Inventário Florestal

Amostragem aplicada ao inventário florestal

Margarida Tomé, Susana Barreiro, Jean Magalhães

Instituto Superior de Agronomia

Universidade de Lisboa

- O papel da amostragem no Inventário Florestal

▪A necessidade de amostrar

✓ Em consequência de:

- grande extensão da maior parte das áreas em estudo
- o elevado consumo de tempo associado com algumas das técnicas de medição
- algumas técnicas de medição implicarem a destruição dos indivíduos (árvore ou povoamento, por exemplo) a medir

A inventariação e monitorização de recursos florestais são quase sempre baseadas em técnicas de amostragem

Mapa de uma propriedade

Como avaliar estes povoamentos? (eucalipto e montado de sobro)

É possível medir todas as árvores? Claro que não...

Há portanto que recorrer a amostragem

▪Caso estudo: Herdade da Calha do Grou

- ✓ Propriedade: ALTRI Florestal
- ✓ Localização: Chamusca
- ✓ Área:1359,1 ha
- ✓ Ocupação florestal:
  - montados de sobro
    - estrutura regular,
    - andar principal idade ~ 40 anos
    - alguns núcleos de árvores velhas
    - algumas árvores nas fases de regeneração e juvenil
    - maioritariamente puros (embora possam surgir outras espécies)
  - eucaliptal
    - Rotação 1
    - Rotação 2
  - pinhal bravo e manso (pequena área)

▪Consequências da amostragem

- ✓ O facto das variáveis do povoamento serem avaliadas com base em amostragem tem como consequência:
  - O resultado de um inventário florestal não é exacto, vindo afectado de um erro – o erro de amostragem – o qual se deve ao facto de não se ter medido o povoamento todo, mas apenas um conjunto, maior ou menor, de parcelas
  - O erro de amostragem é tanto maior quanto menos parcelas se medirem
  - O erro de amostragem é tanto maior quanto maior for a variabilidade da população
  - O erro de amostragem é inerente ao processo de amostrar, não é resultante de uma operação realizada incorretamente

▪Consequências da amostragem

- ✓ Se todos os indivíduos da população forem iguais há erro de amostragem?
  - NÃO!
- ✓ Se os indivíduos da população forem muito semelhantes, o erro de amostragem é grande ou pequeno?
  - PEQUENO
- ✓ Se a população for muito variável, o erro de amostragem pode ser pequeno?
  - SÓ SE A DIMENSÃO DA AMOSTRA FOR MUITO GRANDE

▪Consequências da amostragem

✓ Como é que podemos “controlar” o erro de amostragem?

- Aumentando ou diminuindo a dimensão da amostra
- Subdividindo cada população em sub-populações homogéneas (estratos) que serão amostradas em separado
- Aumentando a área das parcelas de amostragem (veremos mais à frente como)

- **População e amostra**

▪População e amostra

✓ População

- **Conjunto de indivíduos** do mesmo tipo que diferem no que respeita a uma característica designada por atributo ou variável
- Num povoamento florestal podemos definir diferentes populações (consoante o objetivo da amostragem):
  - Uma população de árvores
  - Uma população de parcelas, de raio fixo ou variável
  - Uma população de pontos de amostragem
  - Etc.

▪Variáveis ou atributos

- ✓ Podemos estudar numa mesma população (p.e. de árvores) vários atributos (diâmetro, idade, altura). Neste caso, do ponto de vista estatístico, a população é encarada como várias populações (no exemplo, três)
- ✓ Os atributos podem ser:
  - **quantitativos** – se podem ser directa ou indiretamente medidos (p.e. volume, biomassa)
  - **qualitativos** – se apenas podem ser descritos e contados (p.e. espécie, ocorrência de praga)

▪População e amostra

- ✓ Amostra
  - Subconjunto dos indivíduos da população que é analisado com o objectivo de conhecer as características da população
- ✓ A definição da população é o primeiro passo numa amostragem:
  - Devemos considerar a árvore como o indvíduo?
  - Ou devemos antes considerar a parcela de amostragem?

▪Fases no planeamento de uma amostragem

1. Definição da população – conjunto de indivíduos
   - Definição do indivíduo: Árvore? Parcela? Grupos de árvores?
   - A população é geralmente definida como um conjunto de parcelas – pequenas áreas nas quais se medem todas as árvores
2. Selecção de um esquema de amostragem
   - Será o objecto das próximas aulas
3. Selecção da amostra – quantas “parcelas” medir e quais
4. Medição das parcelas
5. Processamento dos dados – cálculo de um intervalo de confiança

- Amostragem simples quantitativa

▪Amostragem simples quantitativa (asq)

- ✓ A amostragem simples incide sobre toda a população como um todo
- ✓ A amostra pode ser seleccionada de forma
  - Aleatória
  - Sistemática (neste caso, assume-se que os indivíduos se distribuem aleatóriamente na população)
- ✓ Atributos quantitativos – podem medir-se (directa ou indirectamente)
- ✓ O parâmetro a estimar é a média ou o total da população

▪Amostragem simples quantitativa

Cálculo do intervalo de confiança

▪ Amostragem simples quantitativa

✓ Populações normais e não normais, n>30

$$P\left(\overline{X}_n - s_{\overline{X}}\, z_{\alpha/2} \le \mu \le \overline{X}_n + s_{\overline{X}}\, z_{\alpha/2}\right) = 1-\alpha$$

$$s^2_{\overline{X}} = \frac{s_c^2}{n}\,\frac{N-n}{N}$$ (amostragem sem reposição)

Erro absoluto: $E = s_{\overline{X}}\, z_{\alpha/2}$

Erro percentual: $E\% = \frac{E}{\overline{X}}\,100$

✓ Populações normais, n<30

$$P\left(\overline{X}_n - t_{\alpha/2}\frac{s_c}{\sqrt{n}} \le \mu \le \overline{X}_n + t_{\alpha/2}\frac{s_c}{\sqrt{n}}\right) = 1-\alpha$$

Erro absoluto: $E = \frac{s_c}{\sqrt{n}}\, t_{\alpha/2}$

Erro percentual: $E\% = \frac{E}{\overline{X}}\,100$

▪Amostragem simples quantitativa

Cálculo da grandeza da amostra

▪Amostragem simples quantitativa

✓ Cálculo da grandeza da amostra - Populações normais e não normais, n>30

Com fator de correção	Sem fator de correção
$$Erro = \frac{s}{\sqrt{n}}\sqrt{\frac{N-n}{N}}z_{\alpha/2}$$ $$Erro = Erro\% \frac{\bar{x}}{100}$$	$$Erro = \frac{s}{\sqrt{n}}z_{\alpha/2}$$ $$Erro = Erro\% \frac{\bar{x}}{100}$$

Em qualquer dos casos, é possível expressar *n* em função do *Erro%* pretendido

$$Erro = \frac{s}{\sqrt{n}} z_{\alpha/2}$$

▪Amostragem simples quantitativa

✓ Cálculo da grandeza da amostra - Populações normais e não normais, n>30

Com fator de correção (sem reposição)	Sem fator de correção (reposição)
$$n = \frac{s_c^2\, z_{\alpha/2}^2}{\left(\frac{Erro\%\, \bar{x}}{100}\right)^2 + \frac{s_c^2\, z_{\alpha/2}^2}{N}}$$	$$n = \frac{s_c^2\, z_{\alpha/2}^2}{\left(\frac{Erro\%\, \bar{x}}{100}\right)^2}$$

A média e o desvio padrão têm que ser estimados por inventários anteriores ou amostragem prévia

▪Amostragem simples quantitativa

✓ Cálculo da grandeza da amostra

Populações normais, n<30

$$n = \frac{t^2_{\alpha/2} s_c^2}{E^2} = \frac{t^2_{\alpha/2} s_c^2}{\left(\frac{E\% \ \overline{X}}{100}\right)^2}$$

Neste caso o **cálculo é feito de modo iterativo** até que haja acordo entre o valor de n e o número de graus de liberdade utilizados pelo t_Student (o t_Student depende no número de graus de liberdade)

▪Amostragem simples quantitativa

Seleção das parcelas a amostrar

▪ Caso estudo:

✓ Utilizando o Quantum GIS vamos selecionar amostras aleatórias (eucalipto) e sistemáticas (sobreiro)

▪ Caso estudo Calha do Grou -amostras aleatórias

✓ 2) Utilizando o Quantum GIS obtenha as amostras aleatórias:

- 2.1) Amostra aleatória de 91 parcelas para a área de eucalipto
- 2.2) Amostra aleatória constituída pelas primeiras 30 parcelas
- 2.3) Amostra aleatória constituída pelas primeiras 15 parcelas

▪ Amostra aleatória para a área de eucalipto

▪ Amostra aleatória para a área de eucalipto

▪ Amostra aleatória para a área de eucalipto

▪ Amostra aleatória para a área de eucalipto

▪ Amostra aleatória para a área de eucalipto

▪ Amostra aleatória para a área de eucalipto

▪ Amostra aleatória para a área de eucalipto

▪a) Amostra aleatória para a área de eucalipto

▪ Amostra aleatória para a área de eucalipto

	ID	n	X	Y
1	0	1	-26056	-57234
2	1	2	-28696	-57464
3	2	3	-25985	-58737
4	3	4	-28305	-59218
5	4	5	-26987	-56447
6	5	6	-29829	-58684
7	6	7	-26796	-57010
8	7	8	-26504	-57341
9	8	9	-26880	-58753
10	9	10	-27463	-56775
11	10	11	-28180	-58930
12	11	12	-27128	-58856
13	12	13	-27375	-57468
14	13	14	-26294	-56984
15	14	15	-25643	-57433

▪ Caso estudo Calha do Grou – amostras sistemáticas

✓ 1) Utilizando o Quantum GIS lance as seguintes grelhas:

- 1.1) Grelha sistemática para a área de sobreiro com dimensão aproximada de 42 parcelas
- 1.2) Considere uma sub-grelha da anterior com o dobro da distância entre parcelas e veja quantas parcelas coincidem com a área de sobreiro
- 1.3) idem, mas para uma sub-grelha sistemática retangular com uma distância entre linhas dupla da distância do exercício 1.1 e uma distância entre parcelas da linha igual à utilizada em 1.1

▪ Grelha sistemática para a área de sobreiro

▪ Grelha sistemática para a área de sobreiro

▪ Grelha sistemática para a área de sobreiro

▪ Grelha sistemática para a área de sobreiro

▪ Grelha sistemática para a área de sobreiro

▪ Grelha sistemática para a área de sobreiro

▪ Grelha sistemática para a área de sobreiro

▪ Grelha sistemática para a área de sobreiro

▪ Grelha sistemática para a área de sobreiro

▪ Grelha sistemática para a área de sobreiro

▪ Grelha sistemática para a área de sobreiro

▪ Grelha sistemática para a área de sobreiro

▪ Grelha sistemática para a área de sobreiro

	fid	right	bottom	id	left_2	top_2	right_2	bottom_2	id_2	n	X
1	5...	1589725,631883...	4410511,866825...	3	1588231,238785...	4411401,866825...	1588231,238785...	4405983,949690...	26	1	1588231
2	5...	1589725,631883...	4410066,866825...	4	1588231,238785...	4411401,866825...	1588231,238785...	4405983,949690...	26	2	1588231
3	5...	1589725,631883...	4410956,866825...	2	1588231,238785...	4411401,866825...	1588231,238785...	4405983,949690...	26	3	1588231
4	5...	1589725,631883...	4408731,866825...	7	1587786,238785...	4411401,866825...	1587786,238785...	4405983,949690...	25	4	1587786
5	5...	1589725,631883...	4410511,866825...	3	1587786,238785...	4411401,866825...	1587786,238785...	4405983,949690...	25	5	1587786
6	5...	1589725,631883...	4410066,866825...	4	1587786,238785...	4411401,866825...	1587786,238785...	4405983,949690...	25	6	1587786
7	5...	1589725,631883...	4408286,866825...	8	1585116,238785...	4411401,866825...	1585116,238785...	4405983,949690...	19	7	1585116
8	5...	1589725,631883...	4410511,866825...	3	1587341,238785...	4411401,866825...	1587341,238785...	4405983,949690...	24	8	1587341
9	5...	1589725,631883...	4408286,866825...	8	1584671,238785...	4411401,866825...	1584671,238785...	4405983,949690...	18	9	1584671
10	5...	1589725,631883...	4407841,866825...	9	1584226,238785...	4411401,866825...	1584226,238785...	4405983,949690...	17	10	1584226
11	5...	1589725,631883...	4409621,866825...	5	1589121,238785...	4411401,866825...	1589121,238785...	4405983,949690...	28	11	1589121
12	5...	1589725,631883...	4406506,866825...	12	1584671,238785...	4411401,866825...	1584671,238785...	4405983,949690...	18	12	1584671
13	5...	1589725,631883...	4409621,866825...	5	1586896,238785...	4411401,866825...	1586896,238785...	4405983,949690...	23	13	1586896
14	5...	1589725,631883...	4406951,866825...	11	1583781,238785...	4411401,866825...	1583781,238785...	4405983,949690...	16	14	1583781
15	5...	1589725,631883...	4409176,866825...	6	1587786,238785...	4411401,866825...	1587786,238785...	4405983,949690...	25	15	1587786

▪ Grelha sistemática para a área de sobreiro

▪ Grelha sistemática para a área de sobreiro

		right	bottom	id	left_2	top_2	right_2	bottom_2	id_2	n	X
1	5...	1589725,631883...	4409621,866825...	5	1589121,238785...	4411401,866825...	1589121,238785...	4405983,949690...	28	11	1589121
2	5...	1589725,631883...	4409176,866825...	6	1588676,238785...	4411401,866825...	1588676,238785...	4405983,949690...	27	40	1588676
3	5...	1589725,631883...	4410066,866825...	4	1588676,238785...	4411401,866825...	1588676,238785...	4405983,949690...	27	42	1588676
4	5...	1589725,631883...	4410511,866825...	3	1588231,238785...	4411401,866825...	1588231,238785...	4405983,949690...	26	1	1588231
5	5...	1589725,631883...	4410066,866825...	4	1588231,238785...	4411401,866825...	1588231,238785...	4405983,949690...	26	2	1588231
6	5...	1589725,631883...	4410956,866825...	2	1588231,238785...	4411401,866825...	1588231,238785...	4405983,949690...	26	3	1588231
7	5...	1589725,631883...	4408731,866825...	7	1588231,238785...	4411401,866825...	1588231,238785...	4405983,949690...	26	41	1588231
8	5...	1589725,631883...	4408731,866825...	7	1587786,238785...	4411401,866825...	1587786,238785...	4405983,949690...	25	4	1587786
9	5...	1589725,631883...	4410511,866825...	3	1587786,238785...	4411401,866825...	1587786,238785...	4405983,949690...	25	5	1587786
10	5...	1589725,631883...	4410066,866825...	4	1587786,238785...	4411401,866825...	1587786,238785...	4405983,949690...	25	6	1587786
11	5...	1589725,631883...	4409176,866825...	6	1587786,238785...	4411401,866825...	1587786,238785...	4405983,949690...	25	15	1587786
12	5...	1589725,631883...	4410956,866825...	2	1587786,238785...	4411401,866825...	1587786,238785...	4405983,949690...	25	16	1587786
13	5...	1589725,631883...	4410511,866825...	3	1587341,238785...	4411401,866825...	1587341,238785...	4405983,949690...	24	8	1587341
14	5...	1589725,631883...	4408731,866825...	7	1587341,238785...	4411401,866825...	1587341,238785...	4405983,949690...	24	24	1587341
15	5...	1589725,631883...	4409176,866825...	6	1587341,238785...	4411401,866825...	1587341,238785...	4405983,949690...	24	38	1587341

▪ Grelha sistemática para a área de sobreiro

	fid	right	bottom	id	left_2	top_2	right_2	bottom_2	id_2	n	X
1	5...	1589725,631883...	4409621,866825...	5	1589121,238785...	4411401,866825...	1589121,238785...	4405983,949690...	28	11	1589121
2	5...	1589725,631883...	4410066,866825...	4	1588676,238785...	4411401,866825...	1588676,238785...	4405983,949690...	27	42	1588676
3	5...	1589725,631883...	4409176,866825...	6	1588676,238785...	4411401,866825...	1588676,238785...	4405983,949690...	27	40	1588676
4	5...	1589725,631883...	4410066,866825...	4	1588231,238785...	4411401,866825...	1588231,238785...	4405983,949690...	26	2	1588231
5	5...	1589725,631883...	4410956,866825...	2	1588231,238785...	4411401,866825...	1588231,238785...	4405983,949690...	26	3	1588231
6	5...	1589725,631883...	4410511,866825...	3	1588231,238785...	4411401,866825...	1588231,238785...	4405983,949690...	26	1	1588231
7	5...	1589725,631883...	4408731,866825...	7	1588231,238785...	4411401,866825...	1588231,238785...	4405983,949690...	26	41	1588231
8	5...	1589725,631883...	4410066,866825...	4	1587786,238785...	4411401,866825...	1587786,238785...	4405983,949690...	25	6	1587786
9	5...	1589725,631883...	4408731,866825...	7	1587786,238785...	4411401,866825...	1587786,238785...	4405983,949690...	25	4	1587786
10	5...	1589725,631883...	4410511,866825...	3	1587786,238785...	4411401,866825...	1587786,238785...	4405983,949690...	25	5	1587786
11	5...	1589725,631883...	4409176,866825...	6	1587786,238785...	4411401,866825...	1587786,238785...	4405983,949690...	25	15	1587786
12	5...	1589725,631883...	4410956,866825...	2	1587786,238785...	4411401,866825...	1587786,238785...	4405983,949690...	25	16	1587786
13	5...	1589725,631883...	4410511,866825...	3	1587341,238785...	4411401,866825...	1587341,238785...	4405983,949690...	24	8	1587341
14	5...	1589725,631883...	4408731,866825...	7	1587341,238785...	4411401,866825...	1587341,238785...	4405983,949690...	24	24	1587341
15	5...	1589725,631883...	4409176,866825...	6	1587341,238785...	4411401,866825...	1587341,238785...	4405983,949690...	24	38	1587341

▪ Grelha sistemática para a área de sobreiro

▪ Grelha sistemática para a área de sobreiro

		bottom	id	left_2	top_2	right_2	bottom_2	id_2	n	X	Y
1	3...	4410956,866825...	2	1588231,238785...	4411401,866825...	1588231,238785...	4405983,949690...	26	3	1588231	4410957
2	3...	4410956,866825...	2	1587786,238785...	4411401,866825...	1587786,238785...	4405983,949690...	25	16	1587786	4410957
3	3...	4410511,866825...	3	1588231,238785...	4411401,866825...	1588231,238785...	4405983,949690...	26	1	1588231	4410512
4	3...	4410511,866825...	3	1587786,238785...	4411401,866825...	1587786,238785...	4405983,949690...	25	5	1587786	4410512
5	3...	4410511,866825...	3	1587341,238785...	4411401,866825...	1587341,238785...	4405983,949690...	24	8	1587341	4410512
6	3...	4410066,866825...	4	1588676,238785...	4411401,866825...	1588676,238785...	4405983,949690...	27	42	1588676	4410067
7	3...	4410066,866825...	4	1588231,238785...	4411401,866825...	1588231,238785...	4405983,949690...	26	2	1588231	4410067
8	3...	4410066,866825...	4	1587786,238785...	4411401,866825...	1587786,238785...	4405983,949690...	25	6	1587786	4410067
9	3...	4410066,866825...	4	1585561,238785...	4411401,866825...	1585561,238785...	4405983,949690...	20	27	1585561	4410067
10	3...	4409621,866825...	5	1589121,238785...	4411401,866825...	1589121,238785...	4405983,949690...	28	11	1589121	4409622
11	3...	4409621,866825...	5	1586896,238785...	4411401,866825...	1586896,238785...	4405983,949690...	23	13	1586896	4409622
12	3...	4409621,866825...	5	1586451,238785...	4411401,866825...	1586451,238785...	4405983,949690...	22	36	1586451	4409622
13	3...	4409621,866825...	5	1585561,238785...	4411401,866825...	1585561,238785...	4405983,949690...	20	32	1585561	4409622
14	3...	4409621,866825...	5	1585116,238785...	4411401,866825...	1585116,238785...	4405983,949690...	19	30	1585116	4409622
15	3...	4409176,866825...	6	1588676,238785...	4411401,866825...	1588676,238785...	4405983,949690...	27	40	1588676	4409177

▪ Grelha sistemática para a área de sobreiro

Herdade Calha da Grou

N

1:30.000

Legend

- Random_Points_Ec
- clip_sb448x448
- Dissolve_pb
- Dissolve_ec
- Dissolve_pm
- Dissolve_sb

cef Centro de Estudos Florestais

▪Amostragem simples quantitativa

Cálculo do intervalo de confiança

▪ Amostragem simples quantitativa

✓ Populações normais e não normais, n>30

$$P\left(\overline{X}_n - s_{\overline{X}}\, z_{\alpha/2} \le \mu \le \overline{X}_n + s_{\overline{X}}\, z_{\alpha/2}\right) = 1-\alpha$$

$$s^2_{\overline{X}} = \frac{s_c^2}{n}\,\frac{N-n}{N}$$ (amostragem sem reposição)

Erro absoluto: $E = s_{\overline{X}}\, z_{\alpha/2}$

Erro percentual: $E\% = \frac{E}{\overline{X}}\,100$

✓ Populações normais, n<30

$$P\left(\overline{X}_n - t_{\alpha/2}\frac{s_c}{\sqrt{n}} \le \mu \le \overline{X}_n + t_{\alpha/2}\frac{s_c}{\sqrt{n}}\right) = 1-\alpha$$

Erro absoluto: $E = \frac{s_c}{\sqrt{n}}\, t_{\alpha/2}$

Erro percentual: $E\% = \frac{E}{\overline{X}}\,100$

▪ Caso estudo Calha do Grou - Intervalos de confiança

3. Utilize a amostra aleatória de 91 parcelas obtida no Ex 1 e calcule o intervalo de confiança a um nível de significância de 0.05 para o volume ha^{-1}, assim como o erro percentual associado a esta estimativa
4. Idem para as amostras aleatórias de 30 e 15 parcelas
5. Repita o exercício 3 para as 3 amostras sistemáticas obtidas no EX 2
6. Compare e discuta os resultados obtidos

▪Amostragem simples quantitativa

Cálculo da grandeza da amostra

▪Amostragem simples quantitativa

✓ Cálculo da grandeza da amostra

Populações normais e não normais, n>30

$$n = \frac{s_c^2 \, z_{\alpha/2}^2}{E^2 + \frac{z_{\alpha/2}^2 \, s_c^2}{N}} = \frac{s_c^2 \, z_{\alpha/2}^2}{\left(\frac{E\% \, \overline{X}}{100}\right)^2 + \frac{z_{\alpha/2}^2 \, s_c^2}{N}}$$

A média e o desvio padrão têm que ser estimados por inventários anteriores ou amostragem prévia

▪Amostragem simples quantitativa

✓ Cálculo da grandeza da amostra

Populações normais, n<30

$$n = \frac{t^2_{\alpha/2} s_c^2}{E^2} = \frac{t^2_{\alpha/2} s_c^2}{\left(\frac{E\% \ \overline{X}}{100}\right)^2}$$

Neste caso o cálculo é feito de modo iterativo até que haja acordo entre o valor de n e o número de graus de liberdade utilizados pelo t_Student

▪ Caso estudo Calha do Grou

1. Utilize a amostra aleatória de 15 indivíduos obtida no Ex 1 para calcular a grandeza da amostra necessária para estimar o volume ha^{-1} de eucalipto com um erro percentual de 5%, a um nível de significância de 0.05

2. Utilize a amostra sistemática de menos dimensão para estimar o volume ha^{-1} de sobreiro com um erro percentual de 5%, a um nível de significância de 0.05

- Amostragem estratificada quantitativa

Amostragem estratificada

- Se uma população é composta de outras subpopulações mais homogéneas, o cálculo dos parâmetros faz-se de maneira a separar os vários componentes (estratos)
- Consequentemente, a variância total reduz-se numa quantidade correspondente à variação entre estratos
- A selecção da amostra, dentro de cada estrato, pode ser
  - ➔ Aleatória
  - ➔ Sistemática (neste caso, assume-se que os indivíduos se distribuem aleatóriamente na população)
- O parâmetro a estimar é a média ou o total da população

POPULAÇÃO I

Com estratos delimitados

Área=40 ha
N=400
μ=136.44
σ=81.70

	I					II					III					IV					
20	130	153	153	112	200	106	100	147	118	165	0	0	12	0	35	0	18	0	0	24	
19	124	106	136	130	165	141	194	212	136	88	100	0	12	65	88	0	100	30	12	47	
18	177	165	136	124	171	106	82	177	147	165	118	82	47	6	88	12	30	0	0	24	A
17	165	112	124	118	153	118	224	136	118	159	141	65	35	24	0	30	30	53	53	30	
16	100	82	118	153	147	130	130	112	88	118	147	153	88	53	71	0	0	94	47	30	
15	224	247	217	230	130	259	277	100	147	171	200	171	118	141	82	59	71	6	0	0	
14	253	200	135	271	277	271	230	206	242	177	141	200	135	153	106	153	124	71	30	6	
13	212	277	265	212	206	171	289	259	183	247	194	277	183	165	88	106	118	136	53	71	B
12	224	283	247	300	100	318	277	306	177	200	177	271	141	71	124	71	188	171	159	94	
11	100	141	265	277	306	165	253	265	271	159	236	188	300	165	147	241	118	159	82	124	
10	277	330	253	218	177	353	330	253	171	194	241	177	177	118	88	106	118	188	77	165	
9	224	212	159	224	141	183	283	188	147	183	206	183	130	88	59	130	141	112	106	94	
8	271	318	200	271	218	253	260	200	147	259	253	77	165	242	153	194	106	224	59	141	C
7	277	277	206	236	230	230	294	165	294	212	259	159	94	124	212	100	159	124	218	200	
6	130	218	65	171	165	194	171	206	312	94	153	118	171	71	136	147	88	100	153	124	
5	218	130	118	130	82	171	147	124	177	183	159	94	124	212	100	159	124	100	82	71	
4	106	147	153	118	159	153	153	130	112	177	88	12	41	18	24	88	53	41	0	18	
3	130	200	194	100	141	165	153	147	177	194	106	35	0	18	0	0	35	30	41	35	D
2	77	165	159	159	183	118	124	124	94	159	71	0	100	18	6	6	0	0	0	30	
1	188	183	177	130	94	153	47	188	112	118	18	18	0	0	0	12	0	30	59	12	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	

Estrato I Estrato II Estrato III

Estrato	Area	N	Pj
I	13.4	134	0.34
II	14.4	144	0.36
III	12.2	122	0.31
TOTAL	40	400	1.00

Estrato	μj	σj	Pj μj	Pj σj^2
I	51.36	44.48	17.21	662.73
II	142.56	34.08	51.32	418.18
III	222.66	53.47	67.91	872.02
			136.44	1952.93
			μ	σ^2est
				44.19
				σest

Exercícios de ae (1)

- Ex ae.1 – População I estratificada

  Use a amostra aleatória da população I com dimensão 48 e separe-a por estrato

  a) Calcule a média estratificada para cada uma das amostras

  b) Junte os resultados dos vários alunos e faça, para cada dimensão da população, um histograma com a distribuição das médias

- Ex ae.2 – População I estratificada

  Idêntico a ae.1 mas com base na amostragem sistemática.

- Ex ae.3 – População I estratificada

  Compare e discuta os resultados obtidos nos exerc. asq.1 e asq.2

Amostragem estratificada (ae)

- Populações normais e não normais, n > 30, nj > 5

$$P\left(\overline{X}_{st} - z_{\alpha/2} s_{\overline{X}_{st}} \leq \mu \leq \overline{X}_{st} + z_{\alpha/2} s_{\overline{X}_{st}}\right) = 1 - \alpha$$

$$\overline{X}_{st} = \sum_{j=1}^{M} P_j \overline{X}_j \qquad s^2_{\overline{X}_{st}} = \sum_{j=1}^{M} P_j^2 \frac{s^2_{j,c}}{n_j} \frac{N_j - n_j}{N_j}$$

Erro absoluto

$$E = s_{\overline{X}_{st}} \; z_{\alpha/2}$$

Erro percentual

$$E\% = \frac{E}{\overline{X}_{st}} \; 100$$

Amostragem estratificada

- Populações normais, pequenas amostras, n < 30

$$P\left(\overline{X}_{st} - t_{\alpha/2}\frac{s_{st,c}}{\sqrt{n}} \le \mu \le \overline{X}_{st} + t_{\alpha/2}\frac{s_{st,c}}{\sqrt{n}}\right) = 1-\alpha$$

$$\overline{X}_{st} = \sum_{j=1}^{M} P_j \overline{X}_j$$

$$s_{st,c}^2 = \underbrace{\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{M}\sum_{i=1}^{n_j}\left(x_{ij} - \overline{X}_j\right)^2}_{s_{st}^2} \cdot \frac{n}{n-M}$$

Erro absoluto

$$E = \frac{s_{st,c}}{\sqrt{n}}\ t_{\alpha/2}$$

Erro percentual

$$E\% = \frac{E}{\overline{X}_{st}}\ 100$$

Exercícios de ae (2)

- Ex ae.4 - Utilize as amostras de 48, 16 e 8 indivíduos obtida no Ex ae.1 para:
  a) Estimar o volume ha^{-1} da população I e o respetivo intervalo de confinaça a um nível de significância de 0.05, com base em amostragem estratificada
  b) Calcule os erros percentuais associados a esta estimativa
- Ex ae.5 – Idêntico a Ex ae.4 mas com as amostras sistemáticas

Amostragem estratificada

- Cálculo da grandeza da amostra

Populações normais e não normais, grandes amostras (n>30)

1. Amostragem proporcional à dimensão dos estratos

$$n = \frac{z_{\alpha/2}^2 \sum_{j=1}^{M} P_j s_{j,c}^2}{E^2 + \frac{z_{\alpha/2}^2 \sum_{j=1}^{M} P_j s_{j,c}^2}{N}} = \frac{z_{\alpha/2}^2 \sum_{j=1}^{M} P_j s_{j,c}^2}{\left(\frac{E\% \ \overline{X}_{st}}{100}\right)^2 + \frac{z_{\alpha/2}^2 \sum_{j=1}^{M} P_j s_{j,c}^2}{N}}$$

Distribuição da amostra pelos diferentes estratos (cálculo dos nj):

$$n_j = P_j \ .n$$

Amostragem estratificada

- Cálculo da grandeza da amostra

Populações normais e não normais, grandes amostras (n>30)

2. Amostragem óptima

$$n = \frac{\left(\sum_{j=1}^{M} P_j s_{j,c}\right)^2 z_{\alpha/2}^2}{E^2 + \frac{z_{\alpha/2}^2 \sum_{j=1}^{M} P_j s_{j,c}^2}{N}} = \frac{\left(\sum_{j=1}^{M} P_j s_{j,c}\right)^2 z_{\alpha/2}^2}{\left(\frac{E\% \ \overline{X}_{st}}{100}\right)^2 + \frac{z_{\alpha/2}^2 \sum_{j=1}^{M} P_j s_{j,c}^2}{N}}$$

Distribuição da amostra pelos diferentes estratos (cálculo dos nj):

$$n_j = \frac{P_j s_{j,c}}{\sum_{j=1}^{M} P_j s_{j,c}} n \quad \Longleftrightarrow \quad n = \frac{N_j s_{j,c}}{\sum_{j=1}^{M} N_j s_{j,c}} n$$

Amostragem estratificada

- Cálculo da grandeza da amostra

Populações normais, pequenas amostras (n<30)

(proporcional à dimensão dos estratos)

$$n = \frac{t^2_{\alpha/2}\ s^2_{st,c}}{E^2} = \frac{t^2_{\alpha/2}\ s^2_{st,c}}{\left(\frac{E\%\ \overline{X}_{st}}{100}\right)^2}$$

Distribuição da amostra pelos diferentes estratos (cálculo dos nj):

$$n_j = P_j\ .n$$

Não esquecer que, neste caso, o cálculo é feito de modo iterativo até que haja acordo entre o valor de n e o número de graus de liberdade utilizados para o t-Student

Exercícios de ae (3)

- Ex ae.6 - Utilize a amostra de 8 indivíduos obtida no Ex ae.1 ou no Ex ae.2 para:
  a) Calcular a grandeza da amostra necessária para estimar o volume ha^{-1} da população I com um erro percentual de 5%, a um nível de significância de 0.05, utilizando amostragem proporcional à dimensão dos estratos
  b) Distribua também esta amostra pelos 3 estratos
- Ex ae.7 – Idêntico a Ex ae.5, mas com amostragem ótima
- Ex ae.8 – Idêntico a Ex ae.5 e Ex ae.6, mas para um erro percentual de 20%

- Amostragem por grupos

Amostragem por grupos (ag)

- Na amostragem por grupos, a unidade de amostragem é constituída por um grupo de indivíduos ("cluster")
- No caso do inventário florestal, baseado em parcelas de amostragem, um grupo é constituído por parcelas ou unidades mais pequenas designadas por parcelas ou unidades elementares
- Na amostragem por grupos há que distinguir dois casos:
  - → cada grupo (unidade de amostragem) contém o mesmo número de unidades elementares
  - → número de unidades elementares por grupo é variável e eventualmente desconhecido

Amostragem por grupos (ag)

- A amostragem por grupos apresenta algumas vantagens, em relação a uma amostragem casual simples de igual dimensão:
  - ➔ em muitas aplicações não existe uma listagem actualizada das unidades elementares que constituem a população, tornando-se mais fácil elaborar esta listagem apenas para os grupos que vierem a fazer parte da amostra
  - ➔ do ponto de vista económico é geralmente mais barata na medida em que se evitam em grande parte as despesas de localização das unidades elementares e de deslocação entre estas unidades
- Uma aplicação importante em Portugal é a amostragem da qualidade da cortiça

Exercícios de ag (1)

- Ex ag.1 – População I amostrada por grupos

  Considere a população I dividida em 100 grupos de 4 indivíduos contíguos.

  a) Obtenha amostras sistemáticas de 12 e 4 desses grupos, correspondente portanto a 48 e 16 indivíduos (amostragem por grupos)

  b) Calcule a média (volume por ha) para cada uma das amostras

  c) Junte os resultados dos vários alunos e faça, para cada dimensão da população, um histograma com a distribuição das médias

- Ex ag.2 – População I amostrada por grupos

  Compare e discuta os resultados obtidos nos exerc. asq.1 e asq.2

Amostragem por grupos - int. de confiança

- Na prática, a amostragem por grupos é uma amostragem casual simples de n grupos, estando o erro de amostragem associado apenas à variação entre os grupos uma vez que são observadas todas as unidades elementares dentro de cada grupo pertencente à amostra
  - ➔ A amostragem por grupos é eficiente se a variação dentro dos grupos for elevada e a variação entre os grupos pequena
- Na amostragem estratificada o erro de amostragem é devido à variação dentro dos estratos e a variância reduz-se devido à variação entre estratos
  - ➔ A amostragem estratificada é eficiente se a variação dentro dos estartos for pequena e a variação entre estratos for grande

Amostragem por grupos - int. de confiança

- Seja *n* o número de grupos que fazem parte da amostra e M a dimensão de cada grupo. Temos:
- Média empírica da amostra:

$$\overline{X} = \frac{1}{n\,M}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{M} x_{ij}$$

- Média empírica dos totais dos grupos:

$$\overline{T} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} T_i = M\overline{X}$$

- Variância empírica entre os totais dos grupos:

$$s_{eg}^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(T_i - \overline{T})^2$$

Amostragem por grupos - int. de confiança

- Intervalo de confiança para os grupos
  - ➔ Populações normais e não normais, grandes amostras

$$P\left(\overline{\mathrm{T}} - \frac{s_{eg}}{\sqrt{n}}\frac{N-n}{N}z_{\alpha/2} < \mu_{\mathrm{T}} < \overline{\mathrm{T}} + \frac{s_{eg}}{\sqrt{n}}\frac{N-n}{N}z_{\alpha/2}\right) = 1-\alpha$$

  - ➔ Populações normais, pequenas amostras

$$P\ (\overline{\mathrm{T}} - \frac{s_{eg}}{\sqrt{n}}t_{\alpha/2} < \mu_{\mathrm{T}} < \overline{\mathrm{T}} + \frac{s_{eg}}{\sqrt{n}}t_{\alpha/2}) = 1-\alpha$$

Amostragem por grupos - int. de confiança

- Intervalo de confiança para as unidades elementares

É extremamente fácil referir os intervalos de confiança à unidade elementar. Por exemplo o intervalo para grandes amostras é equivalente a:

$$P\left(\overline{X} - M\frac{s_{eg}}{M\sqrt{n}}\ \frac{N-n}{N}\ z_{\alpha/2} < \mu < \overline{X} + \frac{s_{eg}}{M\sqrt{n}}\ \frac{N-n}{N}\ z_{\alpha/2}\right) = 1-\alpha$$

Exercícios de ag (2)

- Ex ag.3 - Utilize as amostras de 48 e 16 indivíduos obtidas no Ex ag.1 para:
  a) estimar o volume ha^{-1} da população I e o respetivo intervalo de confiança a um nível de significância de 0.05, com base em amostragem estratificada
  b) Calcule os erros percentuais associados a esta estimativa
- Consegue deduzir uma expressão para calcular a grandeza da amostra na amostragem por grupos?

- Amostragem simples qualitativa

Amostragem simples qualitativa

- Atributos qualitativos – apenas podem ser descritos ou contados
- O parâmetro a estimar é a proporção de um atributo na população. Em inventário florestal utiliza-se para estimar áreas de “estratos”
- A amostragem simples qualitativa incide sobre toda a população como um todo
- A amostra pode ser seleccionada de forma aleatória ou sistemática (neste caso, assume-se que os indivíduos se distribuem aleatóriamente na população)

Amostragem simples qualitativa

- Populações normais e não normais, n p > 10

$$P\left(p^* - z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{p^* q^*}{n-1}} \le p \le p^* + z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{p^* q^*}{n-1}}\right) \approx 1-\alpha$$

Erro absoluto

$$E = \sqrt{\frac{p^* q^*}{n-1}}\ z_{\alpha/2}$$

Erro percentual

$$E\% = \frac{E}{p^*}\ 100$$

Exercício de amostragem qualitativa

- Cálculo de áreas no Inventário Florestal Nacional
  - ➔ A amostragem qualitativa consiste na “classificação” do uso do solo em cada ponto de uma grelha de 500 x 500 m
  - ➔ Esta classificação é posteriormente utilizada para calcular a proporção do “estrato” cuja área pretendemos calcular (ou melhor, estimar)
- A “classificação” do uso do solo de cada ponto é feita sobre fotografia aérea, daí os pontos serem geralmente designados por “foto-pontos”
- A “classificação” do uso do solo de cada ponto designa-se genericamente por foto-interpretação

Foto-interpretação no IFN

Esquema simplificado de classificação

Uso do solo
1. Natureza (NT)
2. Tipo (TP)

Natureza (NT)
1. Povoamentos florestais
2. Outras formações lenhosas
3. Matos
4. Agricultura
5. Outros usos
6. Águas interiores

Tipo de Agricultura (TA)
1. Regadio
2. Sequeiro
3. Vinha
4. Pomar
5. Prado
6. Pousio
7. Outra

Tipo (TP)
1. Ausência de espécies florestais
2. Presença de espécies florestais

Ocupação
1. Principal (OP)
2. Secundária (OS)
3. Presença de outras espécies (OE)

Espécies

- Arbóreas
1. Pinheiro bravo
2. Pinheiro manso
3. Outras resinosas
4. Sobreiro
5. Azinheira
6. Outros carvalhos
7. Eucalipto
8. Castanheiro
9. Acácia
10. Outras folhosas

- Sub-arbóreas
11. Medronheiro
12. Carrasco
13. Outras

Actividade sob-coberto
1. Culturas
2. Solo nu
3. Matos pouco densos
4. Matos muito densos

Grau de coberto
1. 0 a 10%
2. 10 a 30%
3. 30 a 50%
4. > 50%
5. Sementeira/plantação
6. Fogo
7. Corte raso

Dimensão
1. < 2 ha
2. 2 a 10 ha
3. 10 a 50 ha
4. > 50 ha

A foto-interpretação no IFN é baseada numa plataforma

▪2005_CV
CELPA
CELPA
CELPA
CELPA
CELPA

▪2005_IV
CELPA
CELPA

1995
CELPA
CELPA
CELPA
CELPA
CELPA

▪6184_CV

▪6184_IV

▪6184_95

7768_CV
CELPA
CELPA
CELPA
CELPA

7768_IV
o de inventário: localização por código
CELPA
CELPA
CELPA

▪7768_95

7779_CV
CELPA
CELPA
CELPA

7779_IV

7779_95
CELPA
CELPA
CELPA
CELPA
CELPA
CELPA

7818_CV
CELPA
CELPA
CELPA
CELPA
CELPA
LPA

7818_95
CELPA
CELPA
CELPA
CELPA

7818_95

Disponibilização dos dados do IFN

- Recentemente (17 de maio) foram disponibilizados alguns dados do IFN:
  - ➔ download no geocatálogo do ICNF: https://geocatalogo.icnf.pt/

Amostragem simples qualitativa

- Cálculo da grandeza da amostra

Populações normais e não normais, n p > 10

$$n = \frac{z^2_{\alpha/2}\ p^* q^*}{E^2} + 1 \approx \frac{z^2_{\alpha/2}\ p^* q^*}{E^2} = \frac{z^2_{\alpha/2}\ p^* q^*}{\left(\frac{E\%\ p^*}{100}\right)^2}$$

FIM

- Herdade da Calha do Grou

39
32
31
38
31
10
42
40
37
36
34
1
41
11
35
12
2
4
6
18
17
9
3
5
8
7
20
19
24
16
15
14
22
21
26
25
13
23
27
29
28
30

Azul: 8 - 23%
Verde: 24 - 39%
Vermelho: 40 - 56%

Dúvidas?

Índice

- Definição de povoamento e área de gestão
- Variáveis do povoamento e sua avaliação
- Parcelas de amostragem
- Delimitação de parcelas de amostragem no campo
- Alturas do povoamento
- Qualidade da estação
- Área basal e número de árvores por ha
- Lotação e densidade do povoamento
- Volume do povoamento
- Biomassa do povoamento
- Índice de área foliar
- Avaliação de variáveis do povoamento com outros tipos de parcelas
- Equações para as principais espécies florestais em Portugal
- Referências bibliográficas