

# Estimação da variância da taxa de encontro na amostragem por transectos lineares

## Introdução

Na amostragem por distâncias, uma das componentes que mais contribui para a variância dos estimadores da abundância ( $N$ ) ou da densidade ( $D$ ) de animais na região de estudo ( $A$ ) é a variância da taxa de encontro ( $n/L$ ).

Recentemente foram propostos novos estimadores para a taxa de encontro na amostragem por transectos lineares (TL) tendo em conta a disposição, aleatória ou sistemática (Fwester *et al.*, 2008). O desempenho destes estimadores foi estudado por simulação para populações triangulares homogêneas ou com gradiente de densidade, e foram considerados 2 pós-estratos para os estimadores propostos com TL sistemáticos.

Neste trabalho estudam-se as propriedades destes estimadores quando as populações tendem a distribuir-se de forma não homogênea com tendência para formar agrupamentos, e quando os pós-estratos têm mais do que 2 TL. Finalmente ilustramos as diferenças obtidas com os diferentes estimadores em dados recolhidos com um plano de amostragem por TL, para uma população de cabras de montanha *Capra pyrenaica*, na Serra Nevada, em Espanha.

## Notação:

- $k$  – n.º de transectos lineares (TL);
- $n_i$  – dimensão da amostra no  $i$ -ésimo TL,  $i = 1, \dots, k$ ;
- $n = \sum_{i=1}^k n_i$  = dimensão da amostra;
- $H$  = n.º de pós-estratos;
- $l_i$  = comprimento do  $i$ -ésimo TL,  $i = 1, \dots, k$ ;
- $L = \sum_{i=1}^k l_i$  = comprimento total dos TL.

## Estimação da variância da taxa de encontro

### Estimadores convencionais:

- O estimador empírico,  $\hat{Var}_E\left(\frac{n}{L}\right) = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k l_i \left(\frac{n_i}{l_i} - \frac{n}{L}\right)^2$ , baseia-se na colocação aleatória dos TL; é não enviesado no delineamento e só pode ser usado quando existem réplicas espaciais.

- Em populações não homogêneas ou com tendência para formar agrupamentos:

– Com TL sistemáticos, o estimador baseado na variância Poisson,  $Var_p\left(\frac{n}{L}\right) = \frac{n}{L^2}$  se  $L$  fixo, é menos enviesado do que o estimador variância empírica;

– O enviesamento do estimador variância empírica é mais acentuado com o aumento do número de TL (Afonso *et al.*, 2008).

- Quando a população não apresenta um padrão repetitivo, a amostragem sistemática tende a reduzir a variância dos estimadores (Cochran, 1977), sendo a variância real subestimada com o estimador variância empírica.

### Estimadores baseados no delineamento sugeridos por Fwester *et al.* (2008)

TL aleatórios	TLs sistemáticos (pós-estratos não sobrepostos)	TLs sistemáticos (pós-estratos sobrepostos)
$\hat{Var}_{R_2}\left(\frac{n}{L}\right) = \frac{k}{k-1} \sum_{i=1}^k l_i^2 \left(\frac{n_i}{l_i} - \frac{n}{L}\right)^2$	$\hat{Var}_{S_2}\left(\frac{n}{L}\right) = \frac{1}{L^2} \sum_{h=1}^H L_h^2 \hat{Var}_h\left(\frac{n_h}{L_h}\right)$	$\hat{Var}_{O_2}\left(\frac{n}{L}\right) = \frac{2k}{L^2(k-1)} \sum_{i=1}^{k-1} \frac{(l_i l_{i+1})^2}{(l_i + l_{i+1})^2} \left(\frac{n_i}{l_i} - \frac{n_{i+1}}{l_{i+1}}\right)^2$

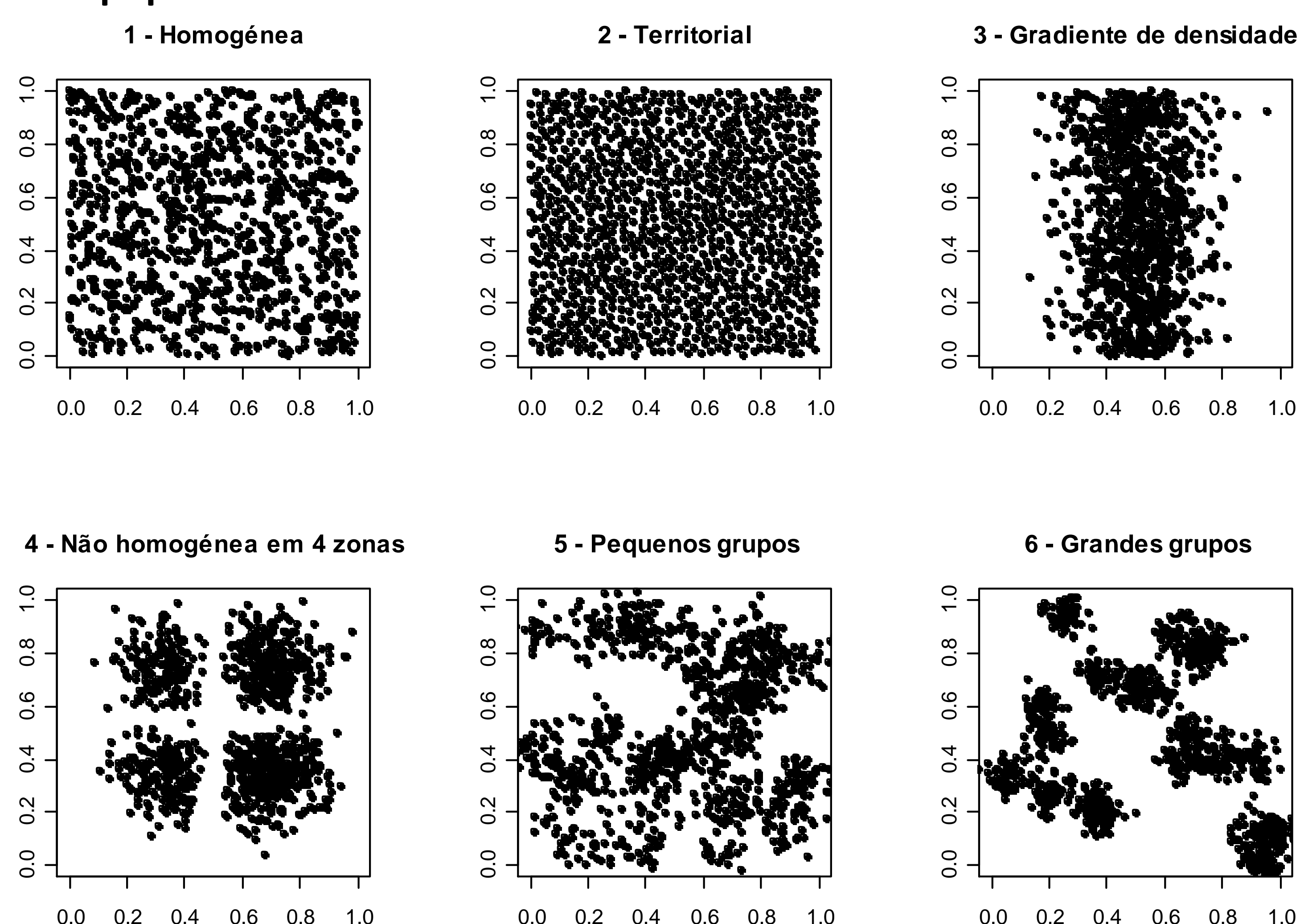
Onde  $Var_h$  é obtida usando  $Var_{R_2}$  no estrato  $h$ , com  $k_h$  TLs.

- O estimador  $\hat{Var}_{R_2}$  apresenta melhor desempenho do que  $\hat{Var}_E$ .
- Os estimadores  $\hat{Var}_{S_2}$  e  $\hat{Var}_{O_2}$ , menos enviesados do que  $\hat{Var}_E$  nas populações com gradiente de densidade e TL sistemáticos.

## Simulação

- Abordagem baseada no desenho;
- 5000 simulações;
- Populações com  $N = 1000$  indivíduos.

### Cenários populacionais



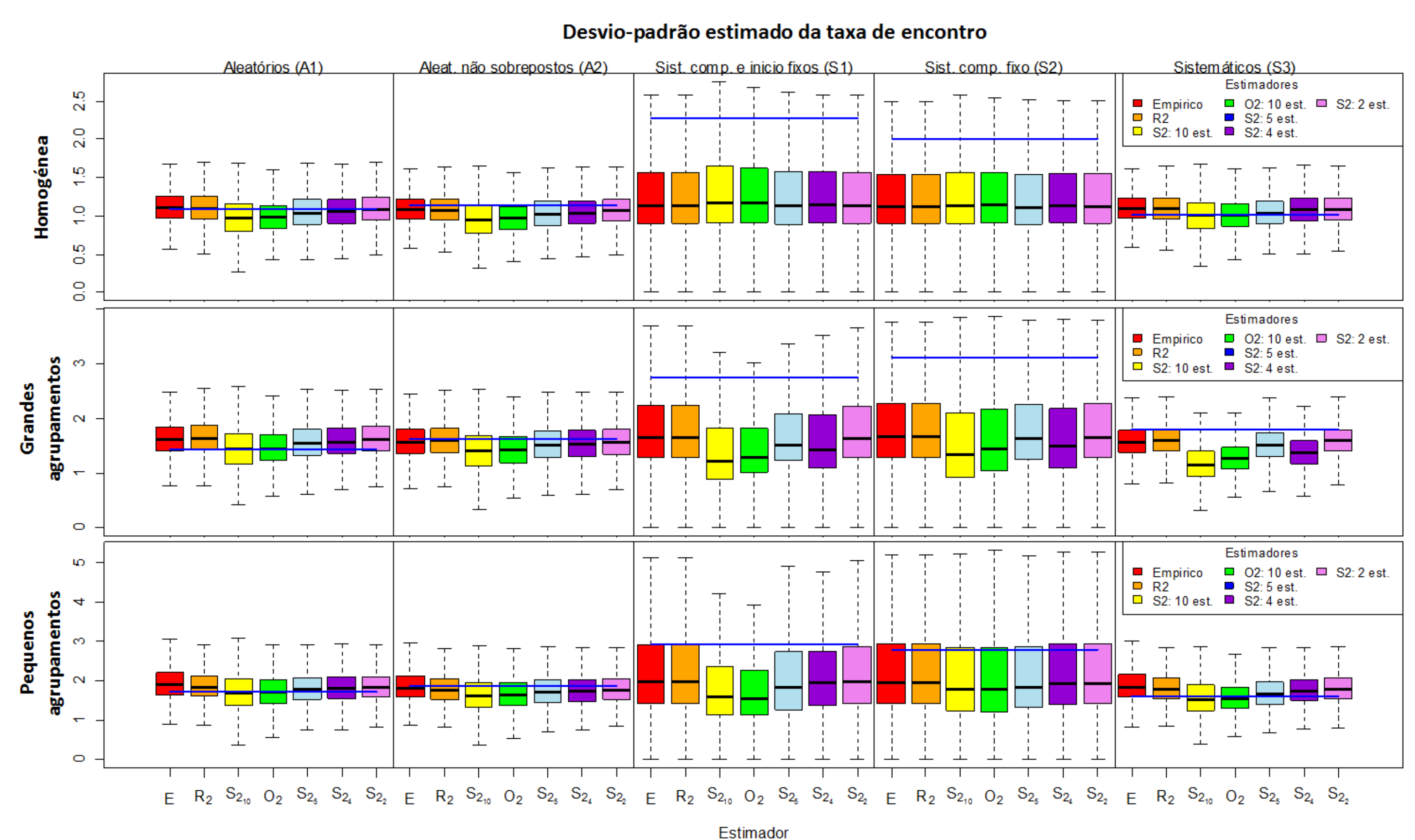
## Posicionamento dos transectos

Em cada simulação, foram posicionados  $k = 20$  TL paralelos ao eixo das abcissas de forma:

- A1. Aleatória, com  $l_i \sim U[0; 1]$ ,  $i = 1, \dots, 20$ ;
- A2. Aleatória sem sobreposição da área coberta, com  $l_i \sim U[0; 1]$ ,  $i = 1, \dots, 20$ ;
- S1. Sistemática, com  $l_i = l$  e  $x_i = x$ ,  $i = 1, \dots, 20$ ;
- S2. Sistemática, com  $l_i = l$  e  $x_i \sim U[0; 1]$ ,  $i = 1, \dots, 20$ ;
- S3. Sistemática, com  $l_i \sim U[0; 1]$  e  $x_i \sim U[0; 1]$ ,  $i = 1, \dots, 20$ .

## Resultados

- Todos os estimadores são enviesados negativamente com TL sistemáticos com igual comprimento (S1 e S2) e apresentam uma dispersão muito superior;
- O estimador  $\hat{Var}_E$  é enviesado quando a população tem tendência para formar agrupamentos e os TL são aleatórios (A1).
- O tipo de enviesamento dos estimadores  $\hat{Var}_{S_2}$  e  $\hat{Var}_{O_2}$  depende da distribuição espacial. O aumento do n.º de pós-estratos não reduz a dispersão do estimador  $\hat{Var}_{S_2}$ .



## Caso de estudo

**Local:** Parque Natural da Serra Nevada, na Comunidade Autónoma de Andalucía, Espanha.

**Espécie:** *Capra pyrenaica* (Schinz, 1838).



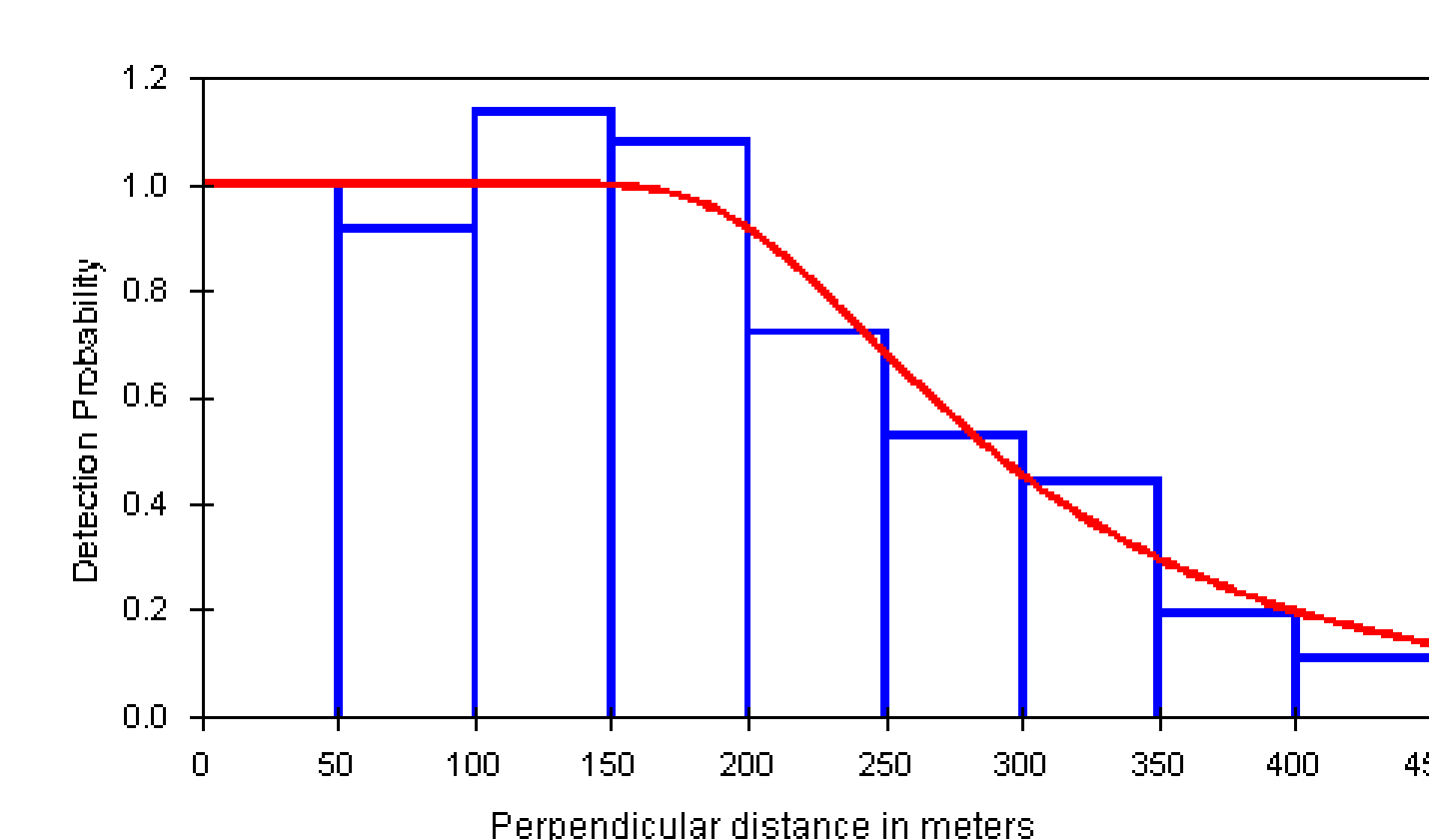
**Método de amostragem:** Transectos lineares.

**Ano:** 2002

Sector	N.º de TLs percorridos	N.º de kms percorridos	N.º de grupos detectados	N.º de indivíduos detectados
Poente	8	60	58	162
Alpujarra	15	116	104	434
Marquesado	5	28	24	70
Umbria	5	39	28	98
Solana	7	74	27	66
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>317</b>	<b>830</b>	<b>241</b>

## Resultados

- Taxa de encontro de grupos estimada: 0,6917 grupos/km.



Estimador do desvio-padrão da taxa de encontro de grupos	Estimativa
$Var_E$	0,1791
$Var_{R_2}$	0,1606
$Var_{S_2}$ ( $H = 20, K_h = 2$ )	0,1566
$Var_{O_2}$ ( $H = 20, K_h = 2$ )	0,1560
$Var_{S_2}$ ( $H = 10, K_h = 4$ )	0,1349
$Var_{S_2}$ ( $H = 5, K_h = 8$ )	0,1417
$Var_{S_2}$ ( $H = 4, K_h = 10$ )	0,1605
$Var_{S_2}$ ( $H = 2, K_h = 20$ )	0,1629
$Var_{S_2}$ ( $H = 5, K_1 = 8, K_2 = 15, K_3 = K_4 = 5, K_5 = 7$ )	0,1655

### Referências bibliográficas:

- Afonso, A., Alpizar-Jara, R., Moço, G., Granados, J. E. e Pérez, J. M. (2008). Dimensión de la muestra y estimación de su varianza en muestreo por distancias: una aplicación en la estima de abundancia de poblaciones de ungulados de montaña. Em *Tendencias actuales en el estudio y conservación de los Caprinos Europeos*. Actas do II Congreso Internacional del Género Capra en Europa. Edição da Junta de Andalucía e Consejería de Medio Ambiente, 15-29.
- Buckland, S. T., Anderson, D. R., Burnham, K. P., Laake, J. L., Borchers, D. L. e Thomas, L. (2001). *Introduction to distance sampling*. Oxford University Press, New York.
- Cochran, W. G. (1977). *Sampling techniques*. Third edition. John Wiley & Sons, New York.
- Fwester, R. M., Buckland, S. T., Burnham, K. P., Borchers, D. L., Jupp, P. E., Laake, J. L., Thomas, L. (2008). Estimating the encounter rate variance in distance sampling. *Biometrics*. DOI:10.1111/j.1541-0420.2008.01018.x.
- Thompson, S. K. e Seber, G. A. F. (1996). *Adaptive sampling*. Wiley, New York.