor entre os conglomerados (Se^2) até um ponto em que as variâncias estabilizam;
- Para ajustar a distância entre as parcelas pode ser utilizada a equação de Péllico Netto: $Sd^2 = a + b / D$, onde Sd^2 é a variância dentro dos conglomerados, a e b são os parâmetros da equação e D é a distância entre as parcelas do conglomerado;
- Uma pré amostragem com diferentes distâncias (D) entre as parcelas permite ajustar os parâmetros a e b; depois, delineia-se o gráfico da equação e descobre-se a distância em que Sd^2 estabiliza.

A floresta a inventariar também pode ser estratificada por tipologia, então a amostragem terá 3 níveis (estratos, conglomerados dentro dos estratos e parcelas dentro dos conglomerados), ou 4 níveis se as unidades dentro dos conglomerados forem divididas em parcelas menores.

A área florestal pode ser totalmente dividida em pequenas áreas correspondentes aos conglomerados e sortear os da amostra, ou os conglomerados amostrais necessários podem ser sorteados por coordenadas sobre a área, ou pelo método da linha base, ou ainda distribuídos sistematicamente.

5.4.1 Análise da variância da amostragem em conglomerados

A análise de variância é realizada conforme as equações para amostragem com restrições. Para a amostragem em conglomerados com uma restrição é realizada de acordo com a Tabela 12.

TABELA 12 - Análise da variância da amostragem em conglomerados com uma restrição

Fator de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F
Entre conglomerados	m – 1	$\sum_{j=1}^{m} n_j \left(\bar{x}_j - \bar{\bar{x}}\right)^2$	SQe / GLe	QMe / QMd
Dentro das UAs de 1º nível	n – m	$\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n_j}\left(\bar{x}_{ji} - \bar{x}_j\right)^2$	SQd / GLd	-
Total	n – 1	$\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n_j}\left(\bar{x}_{ji} - \bar{\bar{x}}\right)^2$		-

Onde: F = valor de F de Snedecor; m = número amostral de conglomerados; n = número total de subunidades de todos os conglomerados; GLe = graus de liberdade entre conglomerados; GLd = graus de liberdade dentro dos conglomerados; SQe = soma de quadrados entre conglomerados; SQd = soma de quadrados dentro dos conglomerados; QMe = quadrado médio entre conglomerados, ou variância entre conglomerados (Se^2); QMd = quadrado médio dentro dos conglomerados, ou variância dentro dos conglomerados (Sd^2).

Caso o valor de F não seja significativo, não há diferença significativa entre conglomerados.

5.4.2 Coeficiente de correlação intraconglomerados (r)

$$r = Se^2 / (Se^2 + Sd^2)\text{ , ou } r = QMe / (QMe + QMd)$$

Onde: r = coeficiente de correlação intraconglomerados; Se^2 = variância entre conglomerados, ou = QMe = quadrado médio entre conglomerados; Sd^2 = variância dentro dos conglomerados, ou = QMd = quadrado médio dentro dos conglomerados; QMe = SQe/GLe; QMd = SQd / GLd.

Quanto mais o coeficiente de correlação intraconglomerados (r) se aproxima de zero, tanto mais homogênea é a população. A população é considerada absolutamente homogênea com r=0 e medianamente homogênea com r=0,4.

Para a amostragem em conglomerados, r tem um limite aceitável até 0,4. Caso ultrapasse este valor há uma heterogeneidade alta na população e é necessário estratificar a população em subpopulações mais homogêneas.

5.4.3 Exemplo de amostragem em conglomerados

A amostragem foi realizada em conglomerados em cruz grega com quatro subparcelas, conforme a Figura 33.

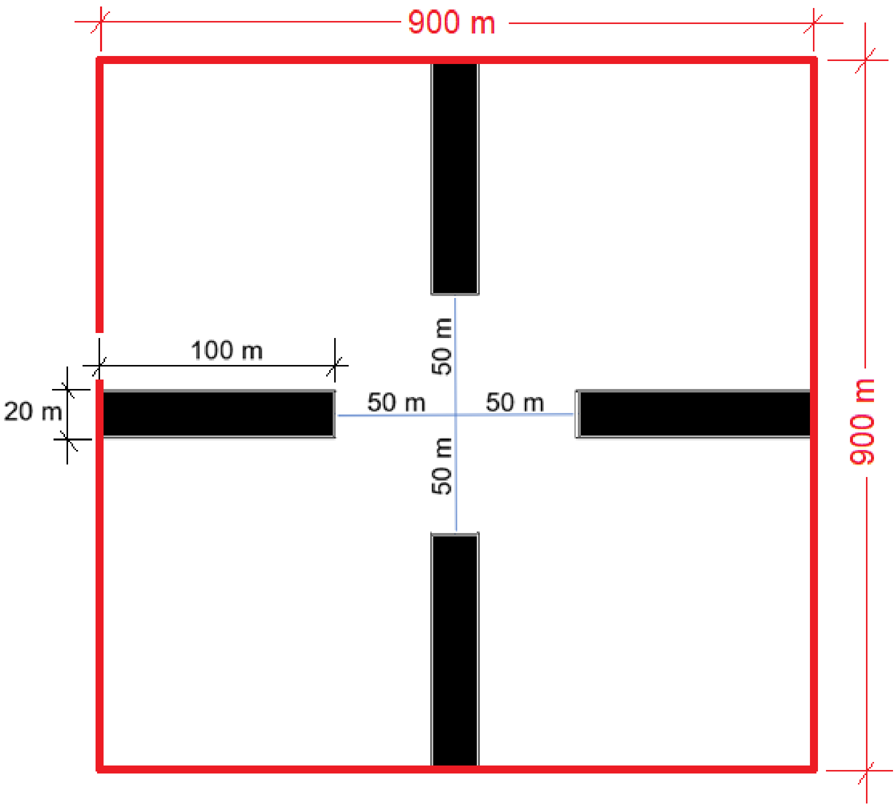


FIGURA 33 – Conglomerado de 9 ha, em cruz grega, com uma restrição.

Considere-se as seguintes características da floresta a inventariar:

- Vegetação: floresta natural latifoliada;
- Área da floresta 1377 ha;
- Método, sistema e processo de amostragem:
  - Amostragem aleatória por conglomerados em cruz grega;
  - Subparcelas:
    - Afastamento do centro do conglomerado 50 m;

- Comprimento 100 m;
- Largura 20 m;
- Área da parcela 2000 m²;
- Número de subparcelas por conglomerado 4 subparcelas;

- Área amostral dos conglomerados 8000 m²;
- Área total do conglomerado 90000 m²;
- Número potencial de conglomerados 153 conglomerados;
- Probabilidade de confiança para a média 95%;

5.4.3.1 Inventário Piloto

Para o inventário piloto, foram amostrados três conglomerados.

Os dados, médias e variâncias do inventário piloto estão apresentados na Tabela 13.

TABELA 13 – Resultados da amostragem piloto em conglomerados

Conglomerado (j)	Subunidade (i)	Xi (m^3/ha)	Xj (m^3/ha)	Sj^2 ((m^3/ha)²)	nj	Área (m²)	Pj	X	S²
1	1	101,44	112,67	83,52	4	8000	0,33	121,10	367,09
	2	109,15							
	3	118,73							
	4	121,35							
2	1	160,80	128,46	599,36	4	8000	0,33		
	2	127,36							
	3	101,37							
	4	124,32							
3	1	135,21	122,17	418,38	4	8000	0,33		
	2	105,69							
	3	103,79							
	4	143,98							
Totais					12	24000			

Onde: X = média da população; Xj = média do conglomerado de ordem j; Pj = proporção do conglomerado de ordem j sobre a área total; nj = número de parcelas do conglomerado j; j = número de ordem do conglomerado; Sj = variância do conglomerado de ordem j; S² = variânciada população; i = nº de ordem da parcela no conglomerado j.

Os resultados estatísticos foram os seguintes:

- Média (X) = 121,10 m³/ha;
- Variância (S²) = 367,09 (m³/ha)²;
- Probabilidade (p) = 95%;
- Limite de erro (Er=(+/-)2*(1-p)) = 10%;

- Limite de erro (Ea=Er.X) = +/- 12,11 m³/ha;
- Número potencial de conglomerados (N) = 153;
- número amostral de conglomerados (n) = 3;
- Intensidade Amostral (IA) = 1,96%; implica em População infinita.

O cálculo do número de parcelas necessário estabilizou em 9 conglomerados na 5ª aproximação, conforme a Tabela 14.

TABELA 14 – Determinação do número de conglomerados necessário

Aproximação	Graus de Liberdade (GL)	t (p;gl)	n necessário = $t^2.S^2/Ea^2$
1ª	2	2,91998558	21,34271622
2ª	21	1,720742903	7,411741265
3ª	7	1,894578605	8,98490591
4ª	8	1,859548038	8,655717626
5ª	8	1,859548038	8,655717626
n necessário estabilizou em (inteiro de n + 1) =			**9**

5.4.3.2 Inventário Definitivo

Os dados, médias e variâncias do inventário definitivo são apresentados na .

Houve perda da subunidade número 2 do conglomerado de número 7, tendo-se considerado somente as três subunidades restantes do conglomerado para os cálculos.

- Os resultados estatísticos são apresentados a seguir:
- Número amostral de conglomerados (n) = 9;
- Número de subunidades/conglomerado (M) = 4;
- Número potencial de conglomerados (N) = 153;
- Intensidade amostral = 5,88 % - implica em população finita.;
- Média (X) = 119,98 m³/ha;
- Variância (S^2) = 266,31 (m³/ha)²;
- Desvio Padrão = 16,32 m³/ha;
- Coeficiente de Variação = 13,60 %;
- Variância da média = 31,33 (m³/ha)²;
- Erro Padrão da Média = 5,60 m³/ha;
- Probabilidade = 95%;
- Graus de Liberdade (GL) = 8;
- t(p;gl) = 1,8595;

- Erro Amostral Absoluto = +/- 10,41 m³/ha;
- Erro Amostral Relativo = +/- 8,7 % - inferior ao limite de 10% admitido;
- Limite Inferior da Média = 109,6 m³/ha;
- Limite Superior da Média = 163,4 m³/ha;
- Intervalo de Confiança: IC (109,6 m³/ha <= Média <= 163,4 m³/ha) = 95%;
- Estimativa Mínima de Confiança = 109,6 m³/ha

A análise da variância da amostragem em conglomerados (Tabela 15) resultou em valor de F não significativo, portanto não há diferença entre os conglomerados.

TABELA 15 - Análise da variância da amostragem em conglomerados

FV	GL	SQ	QM	F	PR>F	r
Entre conglomerados	8	1120,15	140,019	0,53100167	0,745737	0,346833
Dentro dos conglomerados	26	6855,91	263,689			
Total	34	7976,07				

O Coeficiente de correlação intraconglomerados (r) foi de 0,35 e inferior a 0,4, demonstrando que há homogeneidade mediana entre os conglomerados e abaixo do limite admissível para este tipo de amostragem, reforçando o resultado para o valor de calculado de F que não foi não significativo, com a interpretação de que não há diferença significativa entre os conglomerados. sendo desnecessário estratificar a população.

TABELA 16 – Resultados de médias e variâncias do inventário definitivo em conglomerados

Conglomerado (j)	UA (i)	Xij (m^3/ha)	Xj (m^3/ha)	Sj^2 ($(m^3/ha)^2$)	nj	Área (m^2)	Pj	X	S^2	$(Xij-Xj)^2$	$(Xj-X)^2$	$(Xij-X)^2$
1	1	101,44	112,67	83,52	4	8000	0,11	119,98	266,31	126,06	213,99	343,80
	2	109,15								12,37		117,33
	3	118,73								36,75		1,57
	4	121,35								75,39		1,87
2	1	160,80	128,46	599,36	4	8000	0,11			1045,71	287,69	1666,13
	2	127,36								1,22		54,44
	3	101,37								734,00		346,40
	4	124,32								17,16		18,82
3	1	135,21	122,17	418,38	4	8000	0,11			170,11	19,11	231,90
	2	105,69								271,51		204,25
	3	103,79								337,73		262,17
	4	143,98								475,79		575,92
4	1	137,06	119,69	243,33	4	8000	0,11			301,63	0,33	291,67
	2	128,38								75,47		70,53
	3	109,26								108,84		114,96
	4	104,07								244,06		253,18
5	1	124,49	121,41	20,64	4	8000	0,11			9,50	8,13	20,32
	2	126,11								22,11		37,56
	3	117,59								14,57		5,72
	4	117,44								15,74		6,46
6	1	105,96	126,82	413,36	4	8000	0,11			434,93	186,78	196,61
	2	146,99								407,03		729,45
	3	113,05								189,48		48,05
	4	141,26								208,66		452,77
7	1	103,01	120,07	538,96	3	6000	0,09			291,16	0,03	288,04
	3	110,70								87,86		86,15
	4	146,51								698,90		703,75
8	1	103,59	118,54	104,21	4	8000	0,11			223,43	8,34	268,69
	2	123,29								22,59		10,94
	3	120,93								5,72		0,90
	4	126,34								60,88		40,43
9	1	107,26	110,04	43,19	4	8000	0,11			7,70	395,75	161,84
	2	113,18								9,89		46,26
	3	117,33								53,22		7,03
	4	102,37								58,75		310,17
Totais					**35**	**70000**	**1,00**			**6855,91**	**1120,15**	**7976,07**

Onde: X = média da população; Xj = média do conglomerado de ordem j; Xij = média da subparcela i do conglomerado j; Pj = proporção do conglomerado de ordem j sobre a área total; nj = número de parcelas do conglomerado j; j = número de ordem do conglomerado; Sj = variância do conglomerado de ordem j; S^2 = variância da população; i = nº de ordem da parcela no conglomerado j.

5.5 Amostragem em Múltiplos Estágios (AME)

É o processo de amostragem em que se divide toda a área da população em grandes unidades amostrais (UA), que podem não ter o mesmo tamanho, denominadas de UAs de 1º estágio; estas, são redivididas em UAs menores de 2º estágio, que podem ser redivididas em UAs menores ainda de 3º estágio; e, assim por diante. Depois, são selecionadas algumas UAs em cada estágio, aleatoriamente ou sistematicamente, para compor a amostra do inventário piloto e determinar quantas UAs são necessárias para a precisão desejada.

A distribuição das UAs em cada estágio pode ser tanto sistemática quanto aleatória. No inventário piloto podem ser utilizadas de 3 a 10 UAs em cada estágio, dependendo do tamanho e número total (potencial) de UAs de cada estágio.

A amostragem em múltiplos estágios é um processo utilizado para grandes áreas onde o acesso às UAs é difícil. A vantagem é a redução dos custos e do tempo de amostragem para uma mesma precisão em relação a outros processos.

5.5.1 Estatísticas da amostragem em múltiplos estágios

As estatísticas deste tipo de amostragem podem ser calculadas com as equações para amostragem com restrições, sendo que cada estágio representa um nível de amostragem.

5.5.1.1 Amostragem em múltiplos estágios com duas restrições

Neste exemplo a área florestal foi dividida em u=9 unidades de primeiro estágio (k=unidades de 1º estágio), que foram subdivididos em m=16 subunidades cada um (j=unidades de 2º estágio) e dentro de cada uma das 16 subunidades estarão n parcelas amostrais (i=parcelas amostrais).

Na amostragem com duas restrições, considere-se a seguinte nomenclatura quanto ao número de unidades:

- u = número total de UAs de 1º nível (primárias);
- m = número total de UAs de 2º nível (secundárias);
- n = número total de UAs de 3º nível (terciárias=parcelas amostrais);
- mk = número de UAs de 2º nível, dentro da UA de 1º nível de ordem k;
- nj = número de UAs de 3º nível de ordem i, dentro da UA de 2º nível de ordem j.

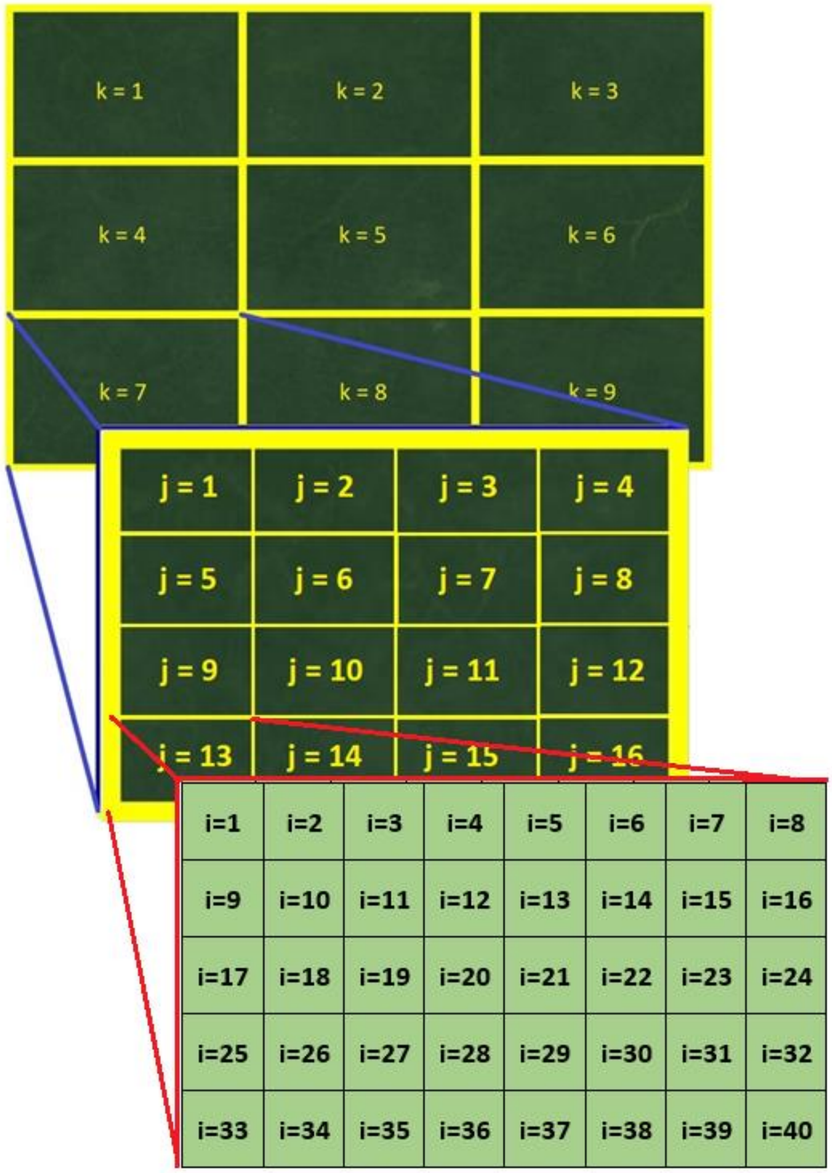


FIGURA 34 – Amostragem em múltiplos estágios com duas restrições (divisão da área em UAs de 1º, 2º e 3º estágios).

A análise da variância da amostragem em três estágios é realizada com as equações do sistema de amostragem com duas restrições em 3 níveis, conforme a Tabela 17.

TABELA 17 - Análise da variância com duas restrições (3 estágios ou níveis)

Fator de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F
Entre UAs de 1º estágio	u –1	$SQe = \sum_{k=1}^{u} n_j\, mk\, (\bar{x}_k - \bar{\bar{x}})^2$	$QMe = \frac{SQe}{GLe}$	$\frac{QMe}{QMc}$
Entre UAs de 2º estágio, dentro das UAs de 1º estágio	u ((m/u) –1)	$SQc = \sum_{k=1}^{u}\sum_{j=1}^{m} n_j\left(\bar{x}_{kj} - \bar{x}_k\right)^2$	$QMc = \frac{SQc}{GLc}$	$\frac{QMc}{QMp}$
Entre UAs de 3º estágio, dentro das UAs de 2º estágio	u (m/u) (n/m–1)	$SQp = \sum_{k=1}^{u}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(\bar{x}_{kji} - \bar{x}_{kj}\right)^2$	$QMp = \frac{SQp}{GLp}$	–
Total	u (m/u) (n/m) –1	$SQt = \sum_{k=1}^{u}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(\bar{x}_{kji} - \bar{\bar{x}}\right)^2$	$QMt = \frac{SQt}{GLt}$	–

Onde: UAs = unidades amostrais. $\bar{\bar{x}}$ = média geral da população; $\bar{x}_k$ = média da UA de 1º estágio de ordem k; $\bar{x}_{kj}$ = média da UA de 2º estágio de ordem j dentro da UA de 1º estágio de ordem k; $\bar{x}_{kji}$ = média da UA de 3º estágio de ordem i dentro da UA de 2º estágio de ordem j, dentro da UA de 1º estágio de ordem k; FV = fator de variação; GLe, GLc, GLp, GLt = graus de liberdade das UAs de 1º, de 2º, de 3º estágio e total, respectivamente; SQe, SQc, SQp, SQt = Soma de quadrados das UAs de 1º, das de 2º, das de 3º estágio e total, respectivamente; QMe, QMc, QMp , QMt = quadrado médio das UAs de 1º, de 2º, de 3º estágio e total respectivamente; F = Valor do F de Snedecor.

6 MONITORAMENTO DAS FLORESTAS

O monitoramento das florestas é realizado por meio de Inventários Florestais Contínuos (IFC). A amostragem neste caso é realizada em múltiplas ocasiões correlacionadas.

A amostragem é realizada em ocasiões sucessivas com o objetivo de avaliar as variações de porte das árvores e estrutura das florestas.

Em relação às ocasiões em que é executada, pode ser:

- Com repetição total das UAs em cada ocasião;
- Com repetição parcial das UAs em cada ocasião;
- Com UAs independentes nas diferentes ocasiões;
- Dupla amostragem – estima-se uma variável de interesse em função de outra de fácil medição;

O principal objetivo dos IFCs é o de verificar as mudanças na floresta ao longo do tempo, principalmente quanto ao crescimento das árvores e estoque de madeira. E, pode ter como objetivos específicos:

- Modelar do crescimento das árvores em d, h, h100, g, v, etc.;
- Estabelecer índices e classificação dos sítios dos povoamentos;
- Avaliar:

  a) a evolução da distribuição diamétrica;

  b) a evolução do volume e forma das árvores;

  c) a evolução da densidade de árvores;

  d) a evolução dos estoques de madeira dos povoamentos florestais;

  e) as mudanças no perfil do tronco das árvores.
- Monitorar o resultado de tratos culturais e das ações de manejo;
- Fornecer informações para silvicultura de precisão;
- Suprir informações para modelagem do crescimento e da produção florestal;
- Suprir informações para determinação da idade ótima de rotação técnica e ciclos de corte.

6.1 Mudanças na forma e perfil do tronco

As avaliações de mudanças na forma e perfil do tronco requerem cubagens por meio de amostragens apropriadas de árvores individuais abatidas, que deverão ser realizadas em diferentes idades, preferencialmente próximas aos cortes para dar a maior precisão possível nos cálculos de volume e sortimentos a serem produzidos. Também podem ser estudas por análise de tronco para as espécies que formam anéis de crescimento anual.

6.2 Periodicidade dos IFC

A periodicidade dos IFCs depende de:

- Velocidade do crescimento das árvores;
- Custo de amostragem em cada ocasião;
- Tipo de floresta: natural ou plantada;
- Objetivo e sistema de manejo da floresta:
  - floresta de conservação ou preservação,
  - floresta para recuperação de área degradada,
  - floresta natural de produção jardinada,
  - floresta de produção em alto fuste,
  - floresta de produção em talhadia.

Florestas naturais com objetivo de preservação e conservação podem ser monitoradas a cada 5 anos e devem incluir levantamentos fitossociológicos. Florestas em áreas de recuperação ambiental devem ser monitoradas em curtos espaços de tempo nos primeiros anos, depois podem ser espaçados a cada 5 anos. As florestas naturais manejadas podem ser monitoradas a cada 2 ou 3 anos. As florestas plantadas devem sofrer levantamentos anuais.

6.3 Características dos IFCs

Usualmente admite-se um erro de ±5% em torno da média nos IFCs. Nos inventários com objetivos de avaliação de crescimento, as árvores das unidades amostrais devem receber números permanentes em todas as ocasiões. Nos inventários para fornecer informações à silvicultura de precisão, a distribuição das unidades amostrais deve ser realizada preferencialmente sistemática. As medições das árvores devem ser realizados na época de repouso do crescimento vegetativo.

A numeração permanente das árvores permite avaliar:

- Ingresso (I) – árvores que atingem tamanho mínimo para medição.
- Mortalidade (M) – árvores que morreram desde a última ocasião.
- Corte ou desbaste (C) – árvores que foram colhidas desde a última ocasião.
- Crescimento individual (ΔY): d, h, g, v.

Os IFCs permitem avaliar o crescimento de todas as variáveis medidas das árvores e modelar suas curvas de crescimento (Figura 35).

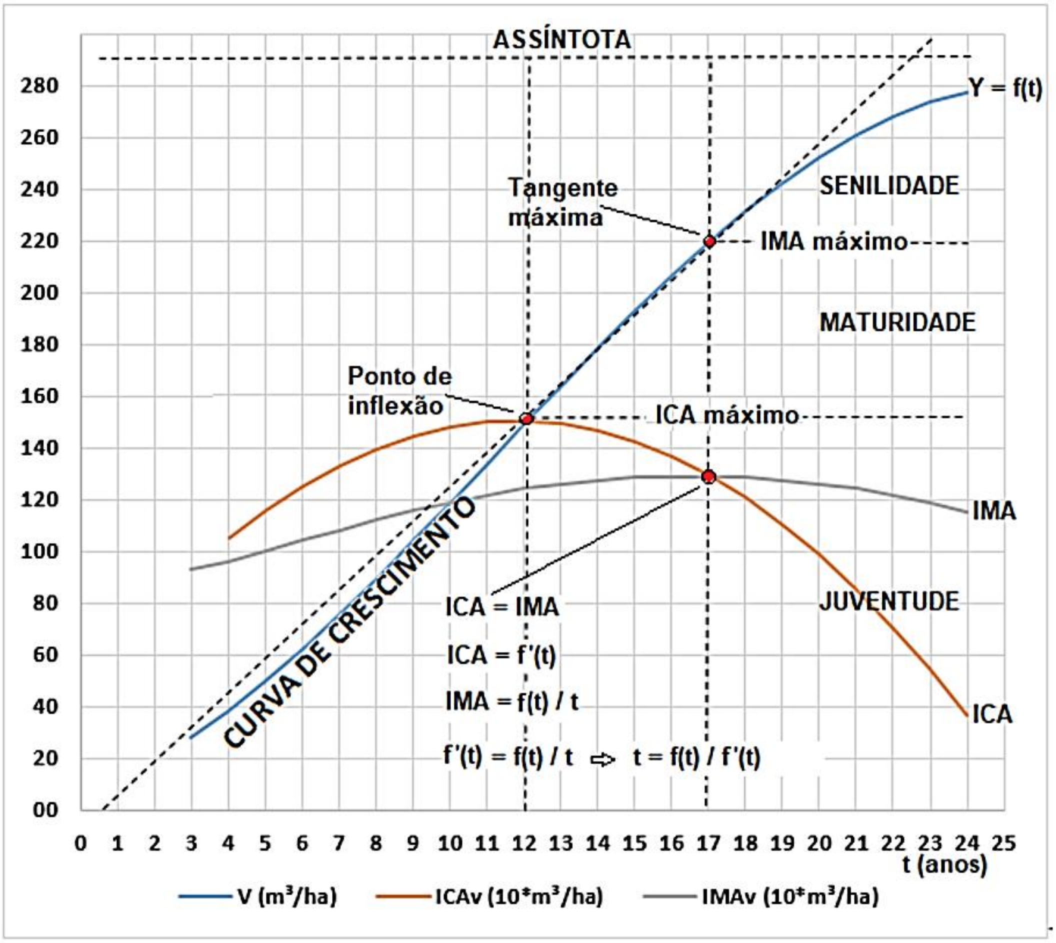


FIGURA 35 – Características da curva de crescimento florestal.

6.4 Incrementos

Qualquer variável dendrométrica pode ser analisada quanto ao crescimento e incrementos como o diâmetro (d), altura (h), área basal individual (g), volume individual (v), área basal por hectare (G), volume por hectare (V), diâmetro da copa (DC), etc. Incrementos são as partes do crescimento ocorridas em pequenos períodos, geralmente de um ano. Os incrementos mais comuns são o incremento médio anual, incremento corrente anual, incremento periódico anual e o incremento médio anual na idade de corte, calculados como segue:

- Incremento Médio Anual (IMA):

$$IMA_t = Y_t / t$$

- Incremento Corrente Anual (ICA):

$$ICA_t = Y_t - Y_{t-1}$$

- Incremento Periódico Anual (IPA):

$$IPA_t = (Y_t - Y_{t-P}) / P$$

- Incremento Médio Anual na Idade de Corte (IMAIC):

$$IMAIC = Y_r / r$$

Onde: IMA_t = incremento médio anual na idade t; ICA_t =Incremento Corrente Anual (ICA); IPA_t = Incremento Periódico Anual; IMAIC = Incremento Médio Anual na Idade de Corte; Y_t = valor da variável na idade t; Y_{t-1} = valor da variável na idade t-1; t = idade atual em anos; r = idade de rotação (corte final) em anos; P = período de tempo considerado, em anos; Y_{t-P} = valor da variável na idade t-P.

6.5 Rotação Técnica (RT)

A idade em que ocorre o Máximo Incremento Médio Anual em volume por hectare (V) é dita idade de Rotação Técnica, pois é a idade em que a produtividade da floresta é máxima. Nesta idade, o IMA e ICA se igualam e ocorre a Tangente máxima da curva de crescimento (Figura 35).

Exemplo: Considere os dados de crescimento de um povoamento apresentados na Tabela 18. Entre os 24 e 25 anos de idade o Incremento Corrente Anual e o Incremento Médio Anual em volume por hectare se igualam. Nesta idade, a produtividade do povoamento é máxima e é considerada como a idade de rotação técnica (Figura 36).

TABELA 18 – Crescimento, incrementos e idade de rotação técnica de uma floresta

Idade (anos)	V (m^3/ha)	ICA ($m^3.ha^{-1}.ano^{-1}$)	IMA ($m^3.ha^{-1}.ano^{-1}$)
	0,2	0,22	0,22
2	2,3	2,12	1,17
3	8,7	6,35	2,90
4	21,1	12,37	5,27
5	40,5	19,40	8,09
6	67,2	26,72	11,20
7	101,0	33,79	14,42
8	141,2	40,19	17,65
9	186,9	45,70	20,76
10	237,1	50,19	23,71
11	290,7	53,63	26,43
12	346,7	56,04	28,89
13	404,2	57,52	31,10
14	462,4	58,14	33,03
15	520,4	58,03	34,69
16	577,7	57,30	36,11
17	633,8	56,05	37,28
18	688,2	54,40	38,23
19	740,6	52,43	38,98
20	790,8	50,22	39,54
21	838,7	47,86	39,94
22	884,1	45,39	40,18
23	926,9	42,87	40,30
24	967,3	40,35	40,30
25	1005,1	37,85	40,21
26	1040,5	35,40	40,02
27	1073,6	33,03	39,76
28	1104,3	30,74	39,44
29	1132,9	28,56	39,06
30	1159,3	26,48	38,64

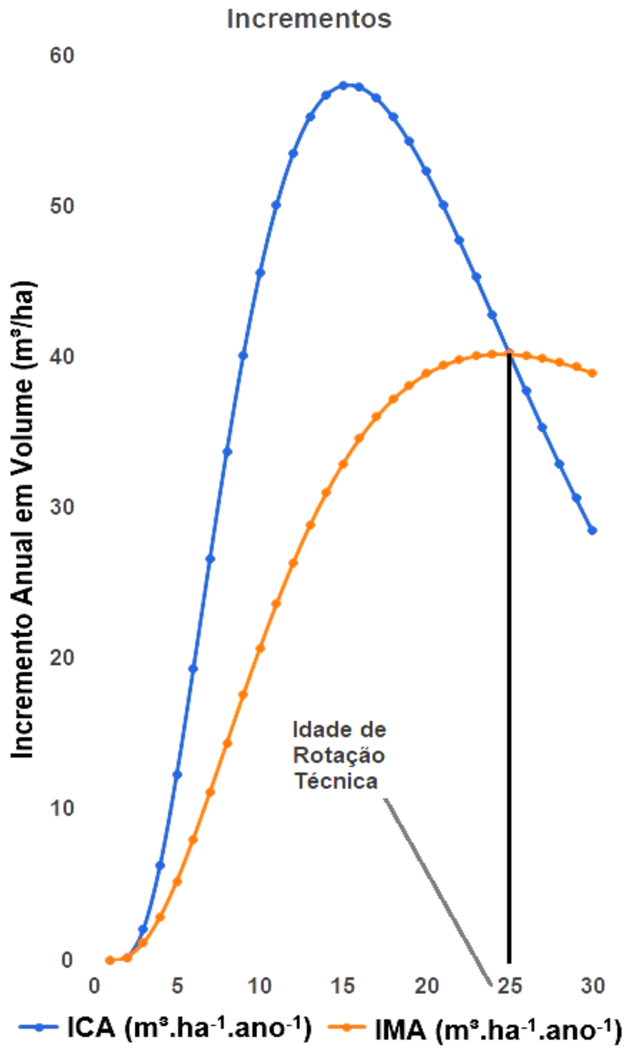


FIGURA 36 – ICA, IMA e Idade de Rotação Técnica de um povoamento florestal.

Onde: V = produção volumétrica total do povoamento florestal por hectare; ICA = Incremento Corrente Anual em volume; IMA = Incremento Médio Anual em volume.

6.6 Processos de amostragem nos IFCs

Os IFCs podem ser realizados por quatro diferentes procedimentos, como segue:

- Amostragem com repetição total;
- Amostragem com repetição parcial;
- Amostragens independentes;
- Dupla amostragem.

6.6.1 Amostragem com repetição total

A amostragem com repetição total tem as seguintes características:

- As unidades amostrais são todas permanentes;
- Todas as unidades amostrais são medidas a cada ocasião do inventário;
- É o ideal para análise de crescimento;
- Na análise do crescimento considera-se a covariância entre as duas ocasiões;
- É caro e nem sempre utilizado pelas empresas devido ao alto custo.

Exemplo:

Num inventário por amostragem aleatória simples de um povoamento florestal de *Pinus elliottii* com 10 hectares, por meio de 16 parcelas com 420 m² cada, obteve-se os resultados da tabela ao lado em duas ocasiões sucessivas. A probabilidade de confiança para a média foi de 95%. As duas ocasiões aqui consideradas foram aos 10 e aos 11 anos de idade.

Os resultados da amostragem e os incrementos ocorridos são apresentados na Tabela 19. As estatísticas das duas ocasiões e dos incrementos ocorridos de uma para outra estão na Tabela 20.

TABELA 19 – Resultados da amostragem em duas ocasiões e incrementos ocorridos

Parcela	Volume (m³/ha)		
nº	10 anos	11 anos	Incrementos
1	201,94	247,73	45,80
2	154,45	199,73	45,28
3	190,33	225,01	34,69
4	126,46	164,63	38,17
5	198,11	250,14	52,03
6	189,87	220,76	30,89
7	152,20	181,29	29,09
8	101,41	130,01	28,60
9	202,80	243,70	40,90
10	161,46	217,68	56,22
11	123,23	162,74	39,50
12	111,33	145,82	34,48
13	142,54	190,30	47,76
14	177,65	213,60	35,96
15	131,09	172,07	40,98
16	88,84	119,52	30,68

As equações utilizadas para os cálculos são as dos sistemas de amostragem sem restrições para populações finitas devido à intensidade amostral superior a 2%.

TABELA 20 – Estatísticas das duas ocasiões e dos incrementos ocorridos

Estatísticas	10 anos	11 anos	Incrementos	Unidades
Média =	153,36	192,80	39,4	m³/ha
Variância =	1402,43	1706,85	68,26	(m³/ha)²
Desvio padrão =	37,45	41,31	8,3	m³/ha
Covariância =	-	-	1520,5	(m³/ha)²
Coeficiente de Variação =	24,42	21,43	20,9	%
N potencial =	238,10	238,10	238	parcelas
n amostral =	16,00	16,00	16	parcelas
Intensidade Amostral =	4,44	4,44	4,44	%
Fator de Correção =	0, 9328	0, 9328	0,9328	-
Graus de liberdade (gl) =	15,00	15,00	15	-
Probabilidade de confiança (p) =	0,95	0,95	0,95	-
t (p; gl) =	1,7531	1,7531	1,7531	-
Variância da média =	81,76	99,51	3,98	(m³/ha)²
Erro padrão da média =	9,04	9,98	2,0	m³/ha
Erro amostral absoluto = +/-	15,85	17,49	3,5	m³/ha
Erro amostral relativo =	10,34	9,07	8,9	%
Estimativa mínima de confiança =	137,50	175,31	35,9	m³/ha
Intervalo de confiança (IC) com p=95%:	-	-	-	-
- Limite inferior da média =	137,50	175,31	35,94	m³/ha
- Limite superior da média =	169,21	210,28	42,94	m³/ha

6.6.2 Amostragens independentes

As características da amostragem em múltiplas ocasiões independentes são as seguintes:

- As unidades amostrais são todas temporárias;
- Cada ocasião é um inventário independente da mesma área;
- As árvores não são as mesmas em cada ocasião e, portanto, não é um processo indicado para análise de crescimento;
- Não há covariância entre as ocasiões, ou seja, Syx=0 e a variância da média do incremento, portanto é calculada pela soma das duas ocasiões;
- As médias e as variâncias são obtidas da mesma forma que na amostragem com repetição total.

O incremento entre as duas amostragens independentes é calculado por:

$$iX = X_2 - X_1$$

Onde: iX = incremento ocorrido na variável X; X_1 = valor da variável na 1ª ocasião; X_2 = valor da variável na 2ª ocasião.

A variância, desvio padrão e coeficiente de variação são calculados conforme o sistema de amostragem utilizado. O que muda é o cálculo da variância da média que deixa de ter a redução da covariância (Syx) que neste caso é igual a zero. A variância da média do incremento é calculada pela soma das variâncias da média das duas ocasiões pela equação:

$$S^2_{\overline{iX}} = S^2_{\bar{\bar{X}}_1} + S^2_{\bar{\bar{X}}_2}$$

Onde: $S^2_{\overline{ix}}$ = Variância da média do incremento; $S^2_{\bar{\bar{X}}_1}$ = Variância da média na 1ª ocasião; $S^2_{\bar{\bar{X}}_2}$ = Variância da média na 2ª ocasião.

O erro padrão do incremento ($S_{\overline{iX}}$) pode ser calculado simplesmente pela raiz quadrada da variância da média.

As demais estatísticas são calculadas conforme o sistema de amostragem utilizado.

6.6.3 Amostragem com Repetição Parcial

Neste tipo de amostragem, algumas UAs são remedidas e outras UAs são deixadas sem medir de uma ocasião para outra e há diferentes métodos para realizar as estimativas e calcular as estatísticas amostrais e do incremento ocorrido.

No caso de inventários de florestas plantadas para produção de madeira, uma boa prática é estimar o crescimento das dimensões individuais das árvores como diâmetro, altura e volume dos indivíduos em função da altura dominante das UAs expressas nas tabelas de índice de sítio e realizar as estatísticas como na repetição total com todas as unidades amostrais e suas árvores estimadas ou medidas.

6.6.3.1 Amostragem com Repetição Parcial com estimativas para árvores

Nos livros tradicionais sobre inventários florestais demonstra-se como realizar as estimativas para as médias das unidades que não foram amostradas, ou como se obter resultados sobre as diferenças de uma ocasião para outra em que as unidades não são todas medidas em cada ocasião, desprezando as estimativas de árvores individuais.

Entretanto, isso não se justifica mais com a capacidade computacional atual que nos permite estimar os dados de cada arvore de um ano para outro com base em seu crescimento com precisão. Estimando-se as dimensões de cada indivíduo das unidades amostrais não medidas, tem-se os dados de todas as unidades amostrais árvore por árvore, que em algumas unidades serão estimativas e em outras as árvores foram medidas. Então, os cálculos são realizados como na amostragem com repetição total. Para isso, inicialmente se define a proporção de crescimento do diâmetro e da altura das árvores de um ano para outro em todas as ocasiões em que houve repetição da medição de cada unidade amostral, com as equações:

$$pd = (d_{i+1} - d_i) / d_i \quad e \quad ph = (h_{i+1} - h_i) / h_i$$

Onde: pd = proporção do crescimento em diâmetro; ph = proporção do crescimento em altura; d_i = diâmetro na 1ª ocasião considerada; d_{i+1} = diâmetro na 2ª considerada; h_i = altura na 1ª ocasião considerada; h_{i+1} = altura na 2ª ocasião considerada.

Com os dados de Idade, pd e ph de cada árvore de inventários anteriores, modela-se:

$$pd=A*EXP(-B*t) \text{ e } ph=A*EXP(-B*t)$$

Onde: pd, ph = proporção de crescimento do diâmetro e da altura, respectivamente, da idade i para a idade i+1; d_i, h_i = diâmetro e altura da árvore, respectivamente, na idade i; d_{i+1}, h_{i+1} = diâmetro e altura da árvore, respectivamente, na idade i+1; t = idade na ocasião i; A, B = parâmetros das equações a ajustar;

Depois, calcula-se os diâmetros e alturas da ocasião de idade i+1 com as equações:

$$d_{i+1} = d_i + d_i*(A*EXP(-B*t)) \text{ e } h_{i+1} = h_i + h_i*(A*EXP(-B*t))$$

Onde: d_{i+1}, h_{i+1} = diâmetro e altura da árvore, respectivamente, na idade i+1; d_i, h_i = diâmetro e altura da árvore, respectivamente, na idade i; t = idade na ocasião i; A, B = parâmetros das equações a ajustar.

6.6.3.1.1 Estimativas de variáveis dendrométricas de uma ocasião para outra

As estimativas de variáveis dendrométricas quaisquer (X) de uma ocasião para a subsequente são realizadas da seguinte forma:

- considerando que:

$$X_i * pX = X_{i+1} - X_i \qquad (1)$$

- então:

$$pX = (X_{i+1} - X_i) / X_i \qquad (2)$$

- ou:

$$X_{i+1} - X_i = X_i * pX \qquad (3)$$

- e:

$$X_{i+1} = X_i + X_i * pX \qquad (4)$$

- fazendo-se:

$$pX = A * EXP(-B*t) \qquad (5)$$

- e, substituindo-se 5 em 4, tem-se:

$$X_{i+1} = X_i + X_i * (A*EXP(-B*t)) \qquad (6)$$

Onde: X_{i+1} = dimensão da variável dendrométrica X na idade i+1; X_i = dimensão da variável dendrométrica X na idade i; t = idade na ocasião i; A, B = parâmetros das equações a ajustar.

É preciso ajustar os parâmetros A e B com os dados dos inventários florestais realizados nos povoamentos semelhantes, com mesmo germoplasma e mesmo sítio e nas diferentes idades para as quais se pretende realizar as estimativas. Alternativamente pode ser com dados de anos anteriores do mesmo povoamento, ajustando-se curvas de crescimento para as variáveis de interesse e, posteriormente, fazendo-se estimativas do crescimento anual. Então, com estas estimativas, determinar a proporção de crescimento para os anos que se deseja e realizar o procedimento descrito nesta secção.

7 PLANEJAMENTO DE INVENTÁRIOS FLORESTAIS

O planejamento de inventários florestais envolve nove etapas listadas a seguir:

1. Caracterizar o inventário
2. Realizar inventário preliminar
3. Elaborar plano
4. Treinar equipe
5. Executar levantamento
6. Processar dados
7. Analisar resultados
8. Elaborar relatório
9. Apresentar/divulgar resultados

A seguir, são descritas as fases de cada uma das nove etapas do planejamento de um inventário florestal.

7.1 Caracterização dos Inventários Florestais

O que caracteriza os inventários florestais são: o objeto do inventário (Floresta e Ambiente); os objetivos do inventário; a precisão requerida; a abordagem no tempo; e, a forma de levantamento (censo ou processo de amostragem).

7.1.1 Objeto do Inventário

Deve-se descrever o objeto quanto aos seguintes componentes: a floresta ou vegetação, os objetivos da floresta, o espaço ocupado, a localização e o ambiente.

7.1.1.1 A Floresta ou vegetação

Caracterizar o tipo de floresta. Se for natural, qual é seu estado sucessional, que tipologias estão presentes na área do inventário. Se for plantada, qual a espécie, data de plantio, densidade inicial, forma de manejo, idade de rotação, etc.

7.1.1.2 Objetivos da floresta

Os objetivos da floresta podem ser para produção de madeira para diferentes finalidades, ou produção de produtos não madeireiros, ou de conservação e preservação, ou ainda para lazer.

7.1.1.3 Espaço

O espaço deve ter seus limites definidos e ser mapeado, medindo-se as áreas total, florestal, preservada, de infraestrutura, superfícies de lâminas de água, etc.

A localização da floresta deve ser realizada com as coordenadas, identificando o município e estado onde se encontra.

7.1.1.4 Ambiente

A descrição do ambiente envolve o ambiente natural com sua topografia, rede de drenagem, clima, solos, etc. e o ambiente antrópico, com referência ao proprietário, acessos, edificações.

7.1.2 Objetivos do Inventário

Um inventário florestal pode ter diferentes objetivos, e isto implica em diferentes abordagens. Entre os principais objetivos pode-se citar:

- Planejamento público ou privado;
- Planejamento estratégico, tático ou operacional;
- Fitossociológico;
- Ecológico – AIA, UC;
- Venda de madeira;
- Planejamento de colheita;
- Manejo florestal - estoque, crescimento, sítios.

7.1.3 Precisão requerida

A precisão requerida para um inventário florestal depende da criticidade do objetivo a que se destina, dos recursos financeiros disponíveis, da legislação pertinente ou de acordo com o órgão ambiental envolvido, com os riscos decorrentes de uma baixa precisão, entre outros fatores.

Quando a precisão requerida é de 100%, realiza-se censo, que é a enumeração completa de todos os indivíduos de uma população ou comunidade, obtendo-se os parâmetros verdadeiros da população, sem margem de erro.

Quando a precisão requerida é menor do que 100%, realiza-se amostragem, que é a medição de uma fração da população para representá-la, obtendo-se estatísticas que estimam os valores verdadeiros (parâmetros) da população com uma certa probabilidade de erro.

A amostragem pode ser com distribuição aleatória da unidades amostrais e, neste caso há ênfase na estimativa da variância que é estimada com conhecimento da probabilidade de erro. Ou, pode ser realizada de forma sistemática, que implica em maior precisão da média, entretanto a variância é estimada sem se saber qual o erro na estimativa da mesma.

A precisão de um inventário florestal é representada pelo limite de erro amostral relativo admitido em torno da média, para mais ou para menos (+/-E%) dado em percentagem e pela probabilidade de confiança para a média (p).

A probabilidade de confiança para a média geralmente varia entre 0,90 e 0,975 e o Limite de erro relativo (E%) é calculado como:

$$E\% = +/- 100 \,.\, 2\,(1-p)$$

Onde: E% = limite de erro em torno da média em percentagem; p = probabilidade de confiança para a média.

A probabilidade de confiança para a média de 0,975 geralmente é empregada para inventários pré corte, quando se necessita saber com maior precisão a quantidade de madeira disponível para venda, compra, ou suprimento industrial. Probabilidade de 0,95 usualmente é empregada em inventários contínuos de florestas plantadas, enquanto para monitoramento de florestas nativas manejadas pode ser empregada uma probabilidade de confiança para a média de 0,9. Nos inventários madeireiros para planejamento de colheita no manejo de florestas naturais, a probabilidade é 1, ou seja 100%, sendo exigido o censo das árvores passíveis de serem colhidas a cada ano e, neste caso, a média é a verdadeira da população resultando no parâmetro da mesma e não há tolerância de erro em torno da média, o erro é zero. Quando a probabilidade de certeza para a média é menor do que 1, os resultados são estatísticas que estimam os parâmetros; as estatísticas somente se aproximam dos valores verdadeiros e têm uma probabilidade de erro associada às estimativas.

Exemplos de probabilidades de confiança para a média e limite de erro amostral:

- Inventário pré corte:

  p = 0,975 e E%=+/- 100 . 2 . (1-0,975) = +/- 5%;

- Inventário contínuo de florestas plantadas:

  p = 0,950 e E%=+/- 100 . 2 . (1-0,950) = +/- 10%;

- Inventário contínuo de florestas naturais:

  p = 0,900 e E%=+/- 100 . 2 . (1-0,900) = +/- 20%.

7.1.4 Abordagem no tempo

7.1.4.1 Inventários temporários

Prestam-se para analisar e obter dados sobre a floresta para a situação atual. Prestam-se para planejamento de curto prazo, como a colheita de determinado povoamento florestal.

Os inventário florestais temporários podem ser de uma única ocasião, denominados de Inventários Temporários, onde se utilizam unidades amostrais temporárias que não necessitam ser demarcadas permanentemente na floresta. Mas, uma marcação que permaneça por alguns meses é recomendada para o caso de necessidade de remedição de algumas unidades amostrais.

Também podem ser esporádicos. Há proprietários florestais que realizam inventários somente quando desejam atualizar os volumes de estoque por motivos contábeis, por exemplo, ou quando pretendem utilizar a madeira.

7.1.4.2 Inventários Contínuos

Os inventários contínuos, também chamados de monitoramento florestal, são realizados em múltiplas ocasiões correlacionadas, sendo utilizados para análise do crescimento, evolução da floresta e planejamento de médio e longo prazos.

São realizados sobre unidades amostrais permanentes que são demarcadas no campo com insumos de grande durabilidade como tinta à óleo, ficando permanentemente demarcados os seus limites e numeradas todas as árvores com o mesmo número ao longo da vida da mesma.

7.2 Inventário Piloto

O inventário piloto é uma pequena amostragem que tem como objetivos:

- Testar a metodologia escolhida;
- Determinar o tempo necessário para deslocamento, demarcação e medição;
- Definir equipamentos e materiais necessários;
- Treinar a equipe de inventário;
- Determinar a média e variância preliminares;
- Determinar o número de unidades amostrais necessárias para representar a população com uma determinada probabilidade de confiança para a média.

O processo a ser utilizado no inventário piloto deve ter a mesma metodologia do inventário definitivo.

7.3 Plano do inventário

O planejamento do inventário vem a seguir, após o inventário piloto e a determinação do número de parcelas amostrais necessário para o inventário definitivo com a precisão desejada.

O planejamento deverá resultar num documento que deverá incluir os seguinte tópicos:

- Introdução;
- Objetivos;
- Revisão bibliográfica;
- Metodologia;
- Atividades;
  - Levantamento de campo;
  - Processamento de dados;
  - Análise de resultados;
  - Elaboração de relatório;
  - Apresentação/divulgação dos resultados;
- Cronograma;

- Orçamento.

7.4 Treinamento da equipe

O treinamento da equipe de inventário deve ser teórico e prático e realizado durante o inventário piloto acerca da distribuição das UAs, calibração e operação de equipamentos, localização, demarcação e medição das unidades amostrais, indivíduos a considerar e variáveis a medir.

7.5 Execução do levantamento

A execução do inventário florestal envolve as seguintes atividades:

- Mapeamento;
- Distribuição das UAs;
- Plano de trabalho - Relação de tarefas, pessoal, equipamentos;
- Calibração de equipamentos;
- Locação, demarcação e medição das UAs;
- Medição dos indivíduos nas UAs;
- Descarregamento de dados;
- Verificação e correção de dados.

7.5.1 Fases da execução de inventário florestal madeireiro

Um inventário florestal madeireiro é executado na seguinte sequência de atividades:

- Mapeamento;
- Distribuição das UAs e árvores a cubar;
- Plano de trabalho - Relação de tarefas, pessoal, equipamentos;
- UAs;
  - Calibração de equipamentos;
  - Locação, demarcação e medição das UAs;
  - Medição dos indivíduos nas UAs;
  - Descarregamento de dados;
  - Verificação e correção de dados;

- Cubagem;
  - Calibração de equipamentos;
  - Preparação de ferramentas (motosserra, facão);
  - Locação dos pontos amostrais para seleção das Árvores;
  - Abate e medição das Árvores;
  - Digitação de dados;
  - Verificação e correção de dados;
  - Cálculo dos volumes;
  - Ajuste de equações.

7.5.2 Ferramentas, equipamentos e materiais utilizados

A seguir são listados os principais equipamentos e ferramentas utilizados em inventários florestais:

- Motosserra;
- Guia de afiação;
- Lima chata;
- Limatão (correia);
- Chave de regulagem;
- Óleo lubrificante;
- Combustível;
- Facão;
- Foice;
- Alavanca;
- Cunhas;
- EPI - luvas, viseira, capacete, protetor auricular, botina com biqueira de aço, calça de operador (12 lonas);
- Mapa de locação das UAs e árvores para cubagem;
- Prancheta, caneta, lapiseira, borracha e fichas de levantamento;
- Coletor de dados ou tablet;
- GPS;
- Hipsômetro;
- Jogo de pilhas elétricas para os aparelhos e jogo reserva;

- Bússola;
- Trena/Suta para CAP/DAP;
- Trena 50 m;
- Balizas;
- Cruzeta;
- Medidor de raio de copa;
- Veículo de transporte.

7.5.3 Equipe de inventário

Uma equipe de inventário florestal deve ser composta por:

- Coordenador;
- Medidor de diâmetros;
- Medidor de alturas;
- Anotador;
- Auxiliar geral.

7.6 Processar dados

O processamento dos dados compõe-se do seguinte:

- Classificação e estruturação;
- ajuste de equações:
  - distribuição/frequência;
  - crescimento;
  - sítios / área basal;
  - relação hipsométrica;
  - volume;
  - sortimentos;
- Programação;
- Processamento propriamente dito.

7.7 Analisar resultados

Analisar os resultados de um inventário envolve:

- Comparar com anteriores e semelhantes;
- Procurar causas das diferenças;
- Fazer prognoses;
- Determinar estatísticas para planejamento.

7.8 Elaborar relatório

O relatório de um inventário florestal é o tema do Capítulo 8 e deve ser composto pelo seguinte:

- Resumo executivo;
- Sumário;
- Introdução;
  - Identificação;
  - Histórico;
  - Revisão bibliográfica;
    - Sobre o objeto do inventário;
    - Sobre outros inventários semelhantes;
    - Sobre resultados de inventários na região.;
  - Descrição da situação atual.;
- Objetivos.;
- Metodologia;
  - Objeto (Floresta e Ambiente);
  - Precisão requerida;
  - Abordagem no tempo;
  - Processo de amostragem;
  - Unidades amostrais;
  - Variáveis medidas;
  - Variáveis estimadas;
  - Medições realizadas e equipamentos usados;

    - Estatísticas realizadas;
    - Equações testadas;
    - Outros.;
- Resultados e discussão;
- Conclusões;
- Bibliografia citada

7.9 Apresentar e divulgar resultados

A etapa de apresentação e divulgação dos resultados do inventário florestal passa pelas seguintes fases:

- Impressão do relatório (1ª versão);
- Distribuição/Entrega do relatório;
- Elaboração da apresentação;
- Apresentação;
- Correções;
- Impressão da versão final;
- Distribuição do relatório final.

8 RELATÓRIO DE INVENTÁRIO FLORESTAL

O relatório de um inventário florestal tem geralmente um caráter técnico, mas pode incluir aspectos gerenciais referentes à logística, ao tempo de execução, entre outros. Aqui iremos nos ater ao aspecto técnico por ser mais compreensível aos estudantes do assunto e facilitar a didática de quem ensina.

8.1 Componentes de um relatório de inventário florestal

Um exemplo de relatório de inventário florestal é apresentado no Apêndice A.

As partes de um relatório técnico de um inventário florestal devem incluir:

1) Capa;
2) Folha de rosto;
3) Apresentação – explicar a motivação do inventário;
4) Resumo executivo – resumo útil para quem precisa de somente uma síntese do inventário;
5) Sumário – títulos de nível 1 e 2 com as referências das páginas onde se encontram;
6) Introdução – histórico da área a inventariar, ambientação social e econômica, descrição da estrutura do relatório, etc.;
7) Objetivos – identificar o objetivo geral do inventário e específicos;
8) Metodologia – identificação da floresta, do local e ambiente; abordagem temporal do inventário; método, sistema e processo de amostragem, inclusive equações utilizadas para as diferentes etapas e fins do inventário, precisão requerida, etc.; equipe executora do inventário piloto e definitivo; materiais e equipamentos utilizados; forma de processamento dos dados;
9) Inventário piloto – tempo de acesso à floresta; tempo para localizar e locar as unidades amostrais; tempo médio necessário para medição de cada unidade amostral; resultados estatísticos e determinação da suficiência amostral;
10) Inventário definitivo – resultados do inventário quanto ao número de unidades amostrais instaladas e medidas; cubagem e análise de tronco; ajuste e modelagem de equações; classificação de sítios; distribuição por classe diamétrica; estatísticas amostrais; discussão dos resultados;

11) Conclusões acerca dos objetivos geral e específicos;
12) Recomendações;
13) Referências;
14) Anexos e apêndices.

8.2 Exemplo de relatório de inventário florestal

Um exemplo completo de relatório de inventário florestal é apresentado no Apêndice1.

8.2.1 Capa

Tanto a capa quanto a folha de rosto, ou a estrutura do relatório de um inventário florestal poderão variar de acordo com os padrões utilizados por cada profissional ou organização executora, ou exigências do contratante. Portanto, considere-se este exemplo de relatório como uma sugestão.

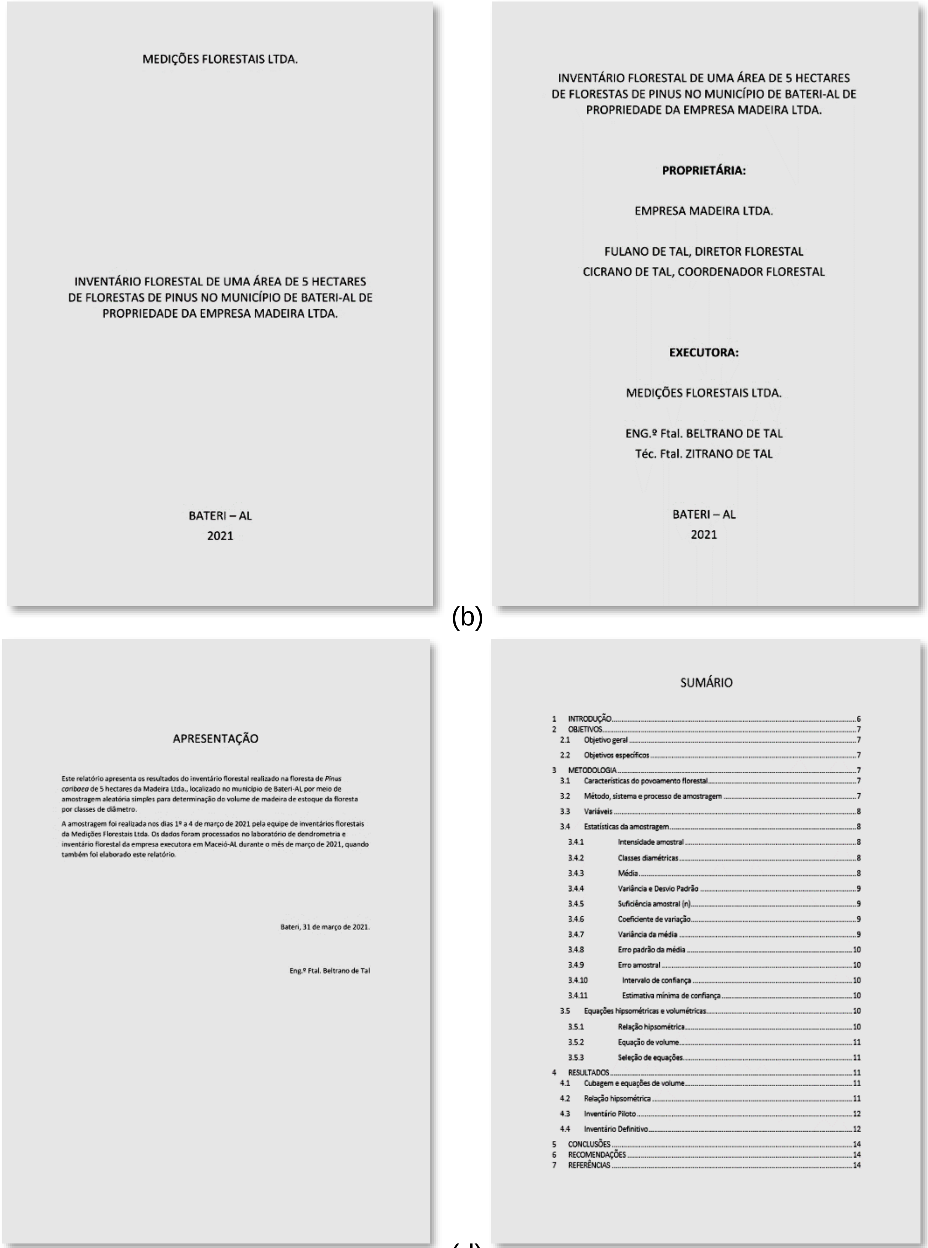
A capa deve conter o nome da organização ou do profissional que executou o inventário no topo, no meio deve ficar o título do relatório e no pé da página o local sobrepondo o ano de execução (Figura 37 - a).

8.2.2 Folha de rosto

Na folha de rosto deve estar o título do relatório no cabeçalho, abaixo vem o nome dos prepostos do contratante ou cliente do serviço. Abaixo desses, o nome da organização executora quando existir e a relação de pessoal técnico da equipe executora. Ao pé da página, novamente o local sobrepondo o ano de execução (Figura 37 - b).

8.2.3 Folha de apresentação

Nem sempre haverá uma apresentação; se houver, deverá ser para explicar o porquê da necessidade do inventário em poucos parágrafos e em uma só página (Figura 37 - c).



MEDIÇÕES FLORESTAIS LTDA.

INVENTÁRIO FLORESTAL DE UMA ÁREA DE 5 HECTARES
DE FLORESTAS DE PINUS NO MUNICÍPIO DE BATERI-AL DE
PROPRIEDADE DA EMPRESA MADEIRA LTDA.

BATERI – AL
2021

INVENTÁRIO FLORESTAL DE UMA ÁREA DE 5 HECTARES
DE FLORESTAS DE PINUS NO MUNICÍPIO DE BATERI-AL DE
PROPRIEDADE DA EMPRESA MADEIRA LTDA.

PROPRIETÁRIA:

EMPRESA MADEIRA LTDA.

FULANO DE TAL, DIRETOR FLORESTAL
CICRANO DE TAL, COORDENADOR FLORESTAL

EXECUTORA:

MEDIÇÕES FLORESTAIS LTDA.

ENG.º Ftal. BELTRANO DE TAL
Téc. Ftal. ZITRANO DE TAL

BATERI – AL
2021

APRESENTAÇÃO

Este relatório apresenta os resultados do inventário florestal realizado na floresta de *Pinus caribaea* de 5 hectares da Madeira Ltda., localizado no município de Bateri-AL por meio de amostragem aleatória simples para determinação do volume de madeira de estoque da floresta por classes de diâmetro.

A amostragem foi realizada nos dias 1º a 4 de março de 2021 pela equipe de inventários florestais da Medições Florestais Ltda. Os dados foram processados no laboratório de dendrometria e inventário florestal da empresa executora em Maceió-AL durante o mês de março de 2021, quando também foi elaborado este relatório.

Bateri, 31 de março de 2021.

Eng.º Ftal. Beltrano de Tal

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 6
2 OBJETIVOS 7
2.1 Objetivo geral 7
2.2 Objetivos específicos 7
3 METODOLOGIA 7
3.1 Características do povoamento florestal 7
3.2 Método, sistema e processo de amostragem 7
3.3 Variáveis 8
3.4 Estatísticas da amostragem 8
3.4.1 Intensidade amostral 8
3.4.2 Classes diamétricas 8
3.4.3 Média 8
3.4.4 Variância e Desvio Padrão 9
3.4.5 Suficiência amostral (n) 9
3.4.6 Coeficiente de variação 9
3.4.7 Variância da média 9
3.4.8 Erro padrão da média 10
3.4.9 Erro amostral 10
3.4.10 Intervalo de confiança 10
3.4.11 Estimativa mínima de confiança 10
3.5 Equações hipsométricas e volumétricas 10
3.5.1 Relação hipsométrica 10
3.5.2 Equação de volume 11
3.5.3 Seleção de equações 11
4 RESULTADOS 11
4.1 Cubagem e equações de volume 11
4.2 Relação hipsométrica 11
4.3 Inventário Piloto 12
4.4 Inventário Definitivo 12
5 CONCLUSÕES 14
6 RECOMENDAÇÕES 14
7 REFERÊNCIAS 14

(a) (b) (c) (d)

FIGURA 37 – Exemplo de capa (a), folha de rosto (b), página de apresentação (c) e sumário (d) de um relatório de inventário florestal.

8.2.4 Resumo executivo

O resumo executivo não deve ultrapassar uma página, devendo descrever brevemente a área inventariada, o objetivo do inventário, metodologia empregada, resultados e conclusões, com a finalidade de ser útil para quem precisa de somente uma síntese do inventário. Deste item em diante, o relatório se refere à parte técnica em si.

8.2.5 Sumário

É a lista de títulos de nível 1 e 2 com as referências das páginas onde se encontram (Figura 37 - d).

8.2.6 Corpo do relatório

O corpo do relatório compõe-se de:

1. Introdução
2. Objetivos
3. Metodologia
4. Resultados e discussão
5. Conclusões
6. Recomendações
7. Referências

8.2.7 Anexos e apêndices

Anexos são documentos de outrem que os executores do inventário florestal julguem ser necessários para perfeita compreensão e complementação das informações contidas no relatório.

Apêndices são documentos como tabelas de dados, resultados de análise de regressão, etc., que não precisam ficar no corpo do relatório, mas são parte integrante do trabalho realizados.

9 Referências

COCHRAN, W. G. **Técnicas de Amostragem**. Rio de Janeiro: USAID / Fundo de Cultura, 1965. 555p. Tradução de Fernando A. Moreira Barbosa: "*COCHRAN, W. G. Sampling techniques, 2ed. John Wiley & Sons, 1953.*"

DRUSZCZ, J. P. et al. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 42, n. 3, p. 527 - 538, jul./set. 2012.

FLORIANO, E. P. **Fitossociologia Florestal**. São Gabriel: ed. Do autor, 2014.

FLORIANO, E. P. **Manejo Florestal**: para sustentabilidade e excelência. Rio Largo: ed. Do autor, 2018.

GARCIA, P. O.; LOBO-FARIA, P. C. **Metodologias para Levantamentos da Biodiversidade Brasileira**. Juiz de Fora: UFJF/PEGCOL, [2007]. 22p.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. Curitiba, 1997. 316 p.

RETSLAFF, F. A. S. et al. Amostragem em conglomerados pelo método de Bitterlich em Floresta Ombrófila Mista. **Nativa**, Sinop, v. 02, n. 04, p. 194-198, out./dez. 2014.

10 Apêndice A

Exemplo de relatório de inventário florestal

MEDIÇÕES FLORESTAIS LTDA.

INVENTÁRIO FLORESTAL DE UMA ÁREA DE 5 HECTARES
DE FLORESTAS DE PINUS NO MUNICÍPIO DE BATERI-AL DE
PROPRIEDADE DA EMPRESA MADEIRA LTDA.

BATERI – AL

2021

INVENTÁRIO FLORESTAL DE UMA ÁREA DE 5 HECTARES
DE FLORESTAS DE PINUS NO MUNICÍPIO DE BATERI-AL DE
PROPRIEDADE DA EMPRESA MADEIRA LTDA.

PROPRIETÁRIA:

EMPRESA MADEIRA LTDA.

FULANO DE TAL, DIRETOR FLORESTAL
CICRANO DE TAL, COORDENADOR FLORESTAL

EXECUTORA:

MEDIÇÕES FLORESTAIS LTDA.

ENG.º Ftal. BELTRANO DE TAL
Téc. Ftal. ZITRANO DE TAL

BATERI – AL
2021

APRESENTAÇÃO

Este relatório apresenta os resultados do inventário florestal realizado na floresta de *Pinus caribaea* de 5 hectares da Madeira Ltda., localizado no município de Bateri-AL por meio de amostragem aleatória simples para determinação do volume de madeira de estoque da floresta por classes de diâmetro.

A amostragem foi realizada nos dias 1º a 4 de março de 2021 pela equipe de inventários florestais da Medições Florestais Ltda. Os dados foram processados no laboratório de dendrometria e inventário florestal da empresa executora em Maceió-AL durante o mês de março de 2021, quando também foi elaborado este relatório.

Bateri, 31 de março de 2021.

Eng.º Ftal. Beltrano de Tal

RESUMO EXECUTIVO

A floresta de *Pinus caribaea* objeto deste inventário pertencente à Madeira Ltda. Encontra-se com 26 anos de idade e possui 5 hectares de efetivo plantio, localizados no município de Bateri-AL. O povoamento foi submetido a uma amostragem aleatória simples por meio de 9 parcelas amostrais que representam 9,1% da população. A floresta apresentou um número médio de 728 árvores por hectare (N), diâmetro médio de 19,9 cm e altura média de 14,4 m. A área basal média foi de 24,7 m^2/ha e o volume médio foi de 229,4 m^3/ha, sendo que mais de 70% do volume de madeira está concentrado nas árvores com diâmetro acima do médio. O volume total estimado é de 1147 m^3 de madeira nos 5 ha da floresta. O Erro Amostral é de 8% para mais ou para menos da média de volume por hectare. A estimativa mínima de confiança para o volume total é de 1055 m^3.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 6
2 OBJETIVOS 7
2.1 Objetivo geral 7
2.2 Objetivos específicos 7
3 METODOLOGIA 7
3.1 Características do povoamento florestal 7
3.2 Método, sistema e processo de amostragem 7
3.3 Variáveis 8
3.4 Estatísticas da amostragem 8
3.4.1 Intensidade amostral 8
3.4.2 Classes diamétricas 8
3.4.3 Média 8
3.4.4 Variância e Desvio Padrão 9
3.4.5 Suficiência amostral (n) 9
3.4.6 Coeficiente de variação 9
3.4.7 Variância da média 9
3.4.8 Erro padrão da média 10
3.4.9 Erro amostral 10
3.4.10 Intervalo de confiança 10
3.4.11 Estimativa mínima de confiança 10
3.5 Equações hipsométricas e volumétricas 10
3.5.1 Relação hipsométrica 10
3.5.2 Equação de volume 11
3.5.3 Seleção de equações 11
4 RESULTADOS 11
4.1 Cubagem e equações de volume 11
4.2 Relação hipsométrica 11
4.3 Inventário Piloto 12
4.4 Inventário Definitivo 12
5 CONCLUSÕES 14
6 RECOMENDAÇÕES 14
7 REFERÊNCIAS 14

INTRODUÇÃO

A empresa Madeira Ltda. possui um pequeno povoamento de *Pinus caribaea* no município de Bateri-AL, com 26 anos de idade, do qual vem extraindo indivíduos para prover madeira para sua serraria localizada nas proximidades da floresta.

A empresa não depende do povoamento de pinus para abastecer a serraria e usa a madeira proveniente do mesmo para fins especiais esporádicos. Até o presente, tem realizado desbastes, retirando o necessário para essa demanda sem planejar as atividades. Recentemente, decidiu melhorar o manejo da floresta e solicitou a execução de um inventário florestal com essa finalidade, tendo contratado a empresa Medições Florestais Ltda. para executá-lo.

Por ser uma área pequena, decidiu-se por uma amostragem aleatória simples, que deverá mostrar os estoque por classes de diâmetro e a variabilidade da população, permitindo que se obtenha dados para definir práticas de manejo florestal para o futuro do povoamento florestal.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Determinar o volume de estoque de madeira de um povoamento florestal de *Pinus caribaea* com 5 hectares pertencente à empresa Madeira Ltda., localizado no município de Bateri, AL.

Objetivos específicos

- Ajustar equação de relação hipsométrica com os dados do inventário piloto para estimar a altura das árvores do inventário definitivo;
- Cubar ao menos 20 árvores e ajustar equação volumétrica para estimar o volume das árvores;
- Construir uma tabela de distribuição por classes de diâmetro;
- Determinar as estatísticas da amostragem de média, variância, variância da média, erro padrão da média e intervalo de confiança para a média com limite de erro amostral máximo de 10% e 95% de confiança para a média.

METODOLOGIA

Características do povoamento florestal

A área se localiza no município de Bateri-AL, com coordenadas centrais de 9,92838º Sul e 35,99722º Oeste. O clima regional é tropical úmido, sem estação seca, com precipitação média anual de 1350 mm, com umidade relativa do ar acima de 40% e média de 77%, temperaturas mínima de 22ºC, máxima de 34ºC e média de 26ºC. O solo é franco arenoso, de baixa fertilidade, com pH em torno de 5,5. A topografia é ondulada, com altitudes variando de 10 a 65 metros.

O povoamento floretal constitui-se de uma pequena área de 5,0 ha plantados com *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénécl) Barr. e Golf. de propriedade da empresa Madeira Ltda.

Atualmente a floresta apresenta 26 anos de idade. Foi plantada com espaçamento de 3 metros entre linhas de plantio e 2 metros entre plantas nas linhas, mas o espaçamento atual não apresenta muita regularidade, devido aos desbastes.

Método, sistema e processo de amostragem

As unidades amostrais utilizadas foram parcelas de área fixa, circulares, com área de 506,71 m², correspondendo a um raio de 12,7 m.

As parcelas foram distribuídas de forma aleatória sem restrições sobre a área, sendo inicialmente amostradas 6 parcelas no inventário piloto e, após a determinação do número necerrário para o inventário definitivo, este número foi ampliado para um total de 9 unidades amostrais.

A amostragem foi realizada conforme o processo de amostragem aleatória simples.

7

Variáveis

No inventário piloto foram cubadas 24 árvores, sendo medidos a altura do toco, os diâmetros na altura do toco, a 0,6 m de altura, os diâmetros a 1,3 metros de altura e a cada metro a partir daí, até o topo. Os volumes das árvores cubadas foram calculados pela equação de Smalian e os das árvores das parcelas foram estimados pela melhor equação de volume ajustada com os dados da cubagem.

No inventário piloto foram medidos os diâmetros a 1,3 metros de altura de todas as árvores das parcelas e as alturas das 10 primeiras para ajuste de relação hipsométrica. As alturas das demais árvores foram estimadas pela melhor equação ajustada.

No inventário definitivo, foram medidos somente os diâmetros a 1,3 m de altura de todas as árvores e estimadas todas as alturas e os volumes.

As áreas basais a 1,3 m de altura das árvores foram calculadas pela equação:

$$g = \pi \,.\, d^2 / 4$$

Onde: g = área basal individual da árvore em m²; d = diâmetro do tronco a 1,3 m de altura em metros.

O número de árvores por hectare (N) das parcelas foi encontrado pela multiplicação de 10000 pelo número de árvores da parcela amostral, divididos pela área da parcela em m².

A área basal média por hectare (G) das parcelas foi calculada pela multiplicação da área basal média individual da parcela (g) pelo número de árvores por hectare da parcela (N).

O volume médio por hectare (V) das parcelas foi calculado pela multiplicação do volume médio individual da parcela (v) pelo número de árvores por hectare da parcela (N).

Estatísticas da amostragem

As estatísticas da amostragem foram realizadas conforme recomendado por Cochran (1965).

Intensidade amostral (IA)

Intensidade amostral (IA) é representada pela percentagem da área da floresta em estudo que foi amostrada, sendo calculada por:

$$IA = n \,.\, a / A$$

Onde: IA = intensidade de amostragem em percentagem; n = número de unidades amostrais; a = área da unidade amostral em m²; A = área da floresta a inventariar em m².

No caso do inventário piloto, com 6 parcelas amostrais de 506,71 m², ou 3.040,26 m² da área de 50000 m² da floresta (5 ha), resultou numa intensidade amostral (IA) de 6,1%, o que significa que a população é considerada finita.

Classes diamétricas

O número de classes diamétricas foi determinado pelo método de Floriano (2018), utilizando-se a equação:

$$k = n^{0,175} \,.\, (LS_d - LI_d)^{0,3}$$

Onde: k = número de classes diamétricas; n = número total de árvores amostradas em todas as parcelas do inventário; LS_d = limite superior dos diâmetros das árvores em cm; LI_d = limite inferior dos diâmetros das árvores em cm.

Média

As médias amostrais foram calculadas pela expressão:

8

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \bar{x}_i}{n}$$

Onde: $\bar{x}$ = média amostral; $\bar{x}_i$ = média da unidade amostral i; n = número de unidades amostrais; i = número de ordem da unidade amostral.

Variância e Desvio Padrão

A variância amostral foi calculada por:

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

Onde: s_x^2 = variância amostral; $\bar{x}$ = média amostral; $\bar{x}_i$ = média da unidade amostral i; n = número de unidades amostrais; i = número de ordem da unidade amostral.

O Desvio Padrão (S_x) foi calculado pela raiz quadrada da variância, como segue:

$$S_x = \sqrt{S_x^2}$$

Suficiência amostral (n)

A suficiência amostral é definida como o número de unidades amostrais suficientes para representar a população com o erro máximo admitido e previamente determinado em relação à média da população. O cálculo foi realizado para população finita com o fator de correção, como segue:

$$n = \frac{N . t_{(\text{p,GL})}^2 . s_x^2}{N . E^2 + t_{(\text{p,GL})}^2 . s_x^2}$$

Onde: n = número de unidades amostrais suficientes para representar a população; s_x^2 = variância amostral; $\bar{x}$ = média amostral; E = erro amostral admitido (E% x Média); N = número potencial total de parcelas da população; t(p,GL) = valor do t de Student para n-1 graus de liberdade (GL) e nível de probabilidade de confiança para a média desejado; n = número de unidades amostrais.

Coeficiente de variação

O coeficiente de variação em percentagem da média foi calculado pela expressão:

$$CV = \frac{100 . s_x}{\bar{x}}$$

Onde: CV = coeficiente de variação; s_x = desvio padrão; $\bar{x}$ = média amostral.

Variância da média

A Variância da Média foi determinada por:

$$s_{\bar{x}}^2 = \left(\frac{s_x^2}{n - 1}\right) . \left(\frac{N - n}{N}\right)$$

Onde: $S_{\bar{x}}^2$= variância da média; S_x^2 = variância; n = número de unidades amostrais; N = número potencial de unidades amostrais; n = número de unidades amostrais.

9

Erro padrão da média

O Erro Padrão da Média foi determinado por:

$$S_{\bar{x}} = \pm \frac{s_x}{\sqrt{n}} \sqrt{\left(\frac{N-n}{N}\right)}$$

Onde: $S_{\bar{x}}$ = erro padrão da média; s_x = desvio padrão; n = número de unidades amostrais; N = número potencial de unidades amostrais.

Erro amostral

O Erro da Amostragem é calculado para valores absolutos e relativos, como segue:

Erro amostral absoluto (Ea)

$$E_a = \pm\ t_{(p,GL)}.S_{\bar{x}}$$

Erro amostral relativo (Er)

$$E_r = \pm\ \frac{100.t_{(p,GL)}.S_{\bar{x}}}{\bar{x}}$$

Onde: Ea, Er = erro amostral absoluto e relativo, respectivamente; $S_{\bar{x}}$ = erro padrão da média; GL = n – 1 (graus de liberdade); p = probabilidade de confiança desejada para a média; t(p,GL) = valor do t de Student para n-1 graus de liberdade (GL) e probabilidade desejada; n = número de parcelas amostrais.

Intervalo de confiança

$$IC\ [(\bar{x} - t_{(p,GL)}.S_{\bar{x}}) \leq \mu \leq (\bar{x} + t_{(p,GL)}.S_{\bar{x}})] = p$$

Onde: IC = intervalo de confiança; μ = média da população; p = probabilidade de confiança desejada para a média; GL = graus de liberdade = n - 1; t(p,GL) = valor do t de Student para n-1 graus de liberdade (GL) e probabilidade desejada; n = número de parcelas amostrais.

Estimativa mínima de confiança

$$EMC = \bar{x} - t_{(p,GL)}.S_{\bar{x}}$$

Onde: EMC = estimativa mínima de confiança; $\bar{x}$ = média amostral; p = Probabilidade desejada de confiança para a média; GL = graus de liberdade (nº de unidades amostrais – 1); t(p,GL) = valor do t de Student para n-1 graus de liberdade (GL) e probabilidade desejada; n = número de parcelas amostrais.

Equações hipsométricas e volumétricas

Relação hipsométrica

Foram ajustados os seguintes modelos para relação hipsométrica:

- h = b0 + b1 ln(d)
- h = b0 + b1 (1/d)
- h = b0 + b1 ln(d) + b2 (1/d)

10

Equação de volume

Para realizar estimativas de volume das árvores das parcelas, foram ajustados os seguintes modelos:

- $v = b0 + b1 . d^2.h$
- $v = b0 + b1 . d + b2 . h$
- $v = b0 + b1 . d + b2 . h$

Seleção de equações

A seleção da melhor equação de relação hipsométria e de volume foi realizada por meio das estatísticas:

- Coeficiente de Determinação ajustado (R^2aj)
- Erro Padrão de Estimativas em percentagem (Syx%)

RESULTADOS

A área da floresta de *Pinus caribaea* inventariada possui 5,0 ha. Os resultados do inventário são apresentados a seguir para a amostragem piloto e para a amostragem definitiva. O número potencial de unidades amostrais da população de 5,0 ha, com parcelas de 506,71 m² é de aproximadamente 99 unidades amostrais.

Cubagem e equações de volume

Foram cubadas 24 árvores distribuidas aleatóriamente na população, sendo os resultados do ajuste de equações de volume apresentado na Tabela 1, onde se observa que a equação de número 1 foi a melhor, com R^2aj de 0,98 e Syx% de 9%.

TABELA 1 – Resultados do ajuste de equações volumétricas para *Pinus caribaea* com 26 anos de idade em Bateri-AL

Nº	Modelo	Parâmetros			Estatísticas			
		b0	b1	b2	R^2	R^2aj	Syx	Syx%
1	$v = b0 + b1 . d^2.h$	0,034046	4,02E-05	-	0,985367	0,984701	0,066214	9,00%
2	$v = b0 + b1 . d + b2 . h$	-0,97655	0,051537	0,018289	0,951633	0,947026	0,123212	16,76%
3	$v = b0 + b1 . d + b2 . h$	-0,97655	0,051537	0,018289	0,951633	0,947026	0,123212	16,76%

Onde: v = volume individual em m³; d = diâmetro a 1,3 m de altura; b0, b1 e b2 = parâmetros ajustados; R^2 = coeficiente de determinação; R^2aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão de estimativas em m³; Syx% = erro padrão de estimativas em percentagem.

Relação hipsométrica

Nas 6 parcelas amostrais do inventário piloto foram medidos todos os diâmetros de todas as árvores e as alturas das 10 primeiras árvores de cada parcela para ajuste de equações hipsométricas. Os resultados do ajuste das equações é apresentado na Tabela 2, onde se percebe que a equação número 3 foi a melhor, com maior R^2aj (0,97) e menor Syx% (4,4%).

11

TABELA 2 – Resultados do ajuste de equações hipsométricas para *Pinus caribaea* com 26 anos de idade em Bateri-AL

Nº	Modelo	Parâmetros			Estatísticas			
		b0	b1	b2	R^2	R^2aj	Syx	Syx%
1	h = b0 + b1 ln(d)	-13,1285	9,402095	-	0,9581	0,9574	0,732	5,20
2	h = b0 + b1 (1/d)	23,1548	-153,229	-	0,9131	0,9116	1,054	7,49
3	h = b0 + b1 ln(d) + b2 (1/d)	-44,1805	17,38186	134,3939	0,9704	0,9693	0,621	4,41

Onde: h = altura em m; d = diâmetro a 1,3 m de altura; b0, b1 e b2 = parâmetros ajustados; R^2 = coeficiente de determinação; R^2aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão de estimativas em m^3; Syx% = erro padrão de estimativas em percentagem.

Inventário Piloto

No inventário piloto foram medidas 6 unidades amostrais com raio de 12,7 metros, com área de 506,71 m^2, correspondendo a uma área amostral total de 0,304 hectares, o que corresponde a 6,1% de intensidade amostral, induzindo a utilização das equações para população finita, pois a amostragem é superior a 2% da população.

Como resultado do inventário piloto, encontrou-se uma média de volume de 235,0 m^3/ha com uma variância de 861,4 $(m^3/ha)^2$. O erro máximo admitido é de 10%, ou 23,5 m^3/ha.

Com estes dados estimou-se um número de 9 parcelas amostrais para obter-se uma média com erro máximo de +/-10%.

Inventário Definitivo

No inventário definitivo foram locadas no campo 10 unidades amostrais, entretanto a unidade de número 9 foi perdida, tendo-se substituído pela unidade de número 10. Foram medidas 9 parcelas das 99 unidades amostrais potenciais da população, representando uma intensidade amostral de 9,1%.

Os resultados por classe diamétrica são apresentados na Tabela 3 e os resultados por unidade amostral são apresentados na Tabela 4. A floresta apresenta um número médio de 728 árvores por hectare (N), diâmetro médio de 19,9 cm e altura média de 14,4 m. A área basal média é de 24,7 m^2/ha e o volume médio é de 229,4 m^3/ha, sendo que mais de 70% do volume está concentrado nas árvores com diâmetro acima do médio.

TABELA 3 - Resultados por classe de diâmetro do povoamento de *Pinus caribaea* em Bateri-AL

Classes de diâmetro (cm)				Freq	N	d	h	g	v	G	V	V
Ordem	>=LI	<LS	CC	(nº de árv.)	(árv/ha)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(m^2/ha)	(m^3/ha)	%
1	10,00	13,14	11,57	77	169	11,69	10,08	0,01083	0,0905	1,83	15,28	7%
2	13,14	16,29	14,71	30	66	14,90	11,82	0,01748	0,1402	1,15	9,23	4%
3	16,29	19,43	17,86	45	99	18,02	13,51	0,02556	0,2115	2,52	20,87	9%
4	19,43	22,57	21,00	52	114	20,96	15,16	0,03456	0,3029	3,94	34,54	15%
5	22,57	25,71	24,14	48	105	23,94	16,57	0,04505	0,4169	4,74	43,88	19%
6	25,71	28,86	27,29	62	136	26,97	18,08	0,05717	0,5643	7,77	76,72	33%
7	28,86	32,00	30,43	18	39	29,89	19,36	0,07023	0,7317	2,77	28,88	13%
Médias				332	728	19,90	14,43	0,03397	0,3151	24,7	229,4	100%

12

Coeficiente de Variação (%)	-	-	30,38	21,89	55,62	63,17	-	-	-

Onde: LI = limite inferior da classe de diâmetro em cm; LS = limite superior da classe de diâmetro; Freq = frequência de árvores na classe de diâmetro observada; N = número de árvores por hectare; d = diâmetro a 1,3 m de altura; h = altura em m; g = área basal média da classe em m²; v = volume médio da classe em m³; G = área basal por hectare em m²/ha; V = volume por hectare em m³/ha.

A Variância da população (s_x^2) foi de 633,4 (m³/ha)², resultando num Desvio Padrão (s_x^2) de 25,2 m³/ha e num Coeficiente de Variação de 11% (Tabela 4).

TABELA 4 - Resultados por parcela do povoamento de *Pinus caribaea* em Bateri-AL

Parcela nº	d (cm)	CV d (%)	h (m)	g (m²)	v (m³)	N (árv/ha)	G (m²/ha)	V (m³/ha)
1	18,1	32,7	13,5	0,02835	0,2573	730,2	20,70	187,9
2	19,9	30,2	14,4	0,03323	0,3020	789,4	26,23	238,4
3	20,7	27,0	14,9	0,03598	0,3312	690,7	24,86	228,8
4	18,8	34,2	13,8	0,03158	0,2985	749,9	23,68	223,9
5	20,2	39,9	14,6	0,03636	0,3514	769,7	27,99	270,5
6	20,4	29,6	14,7	0,03551	0,3300	789,4	28,03	260,5
7	19,6	28,2	14,3	0,03265	0,2993	710,5	23,20	212,7
8	22,1	24,0	15,6	0,03993	0,3709	572,3	22,85	212,3
10	19,8	25,6	14,4	0,03336	0,3063	749,9	25,02	229,7
Médias	20,0	-	14,5	0,03411	0,3163	728,0	24,7	229,4
CV %	5,7	-	4,2	9,7	10,6	9,2	9,8	11,0

Onde: d = diâmetro a 1,3 m de altura; CVd = coeficiente de variação dos diâmetros em %; h = altura em m; g = área basal média da classe em m²; v = volume médio da classe em m³; N = número de árvores por hectare; G = área basal por hectare em m²/ha; V = volume por hectare em m³/ha.

A Variância da Média ($S_{\bar{x}}^2$) ficou em 72,0 (m³/ha)² e o Erro Padrão da Média ($S_{\bar{x}}$) em 8,0 m³/ha.

Com uma Probabilidade de 0,05 e 8 graus de liberdade, o valor de t(p;gl) é de 2,306, que multiplicado pelo Erro Padrão da Média ($S_{\bar{x}}$) resultou num Erro Amostral Absoluto (Ea) de 18,4 m³/ha, ou um Erro Amostral Relativo (Er) de 8,0 %, estando abaixo dos 10% estabelecidos para a amostragem.

O intervalo de confiança (IC) para a média ficou em:

IC (211,0 m³/ha <= μ <= 247,8 m³/ha) = 95%

Portanto, a Estimativa Mínima de Confiança é de 211,0 m³/ha, ou de 1055 m³ para a população de 5 hectares.

13

CONCLUSÕES

Foi ajustada equação de relação hipsométrica com os dados do inventário piloto que apresentou alto Coeficiente de Determinação e baixo Erro Padrão de Estimativas, permitindo estimar as alturas das árvores das parcelas amostrais com boa precisão.

Foi ajustada equação de volume com os dados de 24 árvores cubadas com alto Coeficiente de Determinação e baixo Erro Padrão de Estimativas, permitindo estimar também os volumes das árvores das parcelas amostrais com boa precisão.

A distribuição diamétrica dos dados da população mostrou que os desbastes provocaram irregularidade da frequência nas classes de diâmetro, necessitando correções por meio de desbastes para se obter maior crescimento das árvores de maior dimensão.

O volume de estoque de madeira do povoamento de *Pinus caribaea* com 5 hectares foi determinado com erro amostral dentro do estabelecido para o inventário florestal.

RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se realizar um desbaste por baixo na população com o objetivo de eliminar as menores árvores, principalmente as da menor classe diamétrica para permitir maior espaço para as árvores de maior porte que deverão ter seu crescimento intensificado com a liberação de espaço.

É recomendável realizar um inventário contínuo medindo-se as parcelas amostrais ao menos imediatamente antes dos desbastes e após os desbastes para determinar os critérios para os desbastes, determinar o quanto foi retirado e a situação após os desbastes bem como acompanhar crescimento e estabelecer a melhor maneira de conduzir o manejo do povoamento.

REFERÊNCIAS

FLORIANO, E. P. **Manejo florestal:** para sustentabilidade e excelência. Rio Largo: edição do autor, 2018.

COCHRAN, W.G. **Técnicas de Amostragem**. Rio de Janeiro: USAID / Fundo de Cultura, 1965.

ISBN: 978-65-00-21723-0

9 786500 217230