

## INVENTÁRIO FLORESTAL – Definição e Classificação

### 1. Definição

Inventário florestal é uma atividade que visa obter informações qualitativas e quantitativas dos recursos florestais existentes em uma área pré-determinada.

As informações permitem um melhor controle e administração dos recursos florestais nativos e plantados

É fundamental para a tomada de decisão a nível de:

- Pequenos proprietários
- Empresários
- Indústrias
- Municípios
- Estados
- Poder Nacional

É uma disciplina que requer como base os conhecimentos nas áreas de:

- Estatística Básica
- Dendrometria (Mensuração Florestal)
- Sensoriamento Remoto
- Botânica
- Sistemática
- Dendrologia
- Ecologia

### 2. Classificação dos Inventários Florestais

#### 2.1 Quanto ao tipo

Inventário Florestal Convencional: realizado para obtenção do estoque de produtos florestais (madeiros e não madeiros) de uma área florestal

Inventário para Planos de Manejo: realizado com alto grau de detalhamento (estimativas por classe de DAP e por espécie)

Inventário Pré-Corte: realizado antes da exploração (inventário a 100%) com mapeamento das árvores a serem extraídas

Inventário Florestal Contínuo: realizado para verificar mudanças na floresta em determinado período de tempo (aspecto dinâmico)

Inventário de sobrevivência: realizado após o plantio com o objetivo de verificar o percentual de sobrevivência das mudas no campo

## **2.2 Quanto aos objetivos**

Inventários de cunho tático: são realizados para atender demandas técnicas específicas de uma empresa ou propriedade florestal, tais como elaboração de planos de manejo e exploração, conhecimento da dinâmica da floresta, atualização cadastral, etc.

Inventários de cunho estratégico: São realizados para instruir o poder público na formulação de políticas de conservação, desenvolvimento e uso dos recursos florestais a nível nacional, estadual ou regional (análise de impactos ambientais).

## **2.3 Quanto a abrangência**

Inventário Florestal Nacional: São inventários extensivos que cobrem países inteiros, visando fornecer as bases para definição de políticas florestais e elaboração de planos de desenvolvimento e uso das florestas;

Inventário Florestal Regional: São realizados em grandes áreas, cobrindo regiões fisiográficas ou Estados, com objetivo de embasar planos estratégicos de desenvolvimento regional, programas de colonização, etc;

Inventário Florestal de áreas restritas: São os mais comuns, realizados pelas empresas florestais, visam determinar o potencial florestal para utilização imediata (planos de manejo).

## **2.4 Quanto a obtenção dos dados**

Enumeração total ou censo: Todos os indivíduos da população são observados e medidos, obtendo-se os valores reais (parâmetros da população). Tem maior custo e demandam bastante tempo. Seu uso principal é para o planejamento da extração de madeira onde são medidos todos os indivíduos de interesse comercial a partir de determinado DAP (geralmente 10 cm abaixo do limite do diâmetro de corte);

Amostragem: Constituem a grande maioria dos inventários florestais. São usados para grandes e pequenas populações, gerando resultados no menor espaço de tempo e pelo menor custo. Tem a precisão desejada, porém sempre está associado a um erro de amostragem;

## **2.5 Quanto a abordagem da população no tempo**

Inventários de uma ocasião ou temporários: São caracterizados por uma única abordagem da população no tempo. As unidades amostrais são temporárias;

Inventários de múltiplas ocasiões ou contínuos: São caracterizados por várias abordagens da população no tempo, isto é, o inventário é repetido periodicamente. As unidades amostrais são permanentes e fixadas de maneira a permitir sua localização e identificação a cada nova ocasião do inventário.

## **2.6 Quanto ao detalhamento dos resultados**

Inventários exploratórios: São usados para avaliar a cobertura florestal de determinada região, sua localização, extensão e caracterizar os tipos florestais. Utiliza como base mapas combinados com fotografias aéreas e com imagens de satélites. A coleta de dados de campo é reduzida. As unidades amostrais são concentradas nos tipos florestais de maior interesse ou importância. Os resultados são generalizados (subsídios para a definição de áreas que devem ser inventariadas mais intensivamente).

Inventários de reconhecimento: É aplicado a nível estadual ou regional. Os principais objetivos são: caracterizar os tipos florestais, determinar a composição de espécies, determinar estimativas de volume sem precisão, definir áreas de preservação e unidades de manejo e potencial madeireiro. Ex: Projeto Radam-Brasil;

Inventários detalhados: São os mais comuns e realizados em áreas menores, com maior detalhamento das informações e controle de precisão. Os principais objetivos são determinar a composição florística, estimativas de número de árvores, área basal e volume por espécies, por qualidade de tronco, por classe diamétrica, etc.

### 3. Inventário Florestal Nacional - IFN

- Estimativa da FAO: 97 países realizam IFN, sendo cerca de 60 deles em regiões de florestas tropicais.
- O IFN é uma importante ferramenta na gestão dos recursos florestais dos países. Também tem crescido a sua importância no contexto das agendas internacionais, como mudanças climáticas e biodiversidade.
- Dos países amazônicos, Brasil, Peru, Equador, Colômbia e Suriname já implantaram os seus levantamentos.
- No Brasil: Grade nacional padrão de 20 km x 20 km. Mais de 17.000 pontos de amostragem em todo o território nacional
- Áreas com floresta e sem floresta (plantios florestais, áreas agrícolas, pastos e todas as tipologias florestais)
- No Brasil: já foi realizada a coleta de dados em **18** estados (66,7%), cobrindo uma área de aproximadamente 418 milhões de hectares inventariados.

### 4. Inventário Florestal Completo

Estimativas de área

Descrição da topografia

Mapeamento da propriedade

Descrição de acessos (estradas, rios, etc)

Estimativas da quantidade e da qualidade de diferentes recursos florestais

Estimativas de crescimento (para inventários florestais contínuos)

Facilidade de transporte dos produtos (madeira, não madeireiros)

Informações adicionais sobre fauna, recursos hídricos, etc (de acordo com os objetivos)

### **Exercício**

Classifique os inventários:

a) Para planos de manejo (empresa)

b) Para uma instituição de pesquisa com o objetivo de saber a estrutura e a dinâmica de uma floresta

c) Para o Estado do Pará para definir áreas de proteção e zoneamento

d) Para uma empresa com objetivo de orientar a extração de madeira em uma área de produção anual.

## 5. INVENTÁRIO E MANEJO FLORESTAL

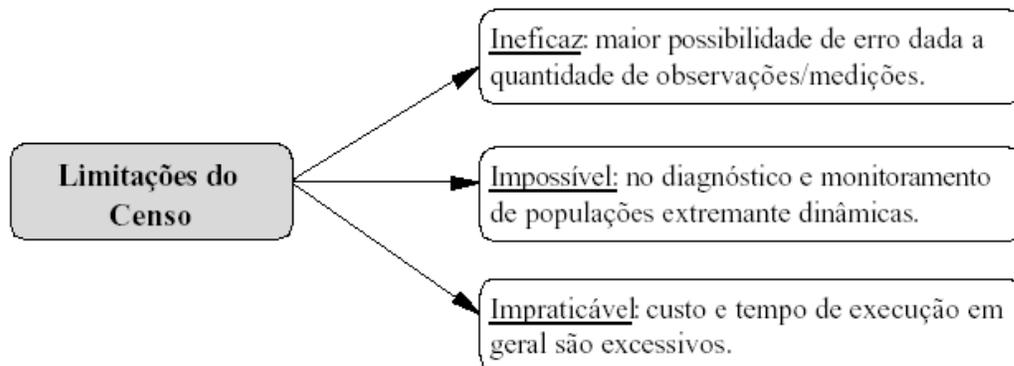
Elementos importantes que devem fazer parte de um inventário florestal direcionado a elaboração de planos de manejo de florestas naturais

1. **Componentes Ecológicos:** Estão relacionados com a importância ecológica das espécies na área em estudo.
  - a. Abundância: número total de árvores amostrado em cada espécie
  - b. Frequência: número de parcelas que contem a espécie
  - c. Dominância: área basal de cada espécie
  - d. Índice de Valor de Importância: índice que agrega os valores de abundância, frequência e dominância.
  
2. **Componentes Florísticos:** referem-se à composição botânica da área em estudo (número de famílias, gêneros e espécies). O tamanho da amostra ideal a ser usada no inventário para definir a estrutura florística deve ser aquele em que, aumentando a área amostrada, a probabilidade de ocorrer novas espécies é praticamente nula.
  
3. **Componentes Dasométricos:** referem-se às variáveis dendrométricas e suas relações. As principais variáveis medidas são:
  - a. Circunferência a altura do peito (CAP), medido a 1,30 m do solo (sempre que possível) ou Diâmetro a altura do peito (DAP);
  - b. Altura do fuste: medida da altura da base da árvore até a inserção dos primeiros galhos
  
4. **Componentes de Estocagem:** estimam a existência de estoque suficiente de regeneração natural (mudas, varas e arvoretas), principalmente das árvores que serão exploradas, para garantir a perpetuação das espécies em quantidade e qualidade. A distribuição diamétrica por espécie fornecerá essas informações.
  
5. **Componentes Qualitativos:** Variáveis subjetivas que caracterizam a configuração qualitativa das árvores
  - a) Forma do fuste: reto, pequenos defeitos, tortuoso;
  - b) Danos: sem danos, danos leves, danos severos;
  - c) Podridão: sem podridão, podridão leve, podridão severa;
  - d) Iluminação da copa: luz total, luz parcial, sombreada
  - e) Forma da copa: normal, irregular, incompleta, rebrotação;
  - f) Presença de cipós: Sem cipó, cipó presente sem causar danos, cipós fortemente atrapalhados ao tronco e/ou a copa

## TEORIA DE AMOSTRAGEM

Conceitos Básicos: Censo x Amostragem

1. **Censo ou completa enumeração**: É a abordagem de 100% dos indivíduos da população. O Censo reproduz exatamente todas as características da população, ou seja, fornece seus parâmetros ou valores reais.



1.1 Casos especiais de aplicação do Censo:

- Áreas pequenas (fragmentos florestais utilizados para pesquisa)
- Inventário Pré-Exploratório

1.2. Inventário Pré-Exploratório, Censo ou Inventário a 100%

- É realizado antes da exploração com mapeamento das árvores a serem extraídas. É a base do planejamento da colheita de madeira, os volumes das espécies individualmente e o volume total a explorar na unidade de produção anual (UPA) são determinados a partir dos dados desse inventário.
- Não usa parcelas, e realizado em toda a UPA (normalmente em faixas de 50m x 1000m)
- As árvores recebem etiquetas com números (nº da UPA, nº da UT e nº seqüencial da árvore) para a cadeia de custódia;
- Não considera todas as espécies, apenas as comerciais e potenciais com diâmetro 10 cm abaixo do limite de corte ( $DAP \geq 35$  cm)

### 1.2.1 Variáveis observadas:

- Identificação das árvores
- Medição do CAP (circunferência)
- Avaliação de altura comercial
- Avaliação da qualidade do tronco
- Identificação da localização através de coordenadas x e y sobre um eixo cartesiano ou coleta de pontos de GPS para cada indivíduo
- Microzoneamento (áreas cipoálicas, pendentes do relevo, grotas, canais de água, afloramentos rochosos)

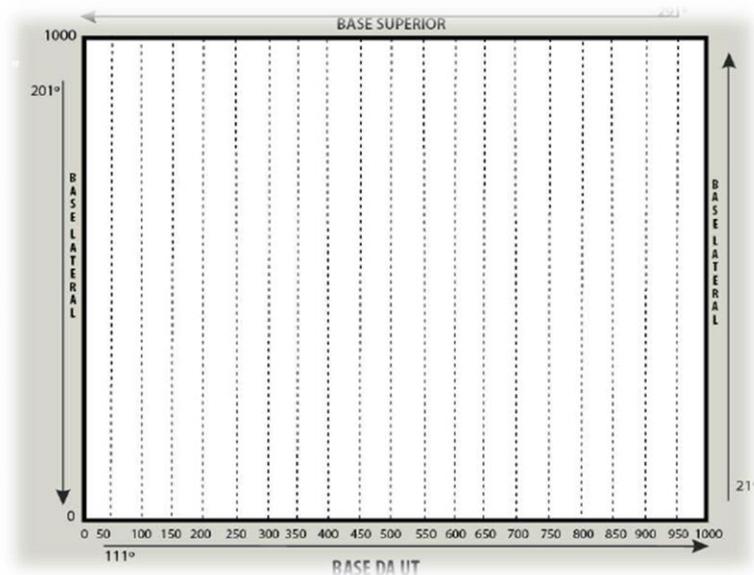


Figura 1: Exemplo de área delimitada para a execução do censo pré-exploratório

### 1.2.2 Resultados do Censo pré-exploratório:

Elaboração de um mapa georeferenciado contendo:

- Seleção de árvores a extrair (seguindo a legislação)
- Seleção das árvores remanescentes
- Seleção de árvores matrizes
- Seleção de espécies protegidas
- Seleção de árvores protegidas (ninhos)

Material para acompanhamento das aulas

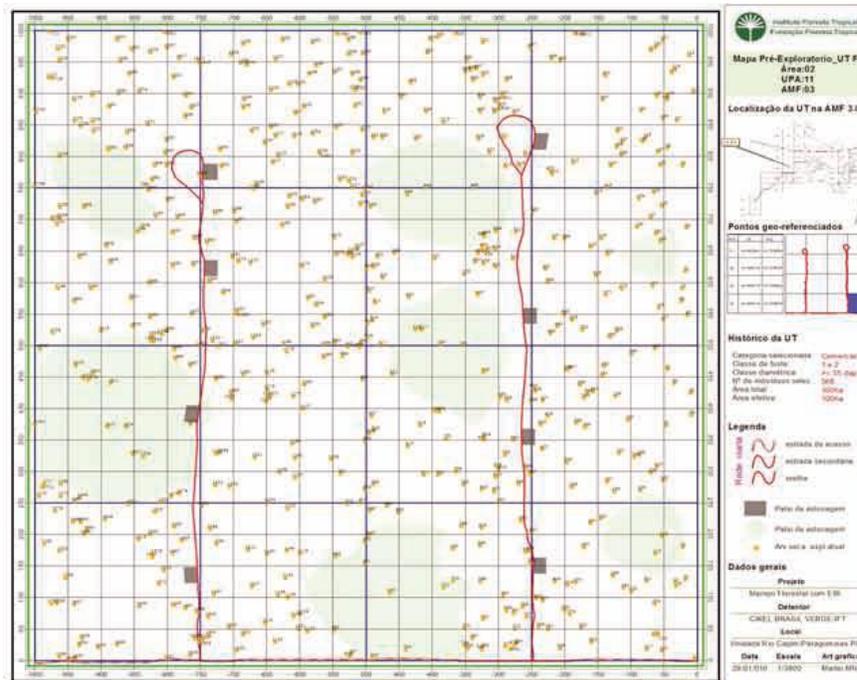


Figura 2: Exemplo de mapa de exploração, resultado do censo pré-exploratório.

## 2. Amostragem

**Conceito:** Consiste em **observar parte** da população para se fazer inferências (concluir algo) a respeito de **toda** a população.

*Termos utilizados em amostragem*

### 2.1. População

É o total de um conjunto de dados sobre o qual desejamos tirar conclusões. Conjunto de elementos que tem, em comum, determinada característica (variáveis de mesma natureza)

- Ex.: População de árvores com  $DAP \geq 10$  cm em uma floresta com 500ha
- População de espécies comerciais com  $DAP \geq 50$  cm em 1500ha de floresta
- População de Breus com  $DAP \geq 5,0$  cm em 300ha de floresta manejada

OBS: A população é definida nos objetivos do inventário. Precisa conter limite de inclusão do DAP e tamanho da área de interesse

## **2.2. Variável**

A característica de interesse que é medida/observada em cada unidade amostral. A variável é classificada em:

- a) Variável Quantitativa: É objetiva e mensurável (CAP, altura, volume, área basal, número de árvores, etc.);
- b) Variável Qualitativa: É subjetiva, tem escala de classificação (qualidade do fuste, nível de iluminação da copa, formato da copa, etc.);
- c) Variável Primária: coletada diretamente no campo (CAP, altura estimada, qualidade do fuste, etc.)
- d) Variável secundária: obtida após processamento (DAP, área basal, volume, índice de diversidade, IVI, etc.).

## **2.3. Amostra**

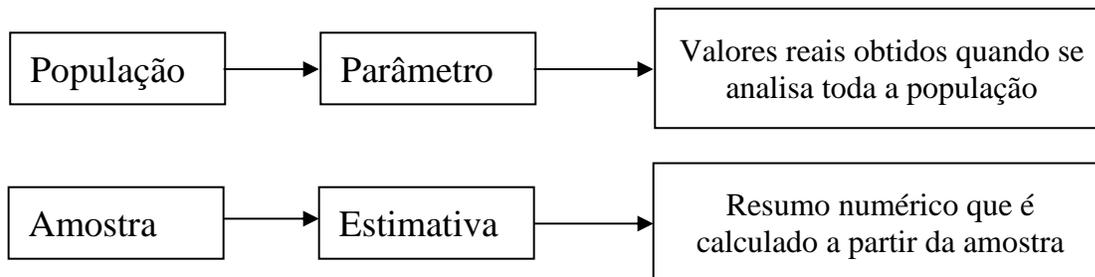
**Amostra:** É qualquer conjunto de elementos, retirado da população, desde que esse conjunto seja não vazio e tenha menor número de elementos do que a população.  
É um subconjunto finito da população.  
É uma redução da população a dimensões menores, sem perda das suas características essenciais

### **2.3.1 Características da Amostra**

- a) Deve ser representativa, ou seja, deve conter em proporção tudo o que a população possui qualitativa e quantitativamente (mesmas características básicas da população).
- b) Deve ser imparcial, isto é, todos os elementos da população devem ter igual oportunidade de fazer parte da amostra.

| <b>Queremos</b>    | <b>Fazemos</b>  |
|--------------------|---|
| Representatividade | Análise da população para ver se seus elementos distribuem-se homogeneamente, ou se formam grupos com características peculiares. Se for esse o caso, temos que respeitar a proporção com que esses grupos integram a população |
| Imparcialidade     | A seleção deve ser um processo inconsciente (independente de desejos e preferências). Sorteio dos elementos que farão parte da amostra  |

**Obs.:** Se não houver representatividade e imparcialidade, a amostragem torna-se tendenciosa ou viciada.



## **2.4 Unidade de Amostra**

É o espaço físico sobre o qual são observadas e medidas as características quantitativas e qualitativas da população

As unidades podem ser:

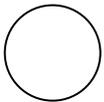
- Parcelas de área fixa
- Pontos amostrais (método de Bitterlich)
- Árvores: pesquisas específicas que envolvem árvore modelo

### **2.4.1 Parcelas de área fixa**

É o Espaço delimitado na área durante a coleta de dados. Possui forma e tamanho pré-definidos

- **Formato da Parcela**

a) Unidades de Amostra Circulares:



- São eficientes, pois para uma mesma área apresenta um menor perímetro.
- Pouco utilizadas em Inventários de florestas tropicais devido às dificuldades encontradas durante os levantamentos de campo para controlar a bordadura, isto é, os limites da UA
- São mais usadas em Inventários de Florestas Plantadas, pois requerem parcelas menores que em florestas tropicais.
- Para melhor controle, devem-se utilizar raios de no máximo 15 m de comprimento.

b) Unidades de Amostra Quadradas



- São muito utilizadas em Inventários de Florestas Plantadas (tamanho 400 ou 900 m<sup>2</sup>, isto é, 20 m ou 30 m de lado);
- Em florestas naturais, o tamanho recomendado é de 900 m<sup>2</sup> a 10.000 m<sup>2</sup>, com comprimento dos lados variando de 30 a 100 metros.
- Mais utilizada em Parcelas Permanentes (PP) nos Inventários contínuos de monitoramento da dinâmica de crescimento das florestas tropicais.
- Variação dentro é menor
- Variação entre é maior (pode gerar maior erro de amostragem)

c) Unidades de amostra retangulares.



- Muito utilizadas em Inventários de Florestas tropicais que têm grande variação na formação florestal, pois captam o máximo de variabilidade da população florestal.
- Quando há o interesse de quantificar e qualificar a regeneração natural, esta é coletada em subamostras ou compartimentos, isto é, feita em diferentes níveis de amostragem.
- Maior praticidade no campo
- Variação dentro é maior e a variação entre é menor (gera mais precisão)
- Permite conhecer a variabilidade do ambiente (gradiente ambiental)
- Em terrenos com declividade acentuada seu maior eixo deve estar no sentido da declividade

- **Tamanho da Parcela**

Não existe um tamanho ideal definido pela literatura, pois vai depender do grau de agrupamento das árvores, dos custos e da precisão requerida.

### **Tamanhos mais utilizados no Brasil**

Florestas plantadas: 10 x 30m (300m<sup>2</sup>); 20 x 30m (600m<sup>2</sup>)

Florestas nativas:

- 10 x 100 m (1.000 m<sup>2</sup>)
  - 10 x 250 m (2.500m<sup>2</sup>);
  - 20 x 100m (2.000m<sup>2</sup>);
  - 20 x 200m (4.000 m<sup>2</sup>);
  - 20 x 250m (5.000 m<sup>2</sup>);
  - 20 x 500m (10.000 m<sup>2</sup>):
- } Para captar árvores de grande porte e para detectar variação de espécies de distribuição gregária

### ***2.5 Intensidade de Amostragem ou Fração Amostral***

É a razão entre o tamanho da amostra e o tamanho total da população.

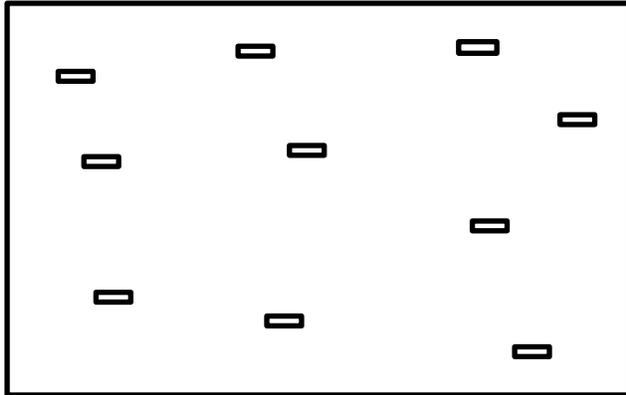
$$F = \frac{n}{N} \quad \text{Valor absoluto}$$

$$F = \frac{n}{N} \times 100 \quad \text{Valor em percentagem}$$

**N** = total das unidades de amostra possíveis em uma população

**n** = número de unidades selecionadas para compor a amostra

Ex.: Área de floresta



Área total = 1.500 ha

Unidade de amostra = 20 x 200 m = 4000 m<sup>2</sup>  
1ha = 10.000 m<sup>2</sup>

$$\text{unidade de amostra (ha)} = \frac{4000m^2}{10000m^2}$$

$$\text{unidade de amostra (ha)} = 0,4ha$$

OBS: cada parcela de 4.000 m<sup>2</sup> ou 0,4ha é uma unidade de amostra

Amostra = 10 unid. x 0,4ha = 4,0ha

n = 10 parcelas

N = Quantas parcelas de 0,4ha cabem em 1.500ha (área total da população)?

$$N = \frac{\text{tamanho da população (ha)}}{\text{tamanho da parcela (ha)}}$$

$$N = \frac{1500}{0,4}$$

$$N = 3750 \text{ parc}$$

$$F = \frac{n}{N}$$

$$F = \frac{10}{3750}$$

$$F = 0,0026$$

Valor absoluto

Valor percentual

$$F = \frac{n}{N} \times 100$$

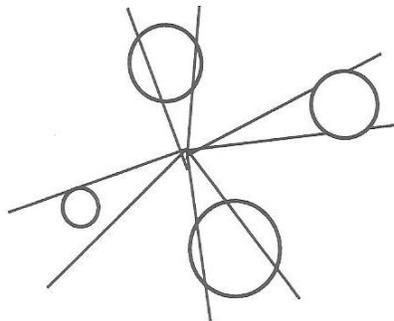
$$F = \frac{10}{3750} \times 100$$

$$F = 0,27\%$$

## 2.6 Pontos amostrais (método de Bitterlich)

Este método tem sido utilizado em inventário de **florestas plantadas** pela inovação que ele representa ao método convencional de área fixa. Ele obtém as estimativas da área basal por hectare sem medir os diâmetros das árvores.

O método consiste em utilizar um aparelho (Barra de Bitterlich ou o Relascópoda espelho) e contar as árvores em um giro de 360°, cujos diâmetros à altura do peito (DAP) são iguais ou maiores a um ângulo conhecido e constante. O número de árvores obtido (n) é multiplicado por uma constante (K), denominada fator de área basal. O resultado fornece diretamente a área basal por ha



Ex: dado um giro de 360°, apenas 3 árvores foram contabilizadas ( $DAP \geq$  ao ângulo de visada)

Supondo que  $K= 2$

$$AB= n.K$$

$$AB = 3. 2$$

$$AB= 6 \text{ m}^2/\text{ha}$$

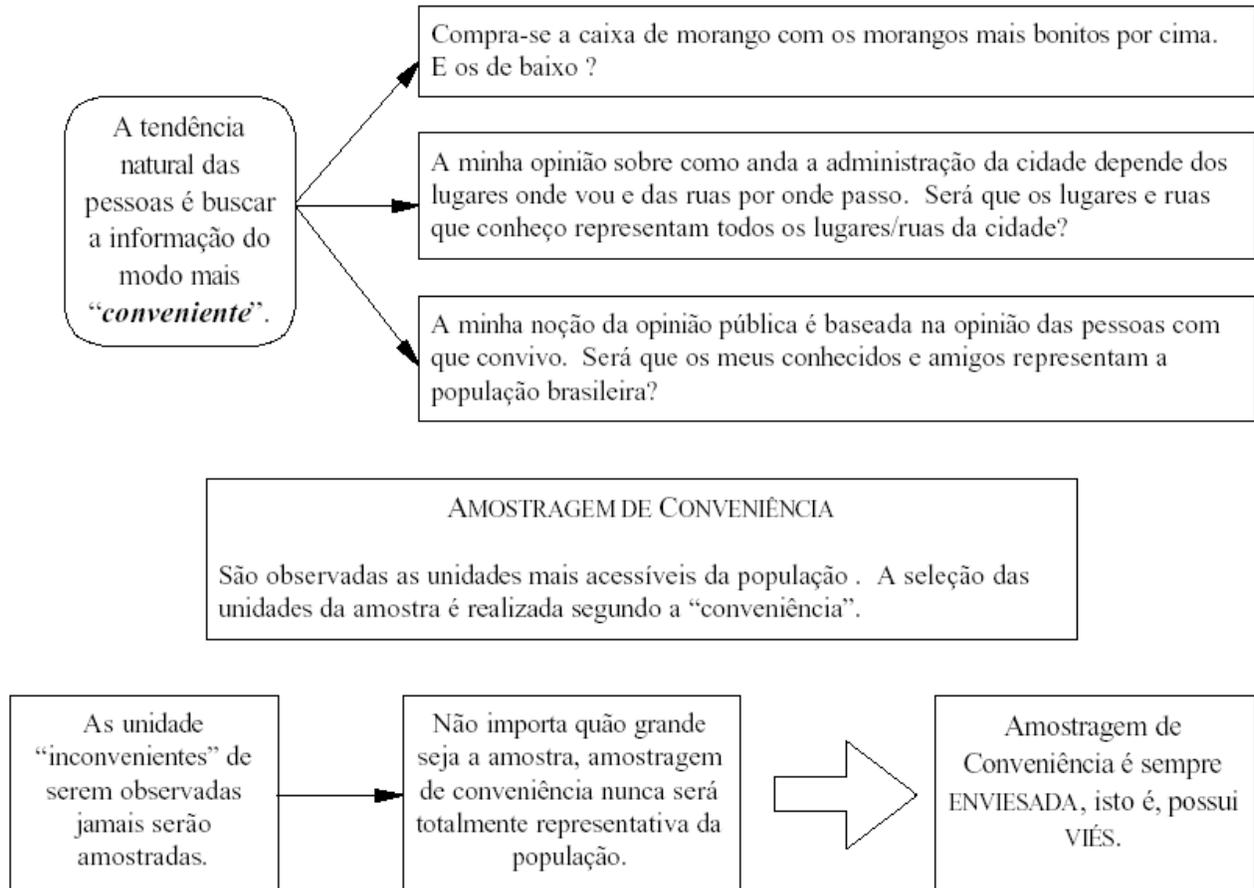
Vantagens do Método de Bitterlich

- Menor tempo gasto na amostragem
- Minimização de erros provenientes da demarcação incorreta da parcela
- As estimativas podem ser obtidas através de aparelhos óticos e também de instrumentos de baixo custo (prisma, vara de Bitterlich)

### Desvantagens do Método de Bitterlich

- Existência de sub-bosque abundante pode aumentar erros de inclusão visual
- Não fornece variáveis importantes necessárias aos inventários (aspecto qualitativo do povoamento). Fornece apenas a estimativa da área basal por há

### *Boa Amostragem? Viés e Precisão*



### VIÉS

Tendenciosidade presente no processo de amostragem que impede que a amostra seja perfeitamente representativa da população, independentemente do tamanho da amostra.

### PRECISÃO

#### *Exemplo 1: Dez Amostras.*

Estudando a influência do sistema de amostragem na estrutura de tamanho das árvores de uma floresta tropical, um Ecologista tomou 10 Amostras compostas de 5 árvores, 10 amostras compostas de 20 árvores e 10 amostras compostas de 40 árvores.

Qual o efeito do tamanho da amostra (número de árvores) nos resultados obtidos?

Médias dos diâmetros de árvores amostradas em uma floresta nativa

| Amostras      | Tamanho das amostras (número de árvores) |      |      |
|---------------|--|------|------|
|               | 5  | 20   | 40   |
| 1             | 26,6                                     | 34,1 | 30,5 |
| 2             | 32,9                                     | 31,2 | 29,8 |
| 3             | 39,2                                     | 40,1 | 37,3 |
| 4             | 30,3                                     | 30,4 | 29,4 |
| 5             | 31,8                                     | 29,7 | 32,7 |
| 6             | 48,0                                     | 38,8 | 31,5 |
| 7             | 37,7                                     | 37,3 | 29,3 |
| 8             | 20,0                                     | 35,6 | 30,6 |
| 9             | 31,8                                     | 37,7 | 31,2 |
| 10            | 33,2                                     | 26,7 | 29,3 |
| Média         |  |      |      |
| Desvio Padrão |  |      |      |

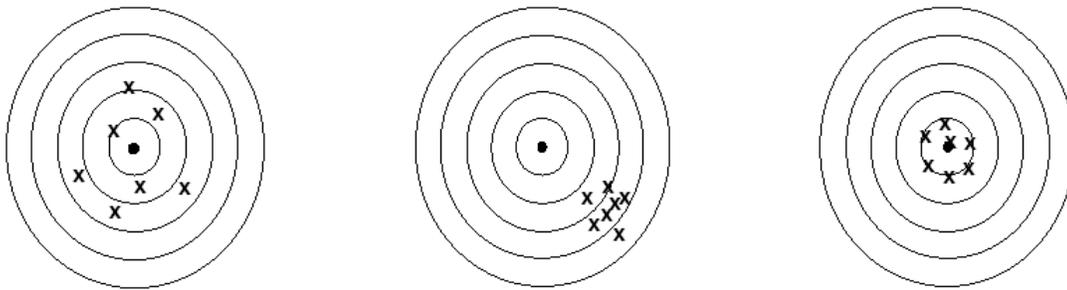
#### Conclusões:

- Amostras com unidades de maior tamanho sempre produzem Estatísticas com menor variabilidade entre as parcelas, ou seja, **unidades de amostras (parcelas) maiores são sempre mais precisas**

### **PRECISÃO**

Capacidade dos sistemas de amostragem de gerar estatísticas com pequena variabilidade entre as parcelas, tomadas em uma mesma população.

Qual o sistema de amostragem ideal?



### **Exercícios**

#### ***1. Produção de Floresta Nativa***

Para saber a produção (madeira para serraria) de uma Floresta Nativa de 5000 *ha*. Um Engenheiro Florestal mediu o CAP, a altura e a qualidade do fuste de todas as árvores com  $DAP \geq 10$  cm e calculou o volume de madeira (*m<sup>3</sup>/ha*) em 52 parcelas de 20 x 200 *ha*. Pede-se:

População:

Unidade Amostral:

Amostra:

Variáveis e sua classificação:

Intensidade amostral:

## ***2. Controle de Qualidade***

Uma serraria vende lotes de 1000 tábuas de madeira tropical nativa a um exportador. Antes do exportador enviar os lotes ao exterior ele verifica uma amostra de 20 tábuas por lote. A serraria e o exportador assinaram um contrato que determina que somente lotes com uma proporção igual ou inferior a 5% de peças defeituosas é aceitável.

População:

Unidade Amostral:

Amostra:

Variável e sua classificação:

Intensidade amostral:

## ***3. Fragmentação Florestal.***

Uma equipe de cientistas deseja monitorar as mudanças ecológicas numa floresta após a fragmentação desta devido a conversão da área floresta para área agrícola. A equipe se encontra dividida entre duas alternativas de amostragem:

1. Monitorar um grande número de fragmentos que sejam de fácil acesso e que representem o atual estado da região.

2. Monitorar um número pequeno de fragmentos que sejam uma amostra representativa da floresta original, independentemente da facilidade de acesso.

Quais as vantagens e desvantagens das duas alternativas?

#### ***4. Instrumento de Medição.***

Um Engenheiro Florestal dispõe de dois instrumentos para medir a altura das árvores. O instrumento A tem alta precisão, mas apresenta um viés sistemático que independe da altura da árvore sendo medida. O instrumento B tem precisão inferior ao instrumento A, mas não apresenta qualquer tipo de viés. Este Engenheiro foi chamado para realizar medições em duas situações:

1. Experimento que compara diferentes híbridos de *Pinus caribaea* - *Pinus elliottii*.
2. Levantamento do volume de madeira em pé numa floresta natural a ser vendido.

Qual dos dois instrumentos deve ser utilizado em cada situação? Por que?

## A Estatística na Teoria da Amostragem

- a) **Parâmetro:** Constitui os valores reais da população, são obtidos quando se mede todos os indivíduos da população.
- b) **Estimativas:** São os dados obtidos quando se mede apenas parte de uma população (amostra).

### *Variáveis observadas no Inventário Florestal*

| Variável                           | Parâmetro (população) | Estimativa (amostra) |
|------------------------------------|-----------------------|----------------------|
| Tamanho                            | N                     | n                    |
| Média                              | $\mu$                 | $\bar{x}$            |
| Amplitude total                    | AT                    | AT                   |
| Variância                          | $\sigma^2$            | $s^2$                |
| Desvio Padrão                      | $\sigma$              | s                    |
| Coefficiente de variação           | CV                    | cv                   |
| Variância da média                 | -                     | $S_{\bar{x}}^2$      |
| Erro padrão/desvio padrão da média | -                     | $S_{\bar{x}}$        |
| Erro de Amostragem                 | -                     | E                    |
| Intervalo de confiança             | -                     | IC                   |

## 1. Medida de tendência Central

### 1.1 Média Aritmética

A média aritmética é determinada pela somatória dos valores observados, divididos pelo número de elementos somados.

OBS: É altamente influenciada pelos seus valores extremos discrepantes

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

$\Sigma$  = somatória

i = índice

n = número de valores somados

A principal característica da média aritmética simples é que a somatória dos desvios dos valores das observações  $x_i$  em relação a média é igual a zero (0).

Ex.: Em uma floresta natural de 100ha foram medidas 5 parcelas de 20 x 200m. Após o processamento dos dados foram obtidos os seguintes valores de volume em  $m^3/ha$  para cada parcela

|       |            |              |                           |
|-------|------------|--------------|---------------------------|
| $x_i$ |            | $n = 5$      | $\bar{x} = \frac{170}{5}$ |
| 1     | $x_1 = 50$ | $\sum = 170$ |                           |
| .     | $x_2 = 45$ |              | $\bar{x} = 34 m^3/ha$     |
| .     | $x_3 = 25$ |              |                           |
| .     | $x_4 = 20$ |              |                           |
| 5     | $x_5 = 30$ |              |                           |

Cálculo dos desvios de cada parcela em relação ao valor médio

|   |                       |  |
|---|-----------------------|--|
| 1 | $x_1 = 50 - 34 = 16$  |  |
| . | $x_2 = 45 - 34 = 11$  |  |
| . | $x_3 = 25 - 34 = -9$  |  |
| . | $x_4 = 20 - 34 = -14$ |  |
| 5 | $x_5 = 30 - 34 = -4$  |  |
|   | $\sum = 0$            |  |

$$\sum(x_i - \bar{x}) = 0$$

A soma dos desvios dos valores das parcelas é sempre igual a zero

## 2. Medidas de Dispersão:

São utilizadas em estatística para quantificar variações, ou seja, medem o grau de dispersão dos valores de um conjunto de dados.

Ex.: Notas de alunos de uma classe: Calcular a média final desses alunos

A = 5, 5, 5, 5      $\bar{x} = 5$  ----- Não tem dispersão

B = 4, 6, 4, 6      $\bar{x} = 5$  ---- Dispersão pequena

C = 0, 4, 6, 10     $\bar{x} = 5$  ---- Dispersão intermediária

D = 0, 0, 10, 10     $\bar{x} = 5$  ---- Maior dispersão

## 2.1. Amplitude - AT

É a diferença entre o maior e o menor valor observado em um conjunto de dados. A amplitude trabalha apenas com os valores extremos. Dois conjuntos de dados podem apresentar a mesma amplitude mesmo que tenham dispersão diferente.

$$AT = xi(maximo) - xi(mínimo)$$

Ex.: dois grupos de pessoas

A = 3, 4, 9, 11, 19, 20 ----- AT = 20 - 3 ---- AT = 17

B = 10, 3, 11, 11, 10, 20 ---- AT = 20 - 3 --- AT = 17

- Mesma amplitude, mas com dispersão diferente, pois a dispersão no grupo A é maior do que no grupo B

## 2.2 Variância – $S^2$

É uma medida quadrática que indica a variação entre as observações

Porque quadrática?

Vamos dar continuidade a análise do exemplo anterior (cálculo da média)

Cálculo dos desvios em relação à média

$$x_1 = 50 - 34 = 16$$

$$x_2 = 45 - 34 = 11$$

$$x_3 = 25 - 34 = -9$$

$$x_4 = 20 - 34 = -14$$

$$x_5 = 30 - 34 = -4$$

$$\Sigma = 0$$

$$\Sigma(xi - \bar{x}) = 0$$

A soma dos desvios dos valores das parcelas é sempre igual a zero

Como quantificar a variação?

$$\bar{x} = 34 \text{ m}^3/\text{ha}$$

2. A soma dos quadrados dos desvios é diferente de zero, ou seja, quantifica a variação

$$\begin{aligned} & x_1 = 50 - 34 = 16^2 \\ \cdot & x_2 = 45 - 34 = 11^2 \\ \cdot & x_3 = 25 - 34 = -9^2 \\ \cdot & x_4 = 20 - 34 = -14^2 \\ 5 & x_5 = 30 - 34 = -4^2 \\ & \Sigma = 670 \end{aligned}$$

$$\Sigma(xi - \bar{x})^2 \neq 0$$

A soma dos quadrados dos desvios dos valores das parcelas é diferente de zero

Quantifica a variação

Em média, quanto cada valor se desviou do valor central?

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

Fórmula da variância quando trabalhamos com toda a população (Censo)

$$S^2 = \frac{670}{5}$$

$$S^2 = 134 \text{ m}^2/\text{ha}$$

**Fórmulas para dados amostrais:** todas levam ao mesmo resultado

$$s^2 = \frac{\sum(xi - \bar{x})^2}{n - 1}$$

$$s^2 = \frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n - 1}$$

$$s^2 = \frac{\sum x_i^2 - n\bar{x}^2}{n - 1}$$

Fórmula teórica  
(não deve ser utilizada)

Porque usar o  $n - 1$  ?

$(n - 1) =$  Graus de liberdade: É a liberdade de afirmação, ou seja, é a garantia de que o valor calculado se aproxima do valor real. Quanto maior o grau de liberdade maior é a precisão da afirmativa.

*Média:* primeira estimativa de um conjunto de dados, não se utiliza outra estimativa para o seu cálculo, por isso não se perde graus de liberdade.

*Variância:* usa-se o valor estimado da média, por isso perde-se um grau de liberdade

### 2.3 Desvio Padrão (s)

É a variância, que é uma função quadrática, expressa de forma linear. Serve para medir a variação de cada observação em relação à média. Quanto menor for o desvio mais precisa será a média da população.

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

### 2.4 Coeficiente de variação (CV)

É uma medida de dispersão relativa, porque estabelece relação entre o desvio padrão e a média, ou seja, é o desvio padrão expresso em porcentagem da média.

$$cv = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$$

CV baixo --- inferior a 10 %

CV médio --- está entre 10 % e 20 %

CV alto --- está entre 20 % e 30 %

CV muito alto --- quando > 30 %

Ex.: Dispersão relativa

#### Grupo A

Idades: 1, 3, 5

$$\bar{x} = 3$$

$$s^2 = 4$$

$$s = 2$$

#### Grupo B

Idades: 53, 55, 57

$$\bar{x} = 55$$

$$s^2 = 4$$

$$s = 2$$

OBS.: A variância do primeiro grupo é igual a variância do segundo grupo, logo a dispersão dos dados em torno da média é exatamente a mesma nos dois grupos.

Grupo A

$$cv = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$$

$$cv = \frac{2}{3} \cdot 100$$

$$CV = 66,7\%$$

Grupo B

$$cv = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$$

$$cv = \frac{2}{55} \cdot 100$$

$$CV = 3,6\%$$

OBS.: A dispersão dos dados em relação a média é muito importante no primeiro grupo (CV = 66,7 %) e pouco importante no segundo grupo (CV = 3,6 %)

Exercício de aplicação

Considere o exemplo hipotético do Quadro 1, em que os dados representam os volumes de cinco parcelas tomadas ao acaso em três florestas.

Quadro .1 - Volumes, em m<sup>3</sup> por parcela, obtidos em três florestas

| N da parcela             | Floresta 1 | Floresta 2 | Floresta 3 |
|--------------------------|------------|------------|------------|
| 1                        | 20         | 25         | 50         |
| 2                        | 18         | 15         | 2          |
| 3                        | 20         | 20         | 10         |
| 4                        | 22         | 28         | 8          |
| 5                        | 20         | 12         | 30         |
| Média                    |            |            |            |
| Variância                |            |            |            |
| Desvio padrão            |            |            |            |
| Coefficiente de variação |            |            |            |

- As três florestas têm uma mesma produção volumétrica média, porém são totalmente diferentes entre si.
- As diferenças entre os volumes observados em cada parcela evidenciam maior ou menor variação entre elas
- A floresta 1 é a mais homogênea e a floresta 3 a mais heterogênea

### 3. Medidas de Precisão

São utilizadas em estatística para quantificar a precisão da amostragem. Só devem ser obtidas quando a coleta de dados for por amostragem

#### 3.1 Variância da média $S_{\bar{x}}^2$

Se ao invés de uma amostra tivéssemos várias provenientes de uma mesma população, obteríamos também diversas estimativas da média, e, provavelmente distintas entre si. A amplitude de variação dessas médias é chamada variância da média

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

n = número de unidades de amostra avaliadas na população

N = número total de unidades de amostra que cabem na população

#### 3.2 Desvio Padrão da Média ou Erro Padrão ( $S_x$ )

É a raiz quadrada da variância da média, ou seja, é a variância da média, que é uma função quadrática, expressa de forma linear.

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

Em termos gerais, o erro-padrão é a medida que expressa o grau de confiabilidade de uma estimativa da média.

Quanto menor o erro padrão maior a precisão da amostragem

### 3.3 Erro de Amostragem (E)

É dado pela diferença entre a média estimada na amostra e a média paramétrica (verdadeira) da população.

Formula:  $\varepsilon = \mu - \bar{x}$

$\varepsilon$  Erro de amostragem

$\mu$  Média paramétrica

$\bar{x}$  Media estimada na amostra

Dividem-se em dois tipos: erros amostrais e erros não-amostrais

**3.3.1 Erros Amostrais:** decorrem do processo de amostragem e são devidos a parte da população que deixou de ser amostrada. O erro amostral é estimado pelo erro padrão multiplicado pelo valor de “t” em determinado nível de probabilidade (95%)

Fórmula:

$$E = s_{\bar{x}} \cdot t \quad (\text{unidades absolutas: m}^3/\text{ha, m}^2/\text{ha ou n/ha})$$

$$E = \frac{s_{\bar{x}} \cdot t}{\bar{x}} \cdot 100 \quad \text{Relativo (expresso em porcentagem do valor da média)}$$

#### O que significa o valor T?

Em inventários florestais usa-se a estatística “T” para medir a incerteza associada com as informações obtidas a partir de amostras estatísticas

T = Valor obtido na tabela “t” com GL = n - 1 e nível de probabilidade 95% ( $\alpha = 0,05$ )

$\alpha$  = incerteza associada a estimativa da média (5%)

Obs.: Para projetos de manejo florestal o erro de amostragem não pode ser superior a 10% do valor da média

### Como reduzir o erro de amostragem?

O erro de amostragem depende de:

1. Variabilidade entre unidades amostrais (variância)
2. Tamanho da amostra (n)
3. Procedimento de amostragem utilizado

Característica intrínseca da população

Pode ser aumentado

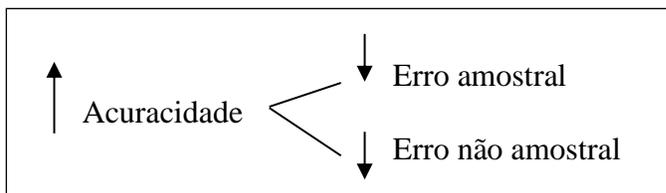
$$s_{\bar{x}}^2 = \frac{s^2}{n} \left(1 - \frac{n}{N}\right)$$

**2.7.2 Erros Não Amostrais:** São erros não relacionados com o processo de amostragem e são originados por diversas causas, tais como:

- a) Negligencia na marcação das unidades amostrais
- b) Erros de medição devidos ao operador ou a instrumentos
- c) Erros de registro
- d) Erros de processamento

Estes erros contribuem significativamente para o erro total do inventário, porém não existe fórmula matemática capaz de avaliar sua grandeza. A única maneira de controlar os erros não amostrais é estabelecer uma supervisão e conferencia efetiva de todas as fases do inventário.

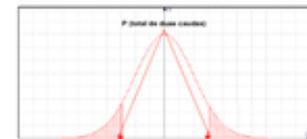
**2.8 Acuracidade:** Expressa o tamanho dos desvios da média estimada em cada unidade de amostra em relação à média paramétrica da população ( $\mu$ )



Não há expressão numérica para medir

Material para acompanhamento das aulas

**Tabela T: Distribuição de t-Student segundo os graus de liberdade e uma dada probabilidade num teste bicaudal (primeira linha)**  
*Para um teste monocaudal, considere metade do valor de probabilidade apontado*



| Nº de graus de liberdade | Probabilidade para um teste bicaudal |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |         |        |         |
|--------------------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|
|                          | 0,95                                 | 0,90   | 0,80   | 0,70   | 0,60   | 0,50   | 0,40   | 0,30   | 0,20   | 0,10   | 0,05    | 0,02    | 0,01   | 0,001   |
| 1                        | 0,0787                               | 0,1584 | 0,3249 | 0,5095 | 0,7265 | 1,0000 | 1,3764 | 1,9626 | 3,0777 | 6,3138 | 12,7062 | 31,8205 | 63,657 | 636,619 |
| 2                        | 0,0708                               | 0,1421 | 0,2887 | 0,4447 | 0,6172 | 0,8165 | 1,0607 | 1,3862 | 1,8856 | 2,9200 | 4,3027  | 6,9646  | 9,9248 | 31,5991 |
| 3                        | 0,0681                               | 0,1366 | 0,2767 | 0,4242 | 0,5844 | 0,7649 | 0,9785 | 1,2498 | 1,6377 | 2,3534 | 3,1824  | 4,5407  | 5,8409 | 12,9240 |
| 4                        | 0,0667                               | 0,1338 | 0,2707 | 0,4142 | 0,5686 | 0,7407 | 0,9410 | 1,1896 | 1,5332 | 2,1318 | 2,7764  | 3,7469  | 4,6041 | 8,6103  |
| 5                        | 0,0659                               | 0,1322 | 0,2672 | 0,4082 | 0,5594 | 0,7267 | 0,9195 | 1,1558 | 1,4759 | 2,0150 | 2,5706  | 3,3649  | 4,0321 | 6,8688  |
| 6                        | 0,0654                               | 0,1311 | 0,2648 | 0,4043 | 0,5534 | 0,7176 | 0,9057 | 1,1342 | 1,4398 | 1,9432 | 2,4469  | 3,1427  | 3,7074 | 5,9588  |
| 7                        | 0,0650                               | 0,1303 | 0,2632 | 0,4015 | 0,5491 | 0,7111 | 0,8960 | 1,1192 | 1,4149 | 1,8946 | 2,3646  | 2,9980  | 3,4995 | 5,4079  |
| 8                        | 0,0647                               | 0,1297 | 0,2619 | 0,3995 | 0,5459 | 0,7064 | 0,8889 | 1,1081 | 1,3968 | 1,8595 | 2,3060  | 2,8965  | 3,3554 | 5,0413  |
| 9                        | 0,0645                               | 0,1293 | 0,2610 | 0,3979 | 0,5435 | 0,7027 | 0,8834 | 1,0997 | 1,3830 | 1,8331 | 2,2622  | 2,8214  | 3,2498 | 4,7809  |
| 10                       | 0,0643                               | 0,1289 | 0,2602 | 0,3966 | 0,5415 | 0,6998 | 0,8791 | 1,0931 | 1,3722 | 1,8125 | 2,2281  | 2,7638  | 3,1693 | 4,5869  |
| 11                       | 0,0642                               | 0,1286 | 0,2596 | 0,3956 | 0,5399 | 0,6974 | 0,8755 | 1,0877 | 1,3634 | 1,7959 | 2,2010  | 2,7181  | 3,1058 | 4,4370  |
| 12                       | 0,0640                               | 0,1283 | 0,2590 | 0,3947 | 0,5386 | 0,6955 | 0,8726 | 1,0832 | 1,3562 | 1,7823 | 2,1788  | 2,6810  | 3,0545 | 4,3178  |
| 13                       | 0,0639                               | 0,1281 | 0,2586 | 0,3940 | 0,5375 | 0,6938 | 0,8702 | 1,0795 | 1,3502 | 1,7709 | 2,1604  | 2,6503  | 3,0123 | 4,2208  |
| 14                       | 0,0638                               | 0,1280 | 0,2582 | 0,3933 | 0,5366 | 0,6924 | 0,8681 | 1,0763 | 1,3450 | 1,7613 | 2,1448  | 2,6245  | 2,9768 | 4,1405  |
| 15                       | 0,0638                               | 0,1278 | 0,2579 | 0,3928 | 0,5357 | 0,6912 | 0,8662 | 1,0735 | 1,3406 | 1,7531 | 2,1314  | 2,6025  | 2,9467 | 4,0728  |
| 16                       | 0,0637                               | 0,1277 | 0,2576 | 0,3923 | 0,5350 | 0,6901 | 0,8647 | 1,0711 | 1,3368 | 1,7459 | 2,1199  | 2,5835  | 2,9208 | 4,0150  |
| 17                       | 0,0636                               | 0,1276 | 0,2573 | 0,3919 | 0,5344 | 0,6892 | 0,8633 | 1,0690 | 1,3334 | 1,7396 | 2,1098  | 2,5669  | 2,8982 | 3,9651  |
| 18                       | 0,0636                               | 0,1274 | 0,2571 | 0,3915 | 0,5338 | 0,6884 | 0,8620 | 1,0672 | 1,3304 | 1,7341 | 2,1009  | 2,5524  | 2,8784 | 3,9216  |
| 19                       | 0,0635                               | 0,1274 | 0,2569 | 0,3912 | 0,5333 | 0,6876 | 0,8610 | 1,0655 | 1,3277 | 1,7291 | 2,0930  | 2,5395  | 2,8609 | 3,8834  |
| 20                       | 0,0635                               | 0,1273 | 0,2567 | 0,3909 | 0,5329 | 0,6870 | 0,8600 | 1,0640 | 1,3253 | 1,7247 | 2,0860  | 2,5280  | 2,8453 | 3,8495  |
| 21                       | 0,0635                               | 0,1272 | 0,2566 | 0,3906 | 0,5325 | 0,6864 | 0,8591 | 1,0627 | 1,3232 | 1,7207 | 2,0796  | 2,5176  | 2,8314 | 3,8193  |
| 22                       | 0,0634                               | 0,1271 | 0,2564 | 0,3904 | 0,5321 | 0,6858 | 0,8583 | 1,0614 | 1,3212 | 1,7171 | 2,0739  | 2,5083  | 2,8188 | 3,7921  |
| 23                       | 0,0634                               | 0,1271 | 0,2563 | 0,3902 | 0,5317 | 0,6853 | 0,8575 | 1,0603 | 1,3195 | 1,7139 | 2,0687  | 2,4999  | 2,8073 | 3,7676  |
| 24                       | 0,0634                               | 0,1270 | 0,2562 | 0,3900 | 0,5314 | 0,6848 | 0,8569 | 1,0593 | 1,3178 | 1,7109 | 2,0639  | 2,4922  | 2,7969 | 3,7454  |
| 25                       | 0,0633                               | 0,1269 | 0,2561 | 0,3898 | 0,5312 | 0,6844 | 0,8562 | 1,0584 | 1,3163 | 1,7081 | 2,0595  | 2,4851  | 2,7874 | 3,7251  |
| 26                       | 0,0633                               | 0,1269 | 0,2560 | 0,3896 | 0,5309 | 0,6840 | 0,8557 | 1,0575 | 1,3150 | 1,7056 | 2,0555  | 2,4786  | 2,7787 | 3,7066  |
| 27                       | 0,0633                               | 0,1268 | 0,2559 | 0,3894 | 0,5306 | 0,6837 | 0,8551 | 1,0567 | 1,3137 | 1,7033 | 2,0518  | 2,4727  | 2,7707 | 3,6896  |
| 28                       | 0,0633                               | 0,1268 | 0,2558 | 0,3893 | 0,5304 | 0,6834 | 0,8546 | 1,0560 | 1,3125 | 1,7011 | 2,0484  | 2,4671  | 2,7633 | 3,6739  |
| 29                       | 0,0633                               | 0,1268 | 0,2557 | 0,3892 | 0,5302 | 0,6830 | 0,8542 | 1,0553 | 1,3114 | 1,6991 | 2,0452  | 2,4620  | 2,7564 | 3,6594  |
| 30                       | 0,0632                               | 0,1267 | 0,2556 | 0,3890 | 0,5300 | 0,6828 | 0,8538 | 1,0547 | 1,3104 | 1,6973 | 2,0423  | 2,4573  | 2,7500 | 3,6460  |
| 60                       | 0,0630                               | 0,1262 | 0,2545 | 0,3872 | 0,5272 | 0,6786 | 0,8477 | 1,0455 | 1,2958 | 1,6706 | 2,0003  | 2,3901  | 2,6603 | 3,4602  |
| 90                       | 0,0629                               | 0,1260 | 0,2541 | 0,3866 | 0,5263 | 0,6772 | 0,8456 | 1,0424 | 1,2910 | 1,6620 | 1,9867  | 2,3685  | 2,6316 | 3,4019  |
| 120                      | 0,0628                               | 0,1259 | 0,2539 | 0,3862 | 0,5258 | 0,6765 | 0,8446 | 1,0409 | 1,2886 | 1,6577 | 1,9799  | 2,3578  | 2,6174 | 3,3735  |
| 150                      | 0,0628                               | 0,1259 | 0,2538 | 0,3861 | 0,5255 | 0,6761 | 0,8440 | 1,0400 | 1,2872 | 1,6551 | 1,9759  | 2,3515  | 2,6090 | 3,3566  |
| 180                      | 0,0628                               | 0,1258 | 0,2537 | 0,3859 | 0,5253 | 0,6759 | 0,8436 | 1,0394 | 1,2863 | 1,6534 | 1,9732  | 2,3472  | 2,6034 | 3,3454  |
| 210                      | 0,0628                               | 0,1258 | 0,2537 | 0,3858 | 0,5252 | 0,6757 | 0,8433 | 1,0390 | 1,2856 | 1,6521 | 1,9713  | 2,3442  | 2,5994 | 3,3375  |
| 240                      | 0,0628                               | 0,1258 | 0,2536 | 0,3858 | 0,5251 | 0,6755 | 0,8431 | 1,0387 | 1,2851 | 1,6512 | 1,9699  | 2,3420  | 2,5965 | 3,3315  |
| 270                      | 0,0628                               | 0,1258 | 0,2536 | 0,3857 | 0,5250 | 0,6754 | 0,8430 | 1,0384 | 1,2847 | 1,6505 | 1,9688  | 2,3402  | 2,5942 | 3,3269  |
| 300                      | 0,0628                               | 0,1258 | 0,2536 | 0,3857 | 0,5250 | 0,6753 | 0,8428 | 1,0382 | 1,2844 | 1,6499 | 1,9679  | 2,3388  | 2,5923 | 3,3233  |
| 400                      | 0,0627                               | 0,1257 | 0,2535 | 0,3856 | 0,5248 | 0,6751 | 0,8425 | 1,0378 | 1,2837 | 1,6487 | 1,9659  | 2,3357  | 2,5882 | 3,3150  |
| 500                      | 0,0627                               | 0,1257 | 0,2535 | 0,3855 | 0,5247 | 0,6750 | 0,8423 | 1,0375 | 1,2832 | 1,6479 | 1,9647  | 2,3338  | 2,5857 | 3,3101  |
| 800                      | 0,0627                               | 0,1257 | 0,2534 | 0,3855 | 0,5246 | 0,6748 | 0,8421 | 1,0371 | 1,2826 | 1,6468 | 1,9629  | 2,3310  | 2,5820 | 3,3027  |
| 1000                     | 0,0627                               | 0,1257 | 0,2534 | 0,3854 | 0,5246 | 0,6747 | 0,8420 | 1,0370 | 1,2824 | 1,6464 | 1,9623  | 2,3301  | 2,5808 | 3,3003  |

### 3.4 Intervalo de Confiança (IC)

É o intervalo dentro do qual esperamos encontrar o verdadeiro valor da média da população sob um determinado nível de probabilidade

Probabilidade --- 95% chance de acerto e 5% de chance de erro ( $\alpha = 0,05$ )

99% chance de acerto e 1% de chance de erro ( $\alpha = 0,01$ )

$$IC = \bar{x} \pm s_{\bar{x}} \cdot t$$

$LI = \bar{x} - s_{\bar{x}} \cdot t$  (limite inferior)

$LS = \bar{x} + s_{\bar{x}} \cdot t$  (limite superior)

$$\bar{x} - s_{\bar{x}} \cdot t \leq \mu \leq \bar{x} + s_{\bar{x}} \cdot t$$

$\mu$  : valor da verdadeira média da população

t = valor tabelado ---Tabela "T de student"

Gl: grau de liberdade = n-1

$\alpha$ : nível de significância = 0,05

-- 95 % ou 99 % de probabilidade de o verdadeiro valor da média da população encontrar-se dentro do intervalo de confiança.

### 3.5 Limite de Erro (LE)

É o limite máximo de erro de amostragem, estipulado nos levantamentos florestais.

Existem padrões assumidos:

- Precisão mínima admissível: 10% do valor da média (exigido nos planos de manejo florestal);
- Precisão desejável: 5% do valor da média

O erro de amostragem é influenciado por dois fatores principais:

1. A variabilidade natural, inerente da população (não posso alterar);
2. O número de unidades de amostra coletado na área (posso modificar).

### 3.6 Dimensionamento

Usado para calcular o tamanho da amostra (n) necessário para obter a precisão requerida

$$n = \frac{s^2 \cdot t^2}{(LE \cdot \bar{x})^2 + \frac{s^2 \cdot t^2}{N}} \quad \text{ou} \quad n = \frac{t^2 \cdot (cv\%)^2}{(E\%)^2 + \frac{t^2 \cdot (cv\%)^2}{N}}$$

### Exercícios

1. Para inventariar uma área da floresta nativa com 1250 ha foram planejadas unidades de amostra de 20 x 200 m. Qual o número de parcelas necessário (n) para o inventário piloto, considerando uma intensidade amostral de 0,8%?

Material para acompanhamento das aulas

---

2. Dado um inventário-piloto onde foram utilizadas 15 parcelas de 20m x 250 m cada, distribuídas aleatoriamente em um talhão de floresta tropical com 550 ha. A precisão requerida (limite de erro) é de 10%. Calcule as estatísticas do inventário.

| Parcela | Volume (m <sup>3</sup> /ha) |
|---------|-----------------------------|
| 1       | 37,76                       |
| 2       | 20,90                       |
| 3       | 20,31                       |
| 4       | 23,01                       |
| 5       | 14,43                       |
| 6       | 30,30                       |
| 7       | 19,95                       |
| 8       | 13,43                       |
| 9       | 20,22                       |
| 10      | 22,15                       |
| 11      | 39,47                       |
| 12      | 35,43                       |
| 13      | 26,79                       |
| 14      | 19,23                       |
| 15      | 25,81                       |

Material para acompanhamento das aulas

---

3. Dados duas florestas onde uma equipe realizou o inventário piloto de 10 parcelas aleatoriamente distribuídas em cada área. Calcular as estatísticas do inventário e comparar as duas populações.

Floresta I: 150 ha

Floresta II: 150 ha

Parcela: 20m x 250 m

| Parcela | Floresta I | Floresta II |
|---------|------------|-------------|
| 1       | 6.25       | 15.60       |
| 2       | 12.50      | 14.30       |
| 3       | 15.00      | 15.00       |
| 4       | 25.00      | 15.60       |
| 5       | 13.75      | 15.00       |
| 6       | 10.00      | 15.00       |
| 7       | 17.50      | 14.70       |
| 8       | 20.00      | 14.80       |
| 9       | 8.50       | 14.20       |
| 10      | 21.50      | 15.80       |

## Processos de Amostragem

É a maneira pela qual o conjunto de unidades de amostra será distribuído no campo

Classificação:

### 1. Processo Aleatório

- a. Aleatória irrestrita: Amostragem Inteiramente aleatória ou Aleatória Simples
- b. Aleatória Restrita: Amostragem Estratificada

### 2. Processo Sistemático

- a. Amostragem Sistemática

### 3. Misto

- a. Amostragem em grupos ou conglomerados
- b. Amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios

## Amostragem Aleatória Simples – AAS ou ASA

- É o mais antigo dos procedimentos de amostragem;
- Caracteriza-se por ser um procedimento no qual não há qualquer restrição a casualização;
- Todas as parcelas cabíveis na população têm a mesma chance de serem sorteadas;
- As unidades de amostra devem ser selecionadas independentemente uma das outras e livres de escolhas deliberadas
- A área florestal a ser inventariada é tratada como uma população única

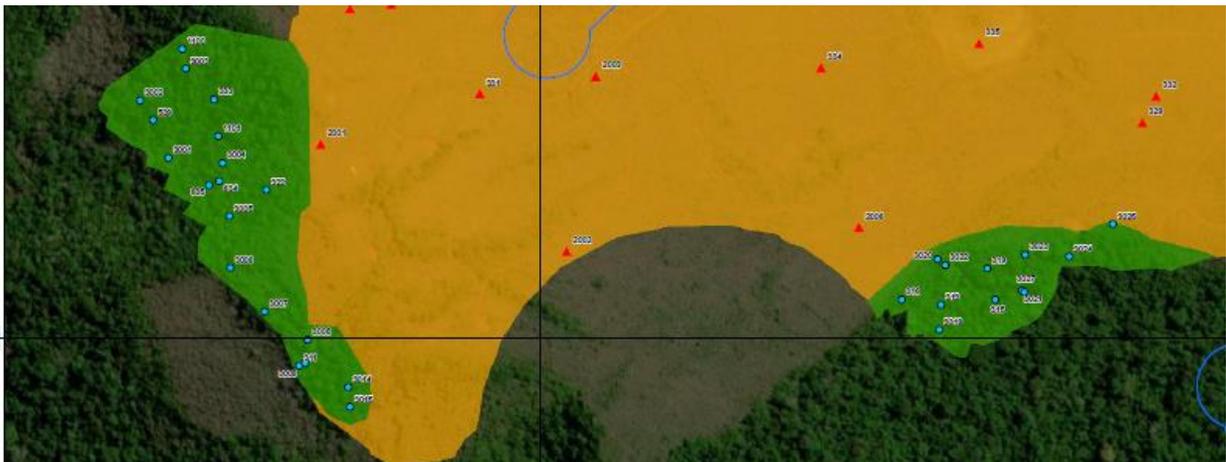
**OBS:** A distribuição das unidades de amostra de forma completamente aleatória somente será eficiente se a área for homogênea quanto a distribuição da variável de interesse (AB, V, DAP, espécies etc.)

|  |
|--|
| <p><u>Eficiência de um processo de Amostragem:</u> Quando se obtém <b>Erro Amostral menor do que 10%</b> com menor custo possível (menor número de parcelas)</p> |
|--|

## 1. Exigência

O uso da ASA exige fotografias aéreas (drone) ou imagens de satélite ou mapas da área para se estabelecer a estrutura de amostragem, a partir da qual será obtida a amostra aleatoriamente.

Exemplo:



Áreas de expansão da mina de ferro do Projeto S11-D, localizado na Serra Sul da FLONA Carajás, no município de Canaã dos Carajás, região sudeste do Pará. Floresta ombrófila (9,43 hectares) com 31 amostras de 10 x 50m.

## 2. Aplicação

- É mais utilizada em florestas plantadas
- Em florestas naturais, preferencialmente em áreas pequenas (até 500ha), de fácil acesso
- Tipologia Florestal uniforme

## 3. Vantagens

A amostragem aleatória simples produz uma estimativa não tendenciosa da média da população e fornece informações necessárias para avaliar o erro de amostragem

#### 4. Desvantagens (para uso em Floresta Nativa)

- A necessidade de planejar a listagem das unidades para selecionar aleatoriamente as parcelas ou os pontos amostrais;
- A dificuldade de localizar, no campo, a posição das unidades amostrais dispersas na população;
- O tempo improdutivo gasto no deslocamento entre as unidades da amostra;
- Quanto maior a área, mais difícil o acesso, mais acidentada, ou mais densa a floresta, maior o custo de aplicar a ASA.
- A possibilidade de uma distribuição irregular das unidades, resultando em uma amostra irregular e, possivelmente, não representativa da população.

#### 5. Método de seleção das unidades amostrais

- Loteria: As unidades são numeradas de 1 a N e após definida a intensidade amostral (n), escolhe-se por sorteio as unidades que farão parte da amostra (programas computacionais: Bioestat, Assisat, etc)
- Sistema de Coordenadas Geográficas (Pontos de GPS): Sorteiam-se pontos de GPS sobre a imagem da área a ser inventariada;
- Através de números aleatórios: Usa-se a tabela de números aleatórios

### **TABELA DE NÚMEROS ALEATÓRIOS**

É uma lista de 10 dígitos (0,1,2,3,4,5,6,7,8,9) organizada em linhas e colunas que possui as seguintes propriedades:

(1) O dígito em qualquer posição na lista tem a mesma chance de ser um dos dígitos: 0,1,2,3,4,5,6,7,8 ou 9.

(2) Os dígitos em diferentes posições na lista são independentes, no sentido de que o valor de um dígito não influencia o valor de outro.

#### ***Como utilizar Números Aleatórios numa Amostragem?***

1. Numerar todas N unidades da população

Material para acompanhamento das aulas

---

2. Selecionar uma amostra de tamanho  $n$
3. Iniciar num ponto aleatório da Tabela de Números Aleatórios
4. Ler os números sistematicamente seguindo as linhas ou colunas da Tabela.
5. Se um número já lido surgir novamente ou se aparecer um número que não está presente na população, ignorá-lo e seguir para o próximo.
6. Continuar até que  $n$  unidades sejam selecionadas.

### Tabela de Números Aleatórios

(fonte: <https://pt.scribd.com/doc/128729755/tabela-numeros-aleatorios>)

|                |                |                |                |                |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 57 72 00 39 84 | 84 41 79 67 71 | 40 21 13 97 56 | 49 86 54 08 93 | 29 68 74 54 83 |
| 28 80 53 51 59 | 09 93 98 87 58 | 70 27 71 77 17 | 06 32 02 78 62 | 16 74 69 65 17 |
| 92 59 18 52 87 | 30 48 86 97 48 | 35 25 18 88 74 | 03 62 98 38 58 | 65 86 42 41 03 |
| 90 38 12 91 74 | 30 19 75 89 07 | 50 64 15 59 71 | 88 13 74 95 30 | 52 78 30 11 75 |
| 80 91 16 94 67 | 58 60 82 06 66 | 90 47 56 18 46 | 45 11 12 35 32 | 45 50 41 13 43 |
| 22 01 70 31 32 | 96 91 92 75 40 | 16 54 29 72 74 | 99 00 95 97 61 | 00 98 24 30 07 |
| 56 24 10 04 30 | 20 46 29 90 53 | 53 11 05 84 41 | 21 64 79 19 76 | 29 51 62 60 66 |
| 79 44 92 62 02 | 96 86 64 30 00 | 94 56 69 30 20 | 59 87 87 35 44 | 22 50 97 78 19 |
| 53 99 66 45 08 | 89 78 50 77 53 | 37 25 77 41 27 | 62 38 02 23 57 | 62 01 41 60 35 |
| 18 92 87 35 88 | 56 05 21 36 51 | 39 28 50 14 66 | 85 79 30 19 79 | 72 66 64 31 45 |
| 53 08 58 96 63 | 05 61 25 70 22 | 50 41 28 96 62 | 66 43 63 06 63 | 01 32 79 85 22 |
| 03 58 80 29 28 | 76 89 51 18 24 | 88 89 46 47 48 | 59 19 29 87 03 | 10 33 99 67 12 |
| 27 07 81 88 65 | 69 49 98 00 28 | 04 70 51 30 01 | 47 18 97 33 21 | 85 82 45 43 24 |
| 05 21 08 59 01 | 06 22 24 98 91 | 81 17 55 44 66 | 16 07 73 07 66 | 10 12 31 78 58 |
| 40 36 13 27 84 | 30 82 33 36 39 | 69 42 05 58 64 | 61 12 33 89 27 | 89 52 66 71 93 |
| 54 60 25 28 85 | 88 20 00 10 59 | 61 05 36 61 33 | 72 01 01 19 01 | 61 10 51 20 91 |
| 71 51 63 40 76 | 71 11 73 73 52 | 37 31 60 45 88 | 92 73 43 71 28 | 04 98 09 02 48 |
| 61 02 01 81 73 | 92 60 66 73 58 | 53 34 42 68 26 | 38 34 03 27 44 | 96 04 46 65 93 |
| 82 55 93 13 46 | 30 95 26 55 06 | 96 17 65 91 72 | 39 79 96 12 49 | 52 80 63 26 99 |
| 89 98 54 14 21 | 74 13 57 68 19 | 86 28 60 89 47 | 33 15 26 28 77 | 45 38 48 08 08 |
| 00 99 84 84 14 | 67 95 13 77 58 | 90 14 50 79 42 | 73 63 31 06 60 | 43 40 12 55 04 |
| 62 41 50 78 20 | 48 05 88 43 52 | 98 03 19 93 92 | 03 04 97 25 84 | 95 95 03 63 31 |
| 94 27 90 69 24 | 68 09 92 11 86 | 07 63 83 19 32 | 99 51 15 55 71 | 09 27 02 67 00 |
| 44 89 29 28 84 | 36 28 25 15 82 | 87 74 18 97 25 | 76 10 63 26 76 | 02 26 74 53 28 |
| 97 30 76 95 33 | 21 10 54 26 95 | 66 65 52 04 99 | 36 58 48 03 08 | 93 63 58 17 96 |
| 39 16 58 04 44 | 80 15 59 59 83 | 90 95 54 66 81 | 84 39 60 85 38 | 88 66 33 35 69 |
| 60 78 11 03 26 | 67 50 34 09 61 | 31 30 20 76 93 | 66 30 83 51 09 | 33 83 64 76 05 |
| 03 19 23 47 62 | 89 57 77 91 33 | 88 47 60 59 37 | 54 39 48 77 67 | 49 85 38 43 91 |
| 41 28 52 67 56 | 25 39 59 96 65 | 51 36 90 32 22 | 39 33 05 22 99 | 03 39 97 96 99 |
| 77 54 98 50 39 | 25 37 42 52 97 | 10 03 56 04 92 | 81 66 86 70 01 | 48 89 55 82 10 |
| 28 63 41 61 91 | 64 24 83 81 37 | 34 48 83 27 96 | 38 71 69 73 06 | 77 50 25 64 60 |
| 74 24 48 85 40 | 12 33 59 67 50 | 14 98 14 26 42 | 79 79 13 52 89 | 69 78 80 44 71 |
| 00 24 03 37 96 | 46 68 75 05 32 | 42 16 63 33 28 | 97 26 36 47 27 | 73 65 38 34 46 |
| 05 41 47 69 69 | 45 36 16 71 18 | 95 51 97 22 04 | 13 23 96 58 60 | 03 69 48 79 83 |
| 62 69 84 97 97 | 47 23 66 51 56 | 13 08 69 11 52 | 75 59 26 86 81 | 80 43 00 98 92 |

### Exercício

#### Análise de uma amostra casual simples

Uma floresta de 80 ha foi inventariada a 100% e dividida em 200 parcelas de 0,4 ha cada. A variável utilizada é volume, em m<sup>3</sup> por hectare.

|    | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0  | 80.61  | 57.13  | 88.80  | 108.36 | 84.50  | 125.18 | 86.24  | 129.02 | 80.74  | 102.69 |
| 1  | 51.70  | 130.49 | 92.65  | 74.07  | 146.11 | 90.04  | 75.34  | 57.93  | 65.65  | 163.72 |
| 2  | 155.25 | 127.92 | 94.07  | 44.57  | 73.29  | 140.61 | 97.12  | 77.58  | 126.33 | 76.27  |
| 3  | 111.51 | 48.64  | 144.21 | 100.51 | 167.69 | 64.96  | 123.80 | 114.83 | 84.18  | 132.05 |
| 4  | 144.18 | 88.07  | 159.49 | 72.44  | 129.07 | 74.08  | 119.90 | 74.10  | 72.11  | 94.19  |
| 5  | 144.39 | 85.69  | 121.05 | 65.88  | 99.75  | 81.30  | 123.16 | 87.17  | 127.32 | 76.53  |
| 6  | 42.37  | 106.00 | 135.93 | 154.23 | 80.47  | 118.76 | 102.09 | 96.62  | 119.66 | 122.04 |
| 7  | 127.85 | 139.84 | 131.22 | 120.01 | 132.51 | 101.15 | 81.40  | 35.15  | 90.72  | 77.25  |
| 8  | 97.47  | 137.57 | 81.27  | 63.56  | 126.84 | 140.59 | 76.91  | 114.02 | 82.70  | 167.33 |
| 9  | 88.78  | 60.34  | 46.02  | 139.32 | 92.72  | 68.27  | 115.83 | 83.60  | 119.04 | 65.61  |
| 10 | 104.08 | 73.98  | 106.76 | 146.91 | 109.68 | 133.53 | 76.14  | 107.23 | 55.19  | 112.92 |
| 11 | 88.69  | 110.17 | 56.00  | 65.88  | 85.57  | 124.09 | 119.55 | 89.06  | 112.67 | 84.49  |
| 12 | 62.18  | 107.42 | 124.47 | 26.04  | 66.81  | 60.08  | 119.85 | 111.28 | 82.61  | 90.88  |
| 13 | 135.82 | 110.11 | 106.29 | 148.02 | 123.70 | 68.80  | 94.39  | 104.34 | 94.90  | 113.24 |
| 14 | 80.10  | 54.20  | 74.47  | 74.32  | 100.78 | 118.36 | 115.94 | 87.62  | 111.76 | 46.87  |
| 15 | 132.67 | 105.91 | 120.58 | 73.30  | 125.10 | 71.33  | 119.38 | 103.42 | 96.19  | 119.65 |
| 16 | 84.08  | 164.22 | 103.07 | 58.63  | 109.64 | 106.94 | 75.95  | 110.88 | 54.74  | 60.02  |
| 17 | 128.44 | 58.44  | 51.91  | 180.78 | 61.40  | 138.27 | 79.44  | 110.24 | 84.02  | 111.45 |
| 18 | 41.42  | 142.37 | 62.44  | 93.21  | 64.42  | 115.06 | 110.55 | 84.77  | 32.36  | 117.74 |
| 19 | 108.14 | 131.22 | 125.10 | 74.73  | 128.57 | 76.79  | 115.94 | 99.94  | 118.73 | 83.89  |

Com base no inventário a 100% calcular:

1. Volume médio/ha:
2. Volume total da população:
3. Variância:
4. Desvio padrão:
5. Coeficiente de variação:

Material para acompanhamento das aulas

---

Realizar um inventário piloto de tamanho  $n=15$  aplicando a amostragem simples aleatória (usar a tabela de números aleatórios). Considerar o limite de erro  $LE = 10\%$  e nível de probabilidade de  $95\%$ . Comparar os resultados com os valores paramétricos.

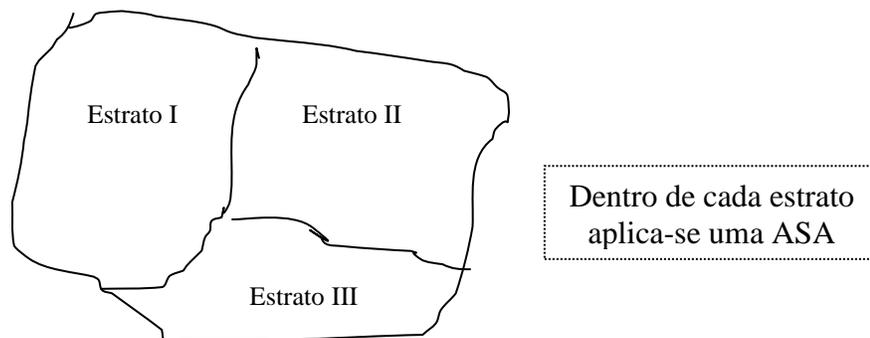
OBS: Se necessário, fazer o dimensionamento, adicionar o número de amostras necessário e recalcular as estatísticas do inventário. Refazer até obter o limite de erro de  $10\%$

| Unid. | Número aleatório | Valor |
|-------|------------------|-------|
| 1     |                  |       |
| 2     |                  |       |
| 3     |                  |       |
| 4     |                  |       |
| 5     |                  |       |
| 6     |                  |       |
| 7     |                  |       |
| 8     |                  |       |
| 9     |                  |       |
| 10    |                  |       |
| 11    |                  |       |
| 12    |                  |       |
| 13    |                  |       |
| 14    |                  |       |
| 15    |                  |       |

## Amostragem Aleatória Estratificada

- É um procedimento de amostragem em que a casualização sofre restrição;
- A estratificação é utilizada quando a floresta apresenta um alto grau de variabilidade na variável de interesse;
- Consiste na divisão da população em sub-populações mais homogêneas em termos de distribuição da característica de interesse (divisão em estratos), dentro dos quais se realiza a distribuição das unidades amostrais de forma aleatória;

Desenho esquemático



### 1. Objetivos da Estratificação

- Reduzir a variância dentro dos estratos (estratos mais homogêneos)
- Reduzir os custos de amostragem (menor número de parcelas para obter a precisão requerida)
- Aumentar a precisão das estimativas (quanto maior a homogeneidade maior a precisão);
- A estratificação facilita a coleta de dados e o processamento destes por estrato;
- As estimativas em cada estrato podem ser combinadas, resultando em estimativas precisas para toda a população;

### 2. Critérios utilizados na estratificação

A população pode ser estratificada com base em várias características tais como:

- Topografia do terreno
- Tipologia florestal
- Altura, idade, densidade, espécie (florestas plantadas)
- Tempo de pousio (florestas secundárias)

- Com base nos objetivos do uso futuro da área
- Com base na principal variável de interesse do inventário (volume, AB, etc) – bastante complexa em florestas naturais.

OBS: O número de estratos não deve ser superior a 7 para não haver dificuldades na execução e precisão do trabalho

### 3. Exigência

- O uso da amostragem estratificada exige o conhecimento prévio da variabilidade existente na área, o que pode ser obtida através de fotografias aéreas, imagens de satélite ou mapas para se determinar o tamanho de cada estrato.

### 4. Fundamento do procedimento

- A variabilidade dentro dos estratos deve ser menor que a variabilidade da floresta como um todo para que a amostragem estratificada seja mais eficiente que a ASA.

### 5. Aplicação

- Em florestas naturais com áreas grandes ou pequenas que apresentem alta variabilidade na característica de interesse e sejam capazes de serem estratificadas em áreas menores e mais homogêneas;
- Em florestas plantadas com a presença de povoamentos em diferentes idades, espaçamentos, topografias, etc...

### 6. Vantagens

- Proporciona estimativas separadas da média e da variância para cada estrato;
- Para igual intensidade amostral, frequentemente a estratificação produz estimativas mais precisas dos parâmetros da população em relação a ASA (menor erro de amostragem);
- Envolve menores custos no trabalho, devido a diminuição no número de parcelas necessárias para atingir a mesma precisão.

## 7. Desvantagens

- O tamanho e os limites de cada estrato devem ser conhecidos;
- A unidade de amostra deve pertencer somente a um único estrato, o que pode gerar erro se a área de cada estrato não for bem conhecida (ex: florestas naturais).

## 8. Estimadores populacionais da amostragem estratificada

a) *Número total de unidades de amostra na população*

$$N = \sum_{j=1}^M N_j$$

M: n° total de estratos

N<sub>j</sub>: n° total de unidades de amostra cabíveis em cada j-ésimo estrato

b) *Número total de unidades de amostra nos estratos*

$$n = \sum_{j=1}^m n_j$$

n<sub>j</sub>: n° total de unidades de amostra lançadas em cada j-ésimo estrato

J: cada estrato

c) *Média por estrato (igual a ASA)*

d) *Media estratificada ou ponderada (toda a população):*

$$\bar{X}_{st} = \sum_{j=1}^M P_j \bar{X}_j \quad \text{onde: } P_j = \frac{N_j}{N}$$

Pj: proporção do Nj total do extrato em relação ao N total da população

e) *Variância em cada estrato (igual a ASA)*

f) *Variância estratificada (toda a população)*

$$s_{st}^2 = \sum P_j \cdot s_j^2$$

g) *Desvio padrão em cada estrato (igual a ASA)*

h) *Desvio Padrão estratificado (toda a população): Raiz quadrada da variância estratificada*

$$S_{st} = \sqrt{S_{st}^2}$$

i) *Coefficiente de Variação em cada estrato (igual a ASA)*

j) *Coefficiente de variação estratificado (toda a população):*

$$CV_{st} = \frac{\sum_{j=1}^M P_j S_j}{\bar{X}} \cdot 100$$

k) *Variância da média estratificada:*

$$S_{\bar{x}}^2 = \sum \frac{P_j \cdot S_j^2}{n_j} - \sum \frac{P_j \cdot S_j^2}{N}$$

l) *Erro Padrão estratificado:*

$$S_{\bar{x}_{st}} = \sqrt{S_{\bar{x}}^2}$$

m) *Erro de amostragem (igual a ASA)*

$$E = S_{\bar{x}} \cdot t \quad \text{ou} \quad E\% = \frac{S_{\bar{x}} \cdot t}{\bar{x}} \cdot 100$$

n) *Numero efetivo de graus de liberdade para buscar o valor T tabelado*

$$gl = \frac{(\sum g_j \cdot s_j^2)^2}{\sum \frac{g_j^2 \cdot s_j^4}{n_j - 1}} \quad \text{sendo} \quad g_j = \frac{N_j (N_j - n_j)}{n_j}$$

o) *Intervalo de confiança para a média (igual a ASA)*

$$\{X - S_{\bar{x}} \cdot t \leq \mu \leq X + S_{\bar{x}} \cdot t\}$$

p) *Dimensionamento da amostra*

1. Alocação proporcional: o número de unidades de amostra é proporcional ao tamanho de cada estrato (N<sub>j</sub>). Tem como fundamento a teoria de que quanto maior a área maior a variação.

$$n = \frac{t^2 \cdot \sum P_j S_j^2}{(LE \cdot \bar{x})^2 + \frac{t^2 \cdot \sum P_j \cdot S_j^2}{N}}$$

1.1 Fixação proporcional: para se obter a quantidade de parcelas a ser lançada em cada estrato

$$n_j = \frac{N_j}{N} \cdot n \quad \text{ou} \quad n_j = P_j \cdot n$$

Restrição: os grandes estratos sempre irão receber o maior número de parcelas, independentemente de sua variabilidade

2. Alocação ótima (método de Neyman): o número de unidades de amostra ( $n_j$ ) é função do desvio padrão de cada estrato, ou seja, quanto maior a variabilidade maior será o número de unidades de amostra necessário.

$$n = \frac{t^2 \cdot (\sum P_j S_j)^2}{(LE \cdot \bar{x})^2 + \frac{t^2 \cdot \sum P_j \cdot S_j^2}{N}} \quad \text{ou} \quad n = \frac{t^2 \cdot (CV)^2}{(E\%)^2 + \frac{t^2 \cdot (CV)^2}{N}}$$

2.1 Fixação ótima: para se obter a quantidade de parcelas a ser lançada em cada estrato

$$n_j = \frac{P_j S_j}{\sum_{j=1}^{N_j} P_j S_j} \cdot n$$

**Exemplo de aplicação 1:** Análise de uma amostragem estratificada

Uma população florestal com 450 ha foi dividida em três estratos nos quais se realizou um inventário piloto, distribuindo as unidades de amostra de 20x250m, conforme esquema abaixo:

Estrato 1: tamanho 120 ha, n = 10;

Estrato 2: tamanho de 180 ha, n=15;

Estrato 3: tamanho de 150 ha, n= 12

Obs: Considere o nível de probabilidade de 95% e a precisão requerida de 10%

| Parcela | Volume (m <sup>3</sup> /ha) |           |           |
|---------|-----------------------------|-----------|-----------|
|         | Estrato 1                   | Estrato 2 | Estrato 3 |
| 1       | 45,3                        | 36,8      | 40,5      |
| 2       | 48,2                        | 34,7      | 79,0      |
| 3       | 14,6                        | 36,9      | 49,8      |
| 4       | 26,8                        | 30,5      | 41,2      |
| 5       | 48,9                        | 34        | 35,0      |
| 6       | 46,8                        | 35,8      | 32,8      |
| 7       | 16,7                        | 36,7      | 39,0      |
| 8       | 22,7                        | 29,8      | 39,4      |
| 9       | 20,8                        | 32,4      | 29,8      |
| 10      | 39,7                        | 28,7      | 25,7      |
| 11      |                             | 26,9      | 85,5      |
| 12      |                             | 31,8      | 30,5      |
| 13      |                             | 30,9      |           |
| 14      |                             | 36,4      |           |
| 15      |                             | 30,6      |           |

Calcular as estatísticas para cada estrato (ASA):

- Média
- Variância
- Desvio padrão
- Coeficiente de variação
- Variância da média
- Erro padrão
- Erro de amostragem absoluto
- Erro de amostragem percentual
- Dimensionamento (se necessário)

Material para acompanhamento das aulas

---

Calcular as estatísticas da amostragem estratificada:

- Média estratificada
- Coeficiente de variação estratificado
- Variância da média estratificada
- Erro padrão estratificado
- Erro de amostragem
- Intervalo de confiança
- Dimensionamento da amostra pela alocação proporcional e ótima

Quadro auxiliar para o cálculo das estatísticas referentes a amostragem estratificada

| Est | Área | $X_j$ | $n_j$ | $N_j$ | $P_j$ | $S^2_j$ | $S_j$ | $P_j \cdot X_j$ | $P_j \cdot S^2_j$ | $P_j^2 \cdot S^2_j$ | $P_j \cdot S_j$ | $(P_j^2 \cdot S^2_j) / n_j$ | $g$ | $g_j \cdot s^2_j$ | $(g_j^2 \cdot s^4_j) / n_j - 1$ |
|-----|------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-----------------|-------------------|---------------------|-----------------|-----------------------------|-----|-------------------|---------------------------------|
| 1   |      |       |       |       |       |         |       |                 |                   |                     |                 |                             |     |                   |                                 |
| 2   |      |       |       |       |       |         |       |                 |                   |                     |                 |                             |     |                   |                                 |
| 3   |      |       |       |       |       |         |       |                 |                   |                     |                 |                             |     |                   |                                 |
|     |      |       |       |       |       |         |       |                 |                   |                     |                 |                             |     |                   |                                 |

**Exemplo de aplicação 2:** Análise de uma amostragem estratificada

Uma população florestal com 900 ha foi dividida em três estratos nos quais se realizou um inventário piloto, distribuindo as unidades de amostra de 20x250m, conforme esquema abaixo:

Estrato 1: tamanho de 250 ha, n= 12

Estrato 2: tamanho 500 ha, n = 15;

Estrato 3: tamanho de 150 ha, n=11;

Obs: Considere o nível de probabilidade de 95% e a precisão requerida de 10%

| Parcela | Volume (m <sup>3</sup> /ha) |           |           |
|---------|-----------------------------|-----------|-----------|
|         | Estrato 1                   | Estrato 2 | Estrato 3 |
| 1       | 95,6                        | 25,6      | 75,6      |
| 2       | 49,8                        | 23,8      | 79,3      |
| 3       | 62,5                        | 21,2      | 15,8      |
| 4       | 98,3                        | 26,5      | 22,4      |
| 5       | 78,1                        | 28,1      | 56,2      |
| 6       | 98,5                        | 24,6      | 98,4      |
| 7       | 45,6                        | 45,2      | 67,5      |
| 8       | 52,8                        | 21,6      | 74,3      |
| 9       | 87,5                        | 24,9      | 24,5      |
| 10      | 65,4                        | 44,7      | 87,5      |
| 11      | 81,6                        | 35,4      | 53,6      |
| 12      | 42,6                        | 30,5      |           |
| 13      |                             | 32,7      |           |
| 14      |                             | 32,6      |           |
| 15      |                             | 24,9      |           |

Calcular as estatísticas para cada estrato (ASA):

- Média
- Variância
- Desvio padrão
- Coeficiente de variação
- Variância da média
- Erro padrão
- Erro de amostragem absoluto
- Erro de amostragem percentual
- Dimensionamento (se necessário)

Material para acompanhamento das aulas

---

Calcular as estatísticas da amostragem estratificada:

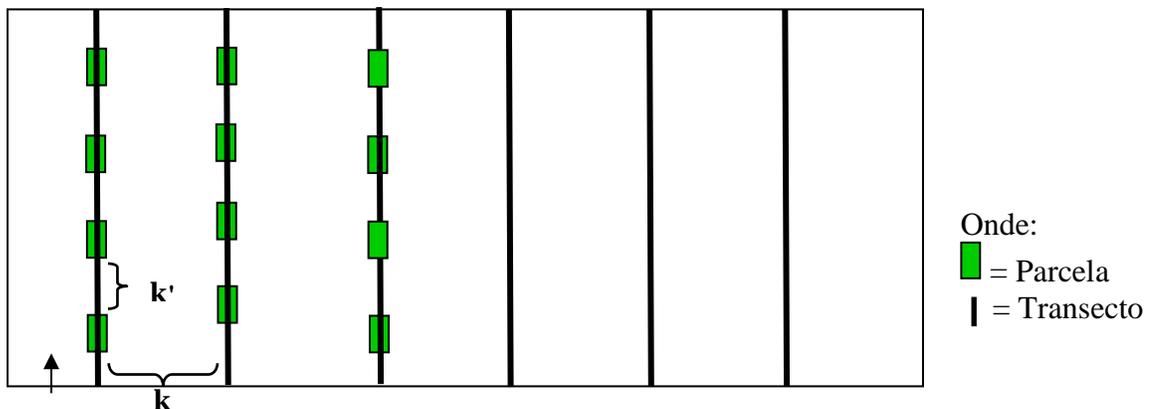
- Média estratificada
- Coeficiente de variação estratificado
- Variância da média estratificada
- Erro padrão estratificado
- Erro de amostragem
- Intervalo de confiança
- Dimensionamento da amostra pela alocação proporcional e ótima

| Est | Área | $X_j$ | $n_j$ | $N_j$ | $P_j$ | $S^2_j$ | $S_j$ | $P_j \cdot X_j$ | $P_j \cdot S^2_j$ | $P_j^2 \cdot S^2_j$ | $P_j \cdot S_j$ | $(P_j^2 \cdot S^2_j) / n_j$ | $g$ | $g_j \cdot s^2_j$ | $(g_j^2 \cdot s^4_j) / n_j - 1$ |
|-----|------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-----------------|-------------------|---------------------|-----------------|-----------------------------|-----|-------------------|---------------------------------|
| 1   |      |       |       |       |       |         |       |                 |                   |                     |                 |                             |     |                   |                                 |
| 2   |      |       |       |       |       |         |       |                 |                   |                     |                 |                             |     |                   |                                 |
| 3   |      |       |       |       |       |         |       |                 |                   |                     |                 |                             |     |                   |                                 |
|     |      |       |       |       |       |         |       |                 |                   |                     |                 |                             |     |                   |                                 |

## Amostragem Sistemática

- As unidades de amostra são selecionadas a partir de um esquema rígido e preestabelecido de sistematização, com o propósito de cobrir a população em toda a sua extensão;
- O princípio consiste na aleatorização da primeira unidade de amostra e, a partir desta, determinar a posição de todas as outras parcelas que irão compor a amostragem;
- As parcelas estarão distanciadas umas das outras, conforme intervalos ( $K$  e  $K'$ ) definidos antecipadamente;

Esquema:



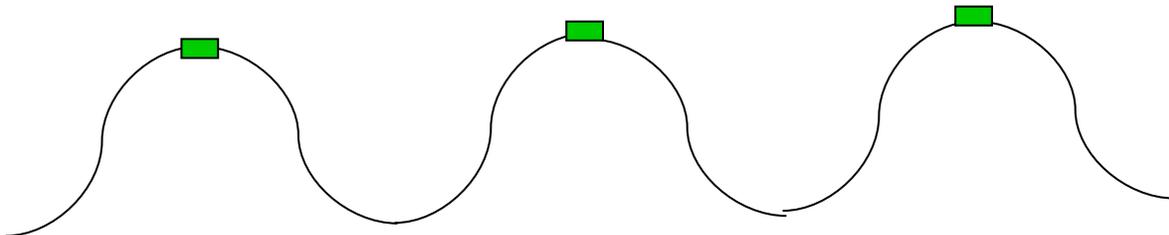
### Vantagens:

- A sistematização proporciona boa estimativa da média devido à distribuição uniforme das unidades de amostra em toda a população, por isso, a amostragem sistemática, em geral, é mais precisa que a ASA;
- A localização e o deslocamento entre parcelas são mais fáceis pelo fato de seguir uma direção fixa e preestabelecida, resultando em simplicidade, rapidez e menor custo na coleta de dados no campo;
- O tamanho exato da população não precisa ser conhecido, uma vez que cada unidade que ocorre dentro do intervalo de amostragem fixado, é selecionada sequencialmente, após ser definida a unidade inicial.

### Desvantagens: “O Problema Estatístico”

- Escolhida a amostra sistematicamente, todas as outras unidades de amostra que não a integram tem probabilidade igual a zero de serem selecionadas, enquanto as que a integram possuem probabilidade igual a 1 de seleção. Isto se contrapõe ao principio básico de seleção (as parcelas não têm igual probabilidade de serem selecionadas), por isso o procedimento não é probabilístico, com exceção da 1<sup>o</sup> unidade amostral;
- Em populações biológicas, os indivíduos raramente são arranjados de forma completamente independente e tendem a mostrar variações sistemáticas e periódicas. Desse modo, as variações nos valores observadas de uma amostra podem não ser totalmente atribuídos ao acaso, se o intervalo entre as unidades coincidir com o padrão de variação própria da população;

Esquema:



Neste exemplo a localização das parcelas coincidiu com o padrão de maior densidade (aglomeração) da espécie, neste caso, o resultado seria uma superestimativa da sua ocorrência na área inventariada

- A amostragem sistemática não produz uma estimativa válida da variância da média, do erro padrão e do erro de amostragem (indicadores de precisão), porque o cálculo destas variáveis exige, no mínimo, duas unidades amostrais obtidas aleatoriamente na população (regras da estatística).

$S_{\bar{x}}^2$  = variancia da média

$S_{\bar{x}}$  = Erro Padrão

$E$  = Erro de amostragem

### Alternativas ao problema estatístico:

- Considerar a amostragem sistemática como uma ASA, baseado no princípio de que aleatorizando a primeira parcela, a amostra selecionada pode ser considerada como uma das possíveis combinações de  $n$  unidades de amostra de uma ASA (Campos & Leite, 2002). Porém, segundo Osborne (1942) o erro calculado desta forma pode superestimar o erro real;
- Outros autores recomendam o método das diferenças sucessivas para obter uma maior aproximação do erro verdadeiro (Péllico Netto & Brena, 1997; Scolforo 1993; Soares et al, 2006).
- Aplicar a amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios: minimiza os seguintes problemas:
  - Probabilidade;
  - Cálculo das estimativas de precisão
  - Ocorrência de problemas que envolvam efeitos de periodicidade

### Aplicação:

- Mais utilizado em florestas naturais
- Populações extensas e de difícil acesso;

### A amostragem sistemática é recomendada quando:

- Deseja-se mapear a população, já que a distribuição das parcelas por toda a área possibilita a identificação de aspectos físicos (nascentes de água, afloramentos rochosos, desníveis do terreno etc);
- Deseja-se conhecer a distribuição espacial das espécies em florestas naturais de composição variada.

### Amostragem sistemática em faixas

- Utiliza faixas como unidades de amostra. A área é dividida em N faixas de igual largura;
- As unidades de amostra são selecionadas em um intervalo k de faixas de forma a comporem uma amostra de n faixas

$$K = \frac{N}{n} \quad \text{onde:}$$

N = número total de faixas

n = número de faixas amostradas

K = intervalo entre faixas

#### Exemplo 1:

Área florestal dividida em 26 faixas, das quais 5 foram amostradas

$$N = 26$$

$$n = 5$$

$$K = 26/5 \quad K=5,2 \text{ (arredonda para } 5,0)$$

A primeira faixa deve ser sorteada em um número qualquer entre 1 e N

Sorteio = 14

Usa-se o intervalo k=5 para os dois lados

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

**Exemplo 2:**

Área florestal com 900 ha, medindo 3000m x 3000 m (9.000.000 m<sup>2</sup>)

Faixas de 20 m de largura

$$N = 3000/20$$

$$N = 150 \text{ faixas (faixas possíveis)}$$

$$n = 15 \text{ faixas (amostragem estipulada)}$$

$$K = \frac{N}{n}$$

$$K = \frac{150}{15}$$

$$K = 10 \text{ faixas (intervalo)}$$

- O intervalo de amostragem ( $K = 10$ ) indica que a cada grupo de 10 faixas da população, uma faixa será amostrada.

Seleção das faixas (2 métodos)

1. Selecionar aleatoriamente a primeira faixa considerando um número entre 1 e N. As unidades de amostra são selecionadas considerando um intervalo K, para a direita e para a esquerda (produz estimativa não tendenciosa da média)

Faixa sorteada = 54

Faixas selecionadas (adicionar o intervalo para mais e para menos do valor sorteado

4, 14, 24, 34, 44, 54, 64, 74, 84, 94, 104, 114, 124, 134, 144 (15 faixas selecionadas)

2. Selecionar aleatoriamente a primeira faixa considerando um número entre 1 e K. As faixas subsequentes serão selecionadas considerando um intervalo K (pode produzir um resultado levemente tendencioso)

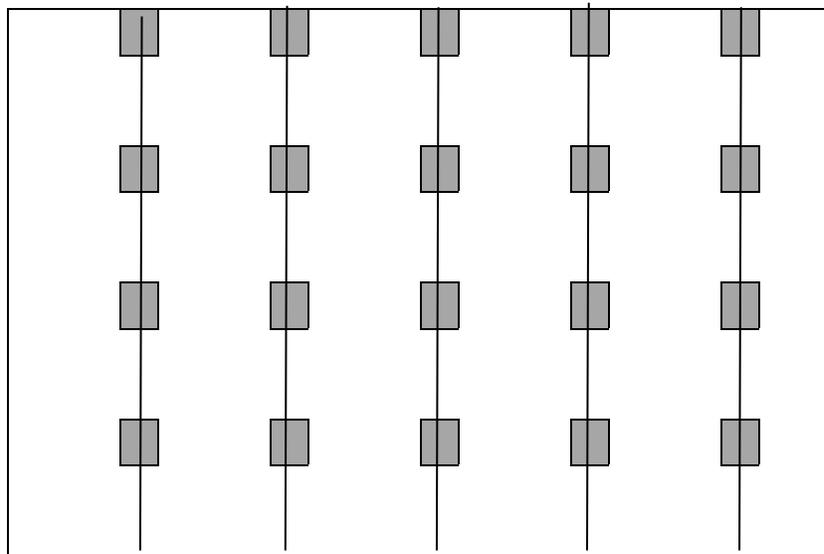
Faixa sorteada = 8

Faixas selecionadas:

8, 18, 28, 38, 48, 58, 68, 78, 88, 98, 108, 118, 128, 138, 148 (15 faixas selecionadas)

## Amostragem Sistemática utilizando Parcelas de Área Fixa

Diferentemente da amostragem sistemática em faixas, a amostragem sistemática por parcelas ou pontos é muito empregada em trabalhos práticos, principalmente pela facilidade de localização das unidades de amostra no campo, especialmente em florestas naturais.



- A amostra deve ser tomada em duas dimensões, escolhidas em um intervalo de “k” unidades, considerando linhas e colunas;
- Por razões práticas a distribuição equidistante das unidades amostrais é frequentemente alterada, de modo que o intervalo entre linhas (K) seja maior do que o intervalo entre unidades na linha (k’). Exemplo: K=500m (entre linhas) e k’= 200m (entre parcelas);
- A orientação das linhas e o intervalo entre as unidades na linha são definidos durante a fase de reconhecimento da população (análise de mapas e imagens de satélite) para:
  - Abranger a maior gama de variações, ou seja, a orientação das linhas (Norte-Sul ou Leste-Oeste) deve estar no sentido da maior movimentação do relevo;
  - Otimizar o esquema de amostragem;
  - Melhor logística para estipular a linha base

### **Distribuição das Unidades de Amostra**

1. Selecionar aleatoriamente um número entre 1 e o número total de colunas, e entre 1 e o número total de linhas;
2. Os dois números indicam a coordenada da primeira unidade de amostra;
3. As demais unidades são tomadas a cada “k” intervalo nas duas direções;

### **Exemplo 1**

Floresta natural com 4.300ha.

Variável volume em m<sup>3</sup>/ha

Parcela: 10 x 250m

n = 20

$$K = \sqrt{\frac{\text{área total (m}^2\text{)}}{n}}$$

$$K = \sqrt{\frac{43.000.000}{20}}$$

$$K = \sqrt{\frac{4300 \times 10.000}{20}}$$

$$K = 1466,28 \text{ m}$$

(distância entre parcelas nos 2 sentidos).

$$K = 1466 \text{ m}$$

### **Opção**

Arredondar para 1500 m ou mais (para facilitar o trabalho de campo)

**K = 1500 m** distância entre linhas

Cálculo da nova distância entre parcelas

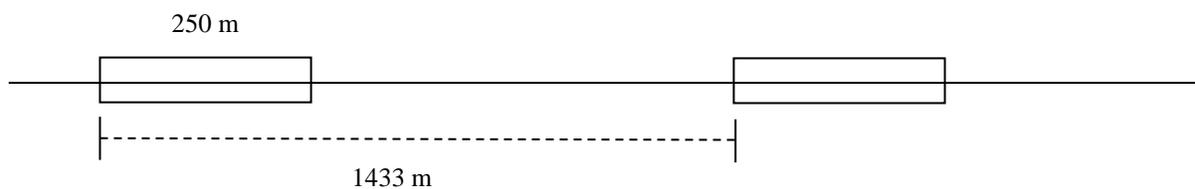
$$K' = \frac{\text{área total (m}^2\text{)}/n}{K}$$

$$K' = \frac{4300 \times 10000/20}{1500}$$

$$K' = \frac{2.150.000}{1.500}$$

$$K' = 1433 \text{ m}$$

**OBS:** O valor ( $K'=1433 \text{ m}$ ) representa a distância (em metros) na linha entre o início de uma parcela e o início da parcela seguinte



Distância real entre as parcelas

$$K' = 1433 - 250$$

$$K' = 1183 \text{ m (entre parcelas na linha)}$$

Obs.: este valor pode ser arredondado para 1180 ou 1200m

### Exemplo 2

Floresta natural com 3750ha

Variável volume em  $\text{m}^3/\text{ha}$

Parcela: 10 x 100m ( $1000 \text{ m}^2$ )

$n = 73$  parcelas

Linhas no sentido Leste-Oeste (inclinação do relevo)

$$K = \sqrt{\frac{\text{área total (m}^2\text{)}}{n}}$$

$$K = \sqrt{\frac{3750 \times 10.000}{73}}$$

$$K = \sqrt{\frac{37500000 \text{ (m}^2\text{)}}{73}}$$

$$K = 716,72 \text{ m (distancia entre parc. nos dois sentidos)}$$

Pode-se arredondar a distancia entre linhas para 1000,00 m

$$K = 1000 \text{ m (entre linhas – estipulado)}$$

$$K' = \frac{\text{área total (m}^2\text{)}/n}{K}$$

$$K' = \frac{3750 \times 10000/73}{1000}$$

$$K' = \frac{513698,63}{1.000}$$

$$K' = 513,7 \text{ m}$$

$$K' = 513,7\text{m} - 100\text{m (tamanho da parc)} \quad K' = 413,7\text{m}$$

OBS: Para facilitar o trabalho de campo pode-se usar  $k' = 400\text{m}$

### Aplicação do Método das Diferenças Sucessivas

O método das diferenças sucessivas é utilizado para o cálculo da variância da média (medida de precisão) quando se verifica uma tendência linear (gradiente de variação) entre os elementos da população, representados pelos valores obtidos nas parcelas da amostragem.

$$S_{\bar{x}}^2 = \frac{\sum(X_i - X_{i+1})^2}{2n \cdot (n-1)} \cdot \left(1 - \frac{n}{N}\right) \quad \text{Variância da média}$$

**Exemplo 1:**

Os dados abaixo foram coletados em uma floresta de eucalipto com 10 ha onde foram lançadas 18 parcelas de 0,02 ha cada, distribuídas sistematicamente. A variável observada foi o volume em m<sup>3</sup>/parcela

| Parcela | Volume (m <sup>3</sup> ) | (X <sub>i+1</sub> - X <sub>i</sub> ) | (X <sub>i+1</sub> - X <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------|--------------------------|--------------------------------------|---|
| 1       | 6                        |                                      |   |
| 2       | 8                        |                                      |   |
| 3       | 9                        |                                      |   |
| 4       | 10                       |                                      |   |
| 5       | 13                       |                                      |   |
| 6       | 12                       |                                      |   |
| 7       | 18                       |                                      |   |
| 8       | 19                       |                                      |   |
| 9       | 20                       |                                      |   |
| 10      | 20                       |                                      |   |
| 11      | 24                       |                                      |   |
| 12      | 23                       |                                      |   |
| 13      | 26                       |                                      |   |
| 14      | 30                       |                                      |   |
| 15      | 31                       |                                      |   |
| 16      | 31                       |                                      |   |
| 17      | 33                       |                                      |   |
| 18      | 32                       |                                      |   |
|         | soma                     |                                      |   |

1. Calcular as estatísticas do inventário utilizando a ASA
2. Calcular as estimativas de precisão aplicando o método das diferenças sucessivas
3. Comparar os resultados dos dois modelos (verificar os indicadores de precisão)

**Exemplo 2:**

Floresta nativa com 450 ha

n = 20 parcelas instaladas sistematicamente no sentido norte-sul (inclinação do relevo)

Parcela: 20 x 150 m

Variável: Volume em m<sup>3</sup>/há

Material para acompanhamento das aulas

---

| n  | Vol (x) | $(X_{i+1} - X)$ | $(X_{i+1} - X)^2$ |
|----|---------|-----------------|-------------------|
| 1  | 15,30   |                 |                   |
| 2  | 19,50   |                 |                   |
| 3  | 21,40   |                 |                   |
| 4  | 24,30   |                 |                   |
| 5  | 28,30   |                 |                   |
| 6  | 29,70   |                 |                   |
| 7  | 30,50   |                 |                   |
| 8  | 34,50   |                 |                   |
| 9  | 38,10   |                 |                   |
| 10 | 40,20   |                 |                   |
| 11 | 41,50   |                 |                   |
| 12 | 42,50   |                 |                   |
| 13 | 40,50   |                 |                   |
| 14 | 43,70   |                 |                   |
| 15 | 45,80   |                 |                   |
| 16 | 48,60   |                 |                   |
| 17 | 49,50   |                 |                   |
| 18 | 51,40   |                 |                   |
| 19 | 52,80   |                 |                   |
| 20 | 64,50   |                 |                   |
|    | soma    |                 |                   |

1. Calcular as estatísticas do inventário utilizando a ASA
2. Calcular as estimativas de precisão aplicando o método das diferenças sucessivas
3. Comparar os dois modelos
4. Calcular o valor de K e K'

**Exemplo 3:**

Floresta primária com 680 ha

Variável: AB (m<sup>2</sup>/ha)

Tamanho da parcela = 20 x 200 m

Material para acompanhamento das aulas

---

| n  | Vol (x) | $(X_{i+1} - X)$ | $(X_{i+1} - X)^2$ |
|----|---------|-----------------|-------------------|
| 1  | 38,4    |                 |                   |
| 2  | 29,7    |                 |                   |
| 3  | 22,8    |                 |                   |
| 4  | 32,5    |                 |                   |
| 5  | 35,0    |                 |                   |
| 6  | 17,8    |                 |                   |
| 7  | 21,4    |                 |                   |
| 8  | 20,6    |                 |                   |
| 9  | 30,2    |                 |                   |
| 10 | 25,8    |                 |                   |
| 11 | 26,4    |                 |                   |
| 12 | 20,0    |                 |                   |
| 13 | 27,5    |                 |                   |
|    | soma    |                 |                   |

1. Calcular as estatísticas do inventário utilizando a ASA
2. Calcular as estimativas de precisão aplicando o método das diferenças sucessivas
3. Comparar os dois modelos
4. Calcular o valor de K e K´

**Exemplo 4:**

Floresta natural com 400ha

Variável: AB (m<sup>2</sup>/ha)

Tamanho da parcela = 20 x 100 m

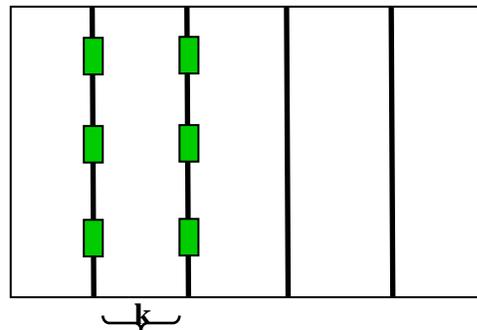
LE = 10%

CV = 65% (obtido através de inventário em área similar com parcelas de mesmo tamanho)

Pede-se:

Calcular o n, K e K´

$$n = \frac{t^2 \cdot cv^2}{E\%^2 + \frac{t^2 \cdot cv^2}{N}}$$



### Amostragem Sistemática com Múltiplos Inícios Aleatórios

- Introduz uma maior aleatorização na amostragem sistemática
- Primeiro é sorteada uma linha que determina a posição das demais linhas
- Depois, em cada linha é sorteada a primeira parcela, o que determina a posição das demais.
- Deve ser utilizada em florestas nativas

**Exemplo:**

Estipulado

K entre linhas = 300 m

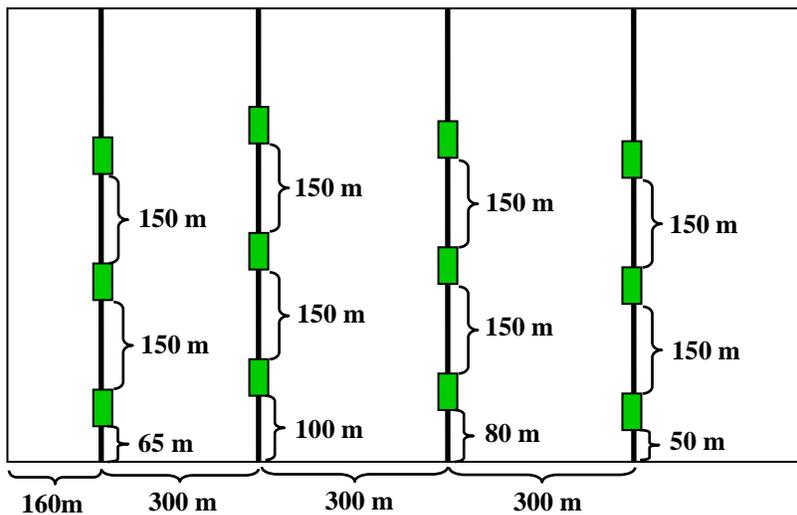
K´ entre parcelas na linha = 150 m

1. Sorteio da posição da primeira linha (um número aleatório entre 1 e 300)

Ex.: valor sorteado = 160 m (distância para p/ a primeira linha em relação ao ponto de referência estipulado)

## 2. Sorteio da posição da primeira parcela em cada linha

- Números aleatórios entre 1 e 150 m
- Linha 1 = 65 m
- Linha 2 = 100 m
- Linha 3 = 80 m
- Linha 4 = 50 m



### Vantagens

1. Vantagem de natureza estatística, como ocorre a casualização da primeira parcelas em cada linha vai existir mais de uma parcela aleatorizada na amostragem, com isso, podem ser utilizadas as formulas da ASA para o cálculo da variância da média e do erro padrão;
2. Diminui-se sensivelmente a ocorrência de problemas que envolvam efeitos de periodicidade

**OBS: Utiliza-se as mesmas fórmulas a ASA para o calculo das estatísticas do inventário**

## Amostragem Sistemática Estratificada

1. Utilizado para amostrar populações florestais nativas, propiciando informações precisas e com menor custo possível.

Existem duas possibilidades:

1. Quando se tem informações prévias para estratificar a floresta antes de iniciar os trabalhos de campo.

- a) Faz a estratificação prévia
- b) Distribui as parcelas sistematicamente em cada estrato
- c) Analisa os dados segundo o modelo da amostragem estratificada

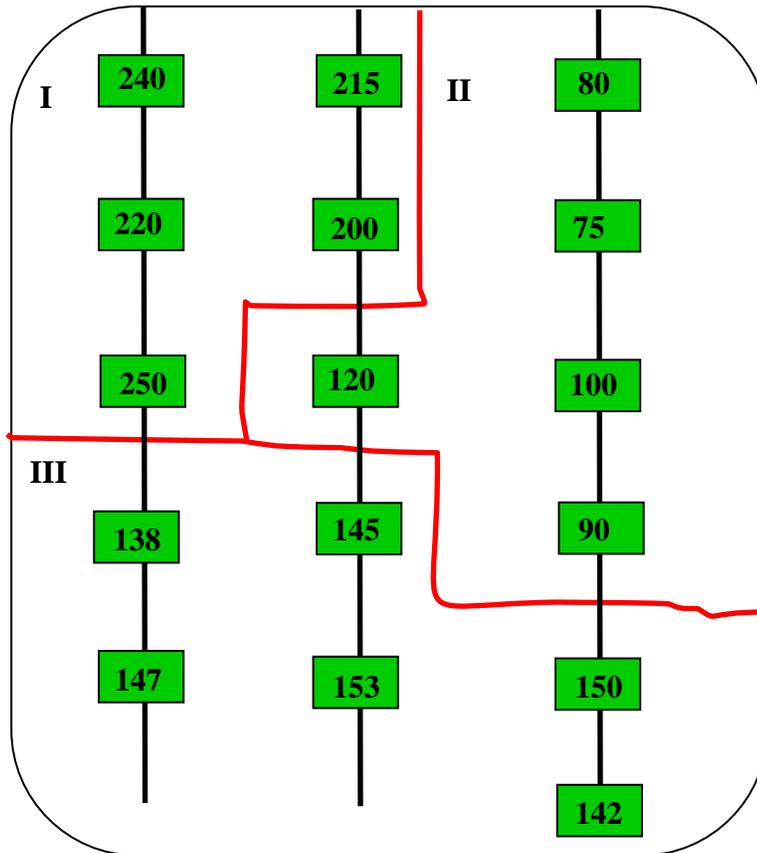
É usado com frequência no cerrado e na caatinga onde diferentes tipos florestais são facilmente identificados

2. Quando não se tem informações prévias para estratificar e a presença de estratos só foi observada durante o processamento dos dados (Pós –Estratificação)

- a) Distribui as parcelas sistematicamente em toda a área
- b) Durante a análise separa em estratos
- c) Analisa os dados segundo o modelo da amostragem estratificada

É usado com frequência em florestas naturais de grande porte

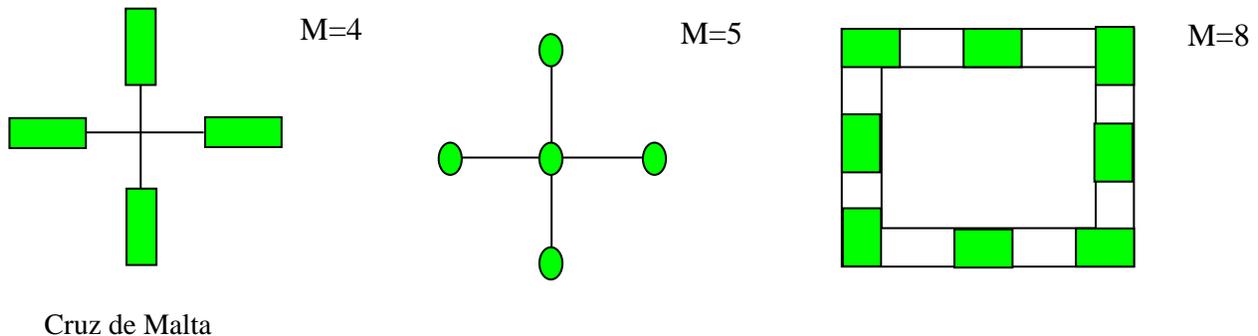
Exemplo:



## Amostragem em Conglomerados

- É um processo de amostragem que não utiliza unidades de amostra individuais, e sim um grupo ou conglomerado de pequenas subunidades;
- As subunidades restringem-se a uma área específica da floresta, denominada de sub-população;
- As unidades de amostra são divididas em 2 estágios. O primeiro estágio constitui o grupo ou conglomerado que é alocado de forma aleatória. O segundo estágio é organizado sistematicamente dentro do primeiro;
- As unidades secundárias (subunidades) são previamente definidas em forma, tamanho e arranjo espacial.

Exemplos de conglomerados usados em inventários florestais:



### Vantagens

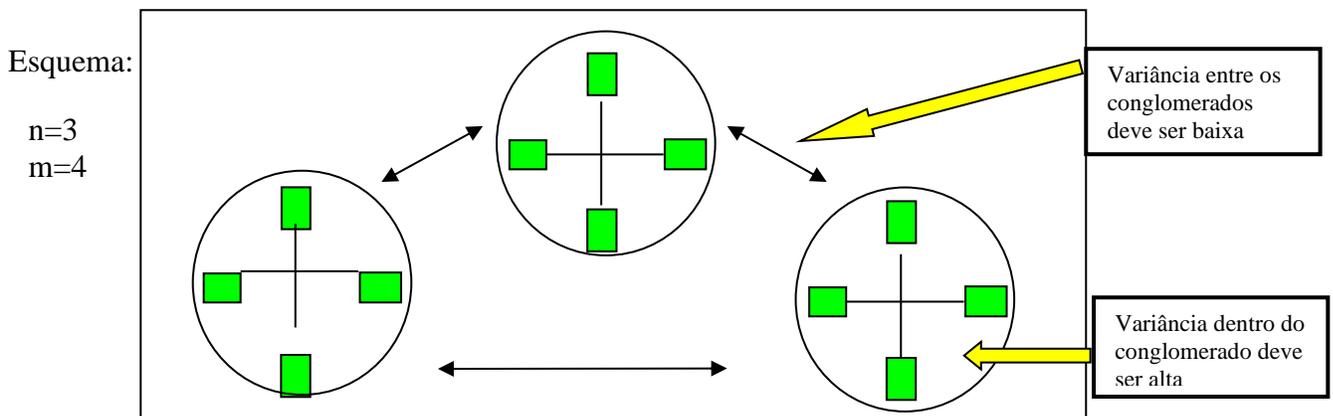
- Oferece melhor controle no campo, pois as unidades de registro (subunidades do conglomerado) são menores;
- Redução nos custos de amostragem, devido à facilidade operativa de localização, instalação e medição das parcelas;

### Desvantagens

- A variável de interesse deve apresentar de grande a razoável homogeneidade;
- Existe uma pequena tendência no cálculo do erro de amostragem devido as subunidades do conglomerado serem arranjadas sistematicamente, todavia essa tendência pode ser considerada desprezível devido a aleatoriedade natural da população.

### Aplicação

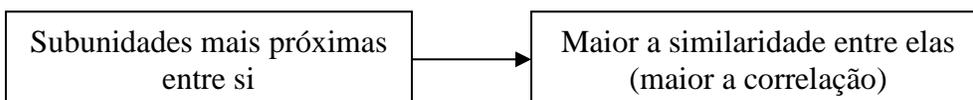
- Florestas naturais com áreas extensas e de difícil acesso e que apresentem, em termos de variável resposta, alta variação dentro de pequenas extensões e relativa uniformidade entre essas extensões.



A amostragem por conglomerados será mais precisa quanto maior for a variância dentro e menor a variância entre conglomerados

- Coefficiente de correlação intraconglomerado

É o grau de similaridade entre as subunidades dentro dos conglomerados.



$$r = \frac{S^2e}{S^2e + S^2d}$$

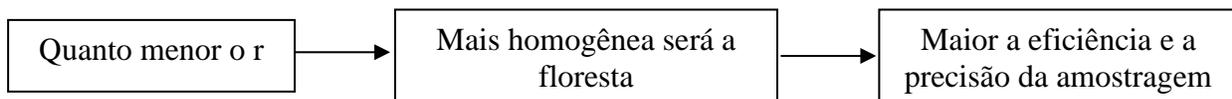
$$r = \frac{\text{Variância entre}}{\text{Variância entre} + \text{Variância dentro}}$$

Pode assumir valores entre 0 e 1 ( $0 \leq r \leq 1$ )

R= 0 quando não existir variância entre os conglomerados ( $s^2e = 0$ ), neste caso a variância total é explicada somente pela variância dentro do conglomerado. (situação ideal teórica)

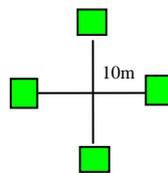
R = 1 quando não existir variância entre as subunidades do conglomerado ( $s^2d = 0$ ), neste caso a variância total é devida apenas a variância entre os conglomerados.

É utilizado para avaliar o grau de homogeneidade da variável de interesse.

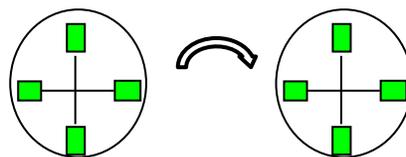


O ideal é:

↑  
Maior variância entre as subunidades



↓  
Menor variância entre os conglomerados



A distância entre as subunidades do conglomerado não deve ser inferior a 50 m para minimizar a correlação entre e as subunidades (aumentar a variância dentro).

Limite aceitável do r é  $(0 \leq r \leq 0,4)$

R= 0 (populações absolutamente homogêneas)

R= 0,4 (populações razoavelmente homogêneas)

Se  $r > 0,4$ : a amostragem estratificada será mais eficiente que a amostragem em conglomerados

### Estimadores

Média por sub-unidade

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ij}}{n \cdot m}$$

n - número de conglomerados amostrados  
 m - número de subunidades em cada conglomerado

- Variância

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (X_{ij} - \bar{X})^2}{n \cdot m - 1} \quad \text{ou} \quad S^2 = S_e^2 + S_d^2$$

Análise de variância – modelo completamente ao acaso

| Fonte de Variação                  | GL     | SQ       | QM         | F                 |
|------------------------------------|--------|----------|------------|-------------------|
| Entre Conglomerados (Trat.)        | n-1    | SQE      | SQE/n-1    | $\frac{QME}{QMD}$ |
| Dentro do Conglomerado (Erro exp.) | n(m-1) | SQD      | SQD/n(m-1) |                   |
|                                    | n(m-1) | SQ total | -          |                   |

Caso o F seja significativo existe variabilidade entre os conglomerados

$$S_e^2 = \frac{QM_{entre} - QM_{dentro}}{m} \quad S_d^2 = QM_{dentro}$$

$$SQ_{tot.} = \sum \sum X_{ij}^2 - \frac{\left(\sum \sum X_{ij}\right)^2}{n \cdot m}$$

$$SQ_e = \sum \left(\sum X_{ij}^2\right) - \frac{\left(\sum \sum X_{ij}\right)^2}{n \cdot m}$$

SQ entre = SQ tratamento

$$SQ_D = SQ_{total} - SQ_{entre}$$

SQ Dentro = SQ erro experimental

- Desvio Padrão (S)

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

- Coeficiente variação

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \cdot 100$$

- Variância da Média (só para populações infinitas)

$$S_{\bar{x}}^2 = \frac{S^2}{n \cdot m} [1 + r \cdot (m - 1)]$$

r – Coeficiente de correlação intraconglomerado

$$r = \frac{S^2_e}{S^2_e + S^2_d}$$

Material para acompanhamento das aulas

---

- Erro padrão

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{S_x^2}$$

- Erro de amostragem

$$E = S_{\bar{x}} \cdot t$$

Absoluto

$$E\% = \frac{S_{\bar{x}} \cdot t}{\bar{X}} \cdot 100$$

Percentual

- Intervalo de confiança

$$\bar{X} - S_{\bar{x}} \cdot t \leq \mu \leq \bar{X} + S_{\bar{x}} \cdot t$$

$$LS = \bar{X} + S_{\bar{x}} \cdot t$$

$$LI = \bar{X} - S_{\bar{x}} \cdot t$$

- Dimensionamento

$$n = \frac{t^2 \cdot S^2}{E^2 \cdot m} [1 + r \cdot (m - 1)]$$

Nº de conglomerado

$$m = \sqrt{\frac{C_2}{C_1} \cdot \frac{1-r}{r}}$$

Nº de sub-unidade em cada conglomerado (opcional se quiser alterar a estrutura do conglomerado)

C<sub>1</sub> – Custos de medição das sub-unidades

C<sub>2</sub> – Custo de implantação dos conglomerados

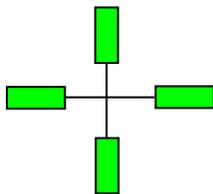
$$\frac{C_2}{C_1} = 3$$

Considerando as experiências existências em inventários florestais nos trópicos

## Exemplo de aplicação – Amostragem em conglomerados (fazer em Excel)

No inventário de uma floresta com 2500 ha localizada no Amapá, realizou-se inicialmente um inventário piloto, através da amostragem em conglomerados, utilizando-se seis conglomerados dispostos em Cruz de Malta. Os volumes obtidos ( $m^3/ha$ ) em cada subunidade estão no quadro abaixo. Calcular as estatísticas do inventário e intensidade de amostragem necessária para estimar os parâmetros da população, admitindo-se um erro de amostragem máxima de 10% da média, com 95% de probabilidade.

Sub unidade      20 x 200



|   |       |       |       |          | Soma           | Soma de quadrados | (Soma) <sup>2</sup> /m |
|---|-------|-------|-------|----------|----------------|-------------------|------------------------|
| N | 1     | 2     | 3     | 4        | $\sum y_{ij}$  | $\sum y_{ij}^2$   | $(\sum y_{ij})^2/m$    |
| 1 | 84,70 | 78,20 | 63,00 | 88,50    | 314,40         | 25090,58          | 24711,84               |
| 2 | 70,10 | 65,40 | 59,60 | 58,10    | 253,20         | 16118,94          | 16027,56               |
| 3 | 75,60 | 77,70 | 66,10 | 43,50    | 262,90         | 18014,11          | 17279,10               |
| 4 | 81,30 | 38,70 | 62,80 | 31,10    | 213,90         | 13018,43          | 11438,30               |
| 5 | 99,50 | 47,00 | 82,10 | 77,40    | 306,00         | 24840,42          | 23409,00               |
| 6 | 97,30 | 66,10 | 57,40 | 113,90   | 334,70         | 30104,47          | 28006,02               |
|   |       |       |       | $\Sigma$ | <b>1685,10</b> | <b>127186,95</b>  | <b>120871,83</b>       |

n                    6  
 m                    4  
 n.m                24  
 t(23;0,05)        2,0687

Material para acompanhamento das aulas

|                            |           |                  |                  |
|----------------------------|-----------|------------------|------------------|
| Média                      | 70,21     |                  |                  |
| FC                         | 118315,08 |                  |                  |
| SQ total                   | 8871,87   |                  |                  |
| SQ trat (s <sup>2</sup> e) | 2556,74   |                  |                  |
| SQ erro (s <sup>2</sup> d) | 6315,12   |                  |                  |
| s <sup>2</sup>             | 390,97    | s <sup>2</sup> d | 350,84           |
|                            |           | s <sup>2</sup> e | 40,13            |
| s                          | 19,77     |                  |                  |
| CV                         | 28,16     |                  |                  |
| r                          | 0,10      |                  |                  |
| sx <sup>2</sup>            | 21,31     |                  |                  |
| sx                         | 4,62      |                  |                  |
| E                          | 9,55      | t                | 2,0687           |
| E%                         | 13,60     |                  |                  |
| IC - LI                    | 60,66     |                  |                  |
| IC - LS                    | 79,76     |                  |                  |
| Dimensionamento            | 11,10     |                  | Nº conglomerados |
| Dimensionamento            | 5,12      |                  | Nº subunidades   |

ANOVA

| FV           | GL | SQ      | QM     | Fcal |          |
|--------------|----|---------|--------|------|----------|
| Entre cong.  | 5  | 2556,74 | 511,35 | 1,46 | H0       |
| Dentro cong. | 18 | 6315,12 | 350,84 |      | Ftab     |
|              |    |         |        |      | 2,772853 |
| Total        | 23 | 8871,87 |        |      |          |

## Planejamento do Inventário Florestal

1. Os principais fatores que influenciam o planejamento de um inventário florestal são

- a) Os objetivos do inventário
- b) Os recursos disponíveis
- c) As condições topográficas e a acessibilidade da área (logística)
- d) A tipologia florestal e a sua variabilidade
- e) A precisão requerida em torno da média

2. Itens a serem considerados

### **Objetivo do inventário**

#### **Informações iniciais**

Mapas, Imagens de satélite e levantamentos passados;  
Indivíduos ou organizações do suporte do inventário;  
Disponibilidade de recursos

#### **Descrição da área**

Localização  
Tamanho (ha)  
Facilidade de transporte, acesso e topografia;  
Características gerais das florestas

#### **Definição do desenho de amostragem**

Determinação da área coberta por floresta (mapas, fotos e medições em campo)  
Definição da variável de interesse: diâmetro, área basal, volume;  
Tamanho e forma das unidades amostrais  
Método de seleção e distribuição das unidades de amostra  
Precisão requerida no inventário (erro admissível)  
Nível de probabilidade  
Tamanho da amostra para satisfazer a precisão requerida (inventário piloto)  
Tempo e custo para as fases do trabalho de campo (alocação de parcelas, determinação da área...)

#### **Procedimentos para o trabalho de campo**

Equipes de trabalho (número de equipes e de pessoas por equipe)  
Suporte logístico e de transporte  
Procedimento de locação e marcação das unidades amostrais

Material para acompanhamento das aulas

---

Procedimentos para a obtenção das informações quantitativas (DAP, altura) e qualitativas (qualidade de fuste e copa, etc)  
Instrumentos e equipamentos  
Planilhas e fichas para anotação dos dados e informações  
Controle de qualidade (verificação de erros)  
Fatores de conversão dos dados (CAP para DAP, formula de volume ou estimativa....)

**Compilação e procedimentos de cálculo**

Métodos a serem utilizados (programas, computadores)  
Cálculo das estatísticas do inventário (média, variância, desvio padrão, etc..)  
Calculo do erro de amostragem

**Relatório Final**

Formato  
Pessoal responsável pela preparação  
Método de reprodução (xerox, impressora)  
Número de cópias  
Distribuição  
Informações requeridas no relatório final  
    Tabelas e gráficos  
    Mapas e mosaicos  
    Relatório descritivo (narrativo)  
Estimativa de tempo para o preparo

**Manutenção**

Estocagem dos dados  
Planos para a atualização do inventário

**Tempo e custo total**

mapeamento,  
trabalho de campo  
compilação  
relatório final  
estocagem dos dados