

# LCF0510 - Inventário Florestal

## Terceiro Exame Parcial

Estudante: Maria Clara Cruz Moura (10319049)

### Respostas:

#### Floresta de Eucalipto

1. Considerando que a alocação das parcelas no campo segue a amostragem aleatória simples, para cada um dos atributos apresentados pelas parcelas de inventário, encontre a estimativa média com o respectivo erro amostral (coeficiente de confiança de 95%).

Para o cálculo da estimativa média de cada atributo, foi considerado os valores fornecidos pela tabela “Eucalipto Parcelas”. Assim foi calculado a média dos atributos: número de fuste, área basal, produção volumétrica de madeira, DAP médio, altura média, altura média das árvores dominantes e DAP médio quadrático.

O erro amostral das respectivas médias foi calculado a partir da fórmula:

$$\text{Var}(\hat{\mu}) * (\text{Raiz}(t))$$

$\text{Var}(\hat{\mu})$  = variância da média

t = estatística de Student para n-1 graus de liberdade

Para aplicação da fórmula foi necessário o cálculo dos seguintes estimadores: variância, tamanho da amostra, variância da média, estatística t. Os valores de cada estimador assim como o resultado das médias e o erro amostral de cada uma são demonstrados na tabela a seguir:

N.fuste		Área basal (m <sup>2</sup> ha-1)		Vol m <sup>3</sup> ha-1		DAP médio (cm)	
Média $\mu$ =	1581,67	Média $\mu$ =	23,3	Média $\mu$ =	186	Média $\mu$ =	13,99
Variância $s^2$ =	55615,45	Variância $s^2$ =	20,57	Variância $s^2$ =	7357	Variância $s^2$ =	6,63
Tamanho da amostra n=	40	Tamanho da amostra n=	40	Tamanho da amostra n=	40	Tamanho da amostra n=	40
Variância da média $\text{Var}(\hat{\mu})$ =	1390,386	Variância da média $\text{Var}(\hat{\mu})$ =	0,51425	Variância da média $\text{Var}(\hat{\mu})$ =	183,925	Variância da média $\text{Var}(\hat{\mu})$ =	0,16575
Estatística t=	2,03	Estatística t=	2,03	Estatística t=	2,03	Estatística t=	2,03
Erro Amostral E.A.=	75,7	Erro Amostral E.A.=	1,46	Erro Amostral E.A.=	27,54	Erro Amostral E.A.=	0,8264618412
Erro Amostral E.A.% =	4,786080	Erro Amostral E.A.% =	6,266094	Erro Amostral E.A.% =	14,80645	Erro Amostral E.A.% =	5,907518522

Altura média (m)		Altura média das árvores dominantes (m)		DAP médio quadrático (cm)	
Média $\mu$ =	19,6	Média $\mu$ =	20,5	Média $\mu$ =	13,11509
Variância $s^2$ =	27,71	Variância $s^2$ =	41,79	Variância $s^2$ =	2,18
Tamanho da amostra n=	40	Tamanho da amostra n=	40	Tamanho da amostra n=	40
Variância da média $\text{Var}(\hat{\mu})$ =	0,69275	Variância da média $\text{Var}(\hat{\mu})$ =	1,04475	Variância da média $\text{Var}(\hat{\mu})$ =	0,0545
Estatística t=	2,03	Estatística t=	2,03	Estatística t=	2,03
Erro Amostral E.A.=	1,689601	Erro Amostral E.A.=	2,074924	Erro Amostral E.A.=	0,473908
Erro Amostral E.A.% =	8,620416	Erro Amostral E.A.% =	10,12158	Erro Amostral E.A.% =	3,613456

Dessa forma obteve-se o seguinte resultado:

Atributos	média ± erro amostral
N. fuste	1581,67 ± 75,7
área basal	23,3 ± 1,46
vol	186 ± 27,54
DAP médio	13,99 ± 0,83
Altura média	19,6 ± 1,68
Altura média das árvores dominantes	20,5 ± 2,07
DAP médio quadrático	13,11 ± 0,47

2. Encontre o tamanho de amostra para erro amostral de 5% (coeficiente de confiança de 95%) para o atributo da produção volumétrica de madeira.

O tamanho da amostra para o erro amostral de 5% foi calculado a partir dos coeficientes de Variação Amostral (V%) e Estatística t. Para encontrar este atributo (tamanho ideal da amostra (n\*)) é necessário fazer algumas iterações, necessárias, da estatística t com n\* até que o número se estabilize. No caso foi necessário 4 iterações.

Como nesse caso a correção para população finita é desprezível, e não foi necessário utilizar o dado do tamanho da amostra (N). A fórmula utilizada para o cálculo de n\* foi:

$$n^* = (V\%^2 t^2) / E\%^2$$

E% - erro desejável em porcentagem

t - estatística de Student para n-1 graus de liberdade

V% - coeficiente de variação

n\* - tamanho da amostra para erro amostral igual a E5.

A fórmula utilizada para o cálculo da Variação Amostral foi :

**Coeficiente de Variação Amostral**

$$V_{\%} = \frac{\hat{\sigma}}{\hat{\mu}} \times 100$$

Obtendo assim o valor de 46,12 para o V%

Dessa forma obteve o resultado demonstrado pela tabela a seguir:

Iteração	t	n*
1	2,03	350,64
2	1,9602	326,92
3	1,9602	326,92
4	1,9602	326,92

- Com base nas informações sobre os talhões, realize uma estratificação da floresta, definindo os estratos, os talhões a que pertence cada estrato e a área total de cada estrato.

A estratificação da floresta foi feita a partir do agrupamento dos talhões e 3 grupos. Essa divisão foi feita a partir das semelhanças entre os critérios de espécie, espaçamento, manejo e tipo de plantio, para que assim cada estrato ficasse homogêneo em relação a floresta, como mostrado na tabela a seguir.

n	Estrato	Idade (anos)	Talhão	Rotação	Área (ha)	Espaçamento	Espécie	Manejo	Tipo de Plantio
1	E_01	3 a 4	12	1	22,41	330x180 (3,3x1,8)	E.grandis X E.urophylla	Reforma	Clonal
2			13	1	31,05	330x180 (3,3x1,8)	E.grandis X E.urophylla	Reforma	Clonal
3			26	1	27,87	330x180 (3,3x1,8)	E.grandis X E.urophylla	Reforma	Clonal
4			28	1	51,42	330x180 (3,3x1,8)	E.grandis X E.urophylla	Reforma	Clonal
5			29	1	80,09	330x180 (3,3x1,8)	E.grandis X E.urophylla	Reforma	Clonal
<b>Total:</b>					<b>132,75</b>				
5	E_02	4 á 7	15	2	15,00	300x200 (3x2)	E. grandis	Condução	Clonal
6			16	2	28,05	300x200 (3x2)	E. grandis	Condução	Clonal
7			17	2	36,55	300x200 (3x2)	E. grandis	Condução	Clonal
8			18	2	54,47	300x200 (3x2)	E. grandis	Condução	Clonal
9			19	2	46,87	300x200 (3x2)	E. grandis	Condução	Clonal
<b>Total:</b>					<b>180,94</b>				
11	E_03	1 á 4	30	1	22,41	330x180 (3,3x1,8)	E. grandis	Reforma	Clonal
12			31	1	31,05	330x180 (3,3x1,8)	E. grandis	Reforma	Clonal
13			27	1	27,87	330x180 (3,3x1,8)	E. grandis	Reforma	Seminal
<b>Total:</b>					<b>81,33</b>				

Portanto o primeiro grupo ficou como E.grandis x E.urophylla com manejo de reforma, o segundo ficou com E.grandis com manejo de condução e o terceiro grupo também ficou com as espécies de E.grandis com manejo de reforma.

4. Aplique a estratificação realizada no item anterior e encontre a estimativa da produção volumétrica de madeira (com respectivo erro amostral com 95% de confiança) segundo a amostragem estratificada.

Para encontrar a produção volumétrica de madeira pelo método de estratificação, foi preciso primeiramente encontrar a produção média de madeira por estrato, para assim encontrar a produção média da floresta, através da somatória dos estratos. A variância média da floresta também foi calculada da seguinte forma: primeiramente fez a variância de cada estrato, para em seguida fazer a somatória dos estratos para encontrar da floresta. Com isso foi possível encontrar a estimativa média da produção de madeira pelo método de estratificação. As tabelas a seguir demonstra o caminho percorrido para estes cálculos, respectivamente:

	Talhão	Parcelas	n° Parcelas	Área do talhão (ha)	Produção (m³/ha)	Produção média por estrato (m³)	Média da floresta (m³/parcela)	Variância (s²)	Variância da média da floresta
E 01	12	322	1	22,41	177,7103504				
	13	(313;314;310)	3	31,05	455,395066			Var.P	
	26	(178;170)	2	27,87	334,0573844			127034,8892	
	28	(113;106;209;138)	4	51,42	693,7672182				
	29	(302;231;112;123;115;121;300;301)	8	80,09	1200,227452			Var.A	
<b>Total:</b>			<b>18</b>	<b>212,84</b>	<b>2861,157471</b>	<b>158,953</b>		<b>158793,6115</b>	
E 02	15	327	1	23,4	341,3540914				
	16	(337;336;329)	3	28,05	955,2252135			Var.P	
	17	(331;332;339)	3	36,55	959,9662849			134360,344	
	18	(338;340;342;)	3	54,47	936,9880108				
	19	(341;345;346;349;352)	5	46,87	1499,281315			Var.A	
<b>Total:</b>			<b>15</b>	<b>189,34</b>	<b>4692,814916</b>	<b>312,854</b>		<b>167950,4299</b>	
E 03	30	(306;305;136)	3	44,7	388,3635793			Var.P	
	31	(160;308)	2	26,34	261,6333515			48168,38881	
	27	(103;188)	2	55,48	777,4499398			Var.A	
<b>Total:</b>			<b>7</b>	<b>126,52</b>	<b>1427,447</b>	<b>203,921</b>		<b>72252,58321</b>	
<b>Total da Floresta:</b>			<b>40</b>	<b>528,700</b>	<b>8981,419</b>	<b>675,729</b>	<b>224,535</b>	<b>374912,4302</b>	<b>234,320</b>
								<b>309563,6219</b>	<b>193,477</b>

<b>Vol m³ ha-1 da floresta</b>	
Média $\mu$ =	675,729
Variância $s^2$ =	374912,4
Tamanho da amostra $n$ =	13
Variância da média $Var(\hat{\mu})$ =	234,320
Estatística $t$ =	2,18
Erro Amostral <b>E.A</b> =	33,38
Erro Amostral <b>E.A%</b> =	4,939853

A partir desses cálculos foi possível obter o seguinte resultado:

	média ± erro amostral
volume m <sup>3</sup> ha-1	674 ± 33,38

5. Compare os resultados de estimativa e de erro amostral da produção volumétrica da madeira segundo a amostragem aleatória simples (questão 1) e segundo a amostragem estratificada (questão 4.). Explique os resultados encontrados.

A partir da amostragem aleatória simples e a estratificada podemos observar os seguintes resultados:

- Amostragem aleatória simples

Estimativa da produção volumétrica: 187

Erro amostral: 27,54

- Amostragem estratificada

Estimativa da produção volumétrica: 674

Erro amostral: 33,38

Assim podemos observar que a amostragem estratificada abrange mais a floresta, mesmo com um erro amostral maior, mas que ao se comparar com o erro amostral da amostragem aleatória simples ele é proporcionalmente menor.

### **Inventário Urbano do Bairro Jardins, Cidade de São Paulo**

6. Ignorando o tipo de quadra, encontre a estimativa do número total de árvores de vias públicas no bairro (com respectivo erro amostral com coeficiente confiança de 95%), segundo a amostragem aleatória simples.

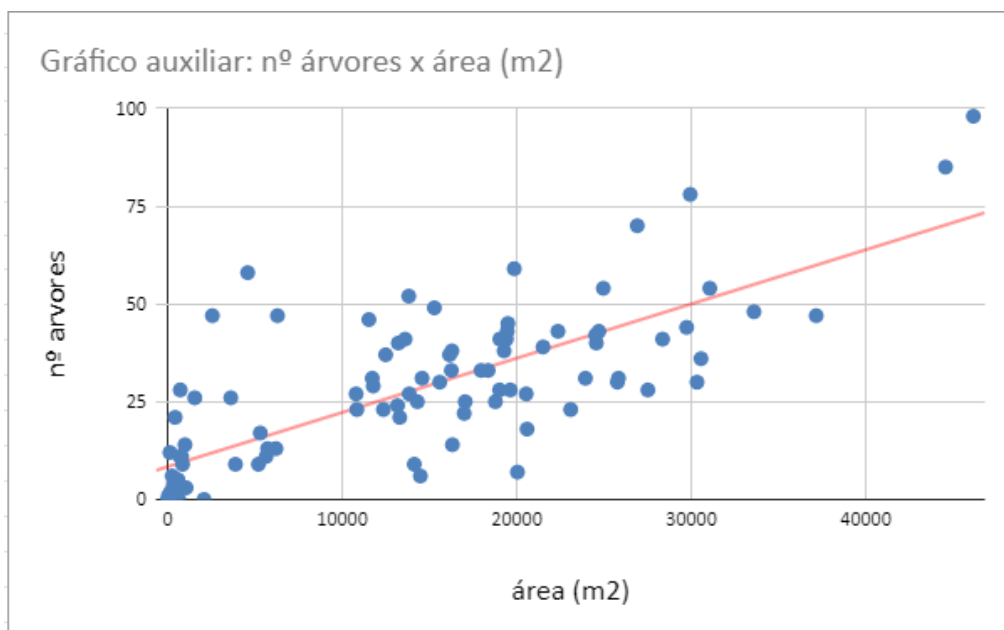
O cálculo para encontrar a estimativa do número total de árvores pelo método da amostragem aleatória simples, precisou inicialmente fazer o cálculo dos seguintes estimadores: média ( $\mu$ ), variância ( $s^2$ ), tamanho total  $N$ , correção para população finita (Cor.), variância da média ( $\text{var}(\hat{\mu})$ ), estatística  $t$  e erro amostral. O resultado do cálculo destes estimadores é demonstrado na imagem a seguir.

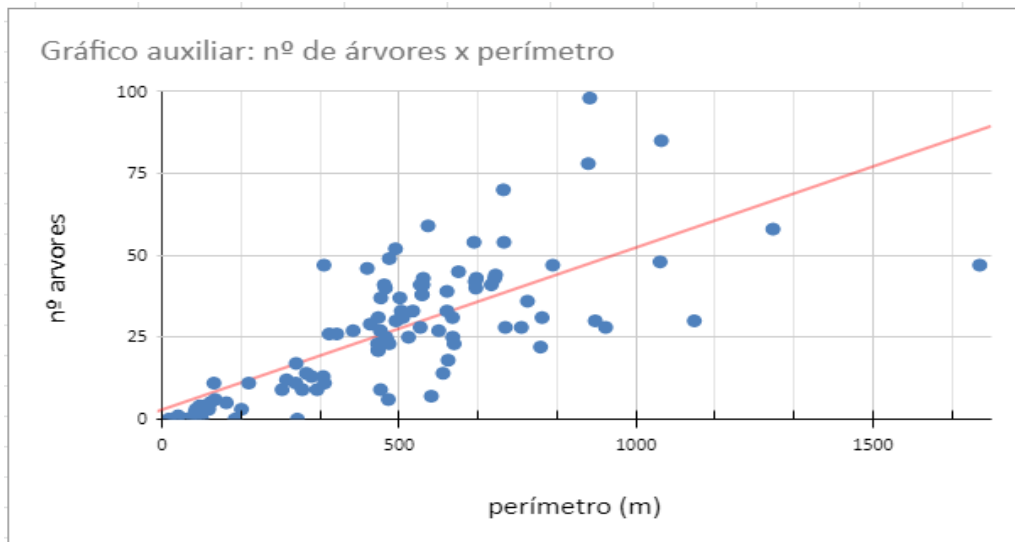
Número de árvores	
Média $\mu$ =	27
Variância $s^2$ =	405,07
número total $N$ =	415
Tamanho da amostra $n$ =	100
correção pop. finita=	0,76
Variância da média $\text{Var}(\hat{\mu})$ =	3,08
Estática $t$ =	1,99
Erro Amostral $E.A$ =	3,5
Erro Amostral $E.A\%$ =	12,96296

Dessa forma obtemos o seguinte resultado:  $27 \pm 3,5$ . Como estimativa média do número total de árvores no Bairro Jardins.

- Ignore novamente o tipo de quadra. Se você fosse utilizar uma medida auxiliar para estimar o número total de árvores de vias públicas no bairro, qual você utilizaria: a área da quadra ou o perímetro da quadra? Qual estimador você utilizaria? Justifique detalhadamente sua resposta.

Para a escolha da medida auxiliar a fim de estimar o número total de árvores de via públicas é preciso analisar como os dados da área da quadra e do perímetro da quadra se comportam em relação à medida principal que é o número de árvores. Para isso foi realizado os seguintes gráficos:





Podemos notar que a linha de tendência do gráfico do perímetro é mais próxima da origem, e a dispersão de Y não depende de X, por isso o estimador ideal para utilizar neste caso é o de razão. Já em relação ao gráfico da área podemos notar que a linha de tendência está mais distante da origem e a dispersão dos dados estão mais proporcionais entre Y e X, dessa forma o melhor estimador a ser utilizado neste caso é o de regressão.

Dessa forma, para resolução deste exercício definiu-se a utilização da medida auxiliar sendo a área da quadra com o Estimador de Regressão, pois os dados e a situação apresentados se mostraram adequados para tal aplicação.

8. Aplique a variável auxiliar e o estimador segundo a sua resposta da questão anterior para obter a estimativa do número total de árvores de vias públicas no bairro, com respectivo erro amostral (coeficiente de confiança de 95%).

Portanto, para o cálculo da estimativa do número total de árvores através da variável auxiliar com a aplicação do estimador de regressão, estabeleceu-se que a variável Y corresponde ao número de árvores e a variável X é a área (variável auxiliar). Vale salientar que os dados fornecidos sobre a área foram divididos por 10000, para assim obter o resultado em hectare.

Para encontrar o número total de árvores por esta método, foi preciso calcular os seguintes estimadores: média populacional da variável X ( $\mu_X$ ), tamanho da população, tamanho da amostra, média de x, média de y, estimador de regressão, variância populacional,

estimativa da média de Y, variância da média, correção para população finita, estatística t e erro amostral.

Para o cálculo do estimador de regressão foi utilizado a seguinte fórmula:

\* Estimador de regressão:

$$\hat{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{\mu}_x) (y_i - \hat{\mu}_y)}{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{\mu}_x)^2}$$

$$\hat{\beta} = \frac{\sum x_i y_i - [\sum x_i \sum y_i] / n}{\sum x_i^2 - [\sum x_i]^2 / n}$$

A tabela a seguir demonstra os valores calculados de cada estimador.

ESTIMADOR DE REGRESSÃO			
media pop variável x	mu_X=	0,0001	ha
área total		161523,9	ha
tamanho da população	N=	415	parcelas
tamanho da amostra	n=	100	
	mu_x=	1,323222	
	mu_y=	26,73	
Soma (xi)	132,3222		
Soma (yi)	2673		
Soma (xi^2)	2986827,686		
Soma (yi^2)	111551		
Soma (xi*yi)	5251,648		
R=	0,01		
variância pop.	s <sup>2</sup> _L =	406,15	
estimativa da media de Y	mu_L =	26,72	árvores/ha
variância da média	corr. pop. finita =	0,76	
	Var(mu_L) =	3,08	
Estatística t	t =	2,03	
Erro amostral		3,57	m <sup>3</sup> /ha
		5	%

Com isso obtemos o resultado de 26,72 ± 3,57 de estimativa do número total de árvores em vias públicas no Bairro Jardins.