

Análises espaciais em padrão de pontos (SPPA)

Valéria Forni Martins

Departamento de Ciências da Natureza, Matemática e
Educação

Centro de Ciências Agrárias

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar *campus* Araras

Rodovia Anhanguera km 174

13600-970, Araras, SP, Brasil

E-mail: valeriafm@gmail.com

Tipos de dados espaciais

- Dados em contagem/de densidade/em padrão de superfície:
 - Quantos indivíduos em cada unidade amostral.
 - Não é medida a localização exata de cada indivíduo.
 - Medida de uma dada variável em cada unidade amostral.
 - Unidade amostral é uma área.
 - Associa-se uma coordenada cartesiana (x, y) ou geográfica a cada unidade amostral.
 - Análises baseiam-se principalmente na autocorrelação/dependência espacial entre unidades próximas.

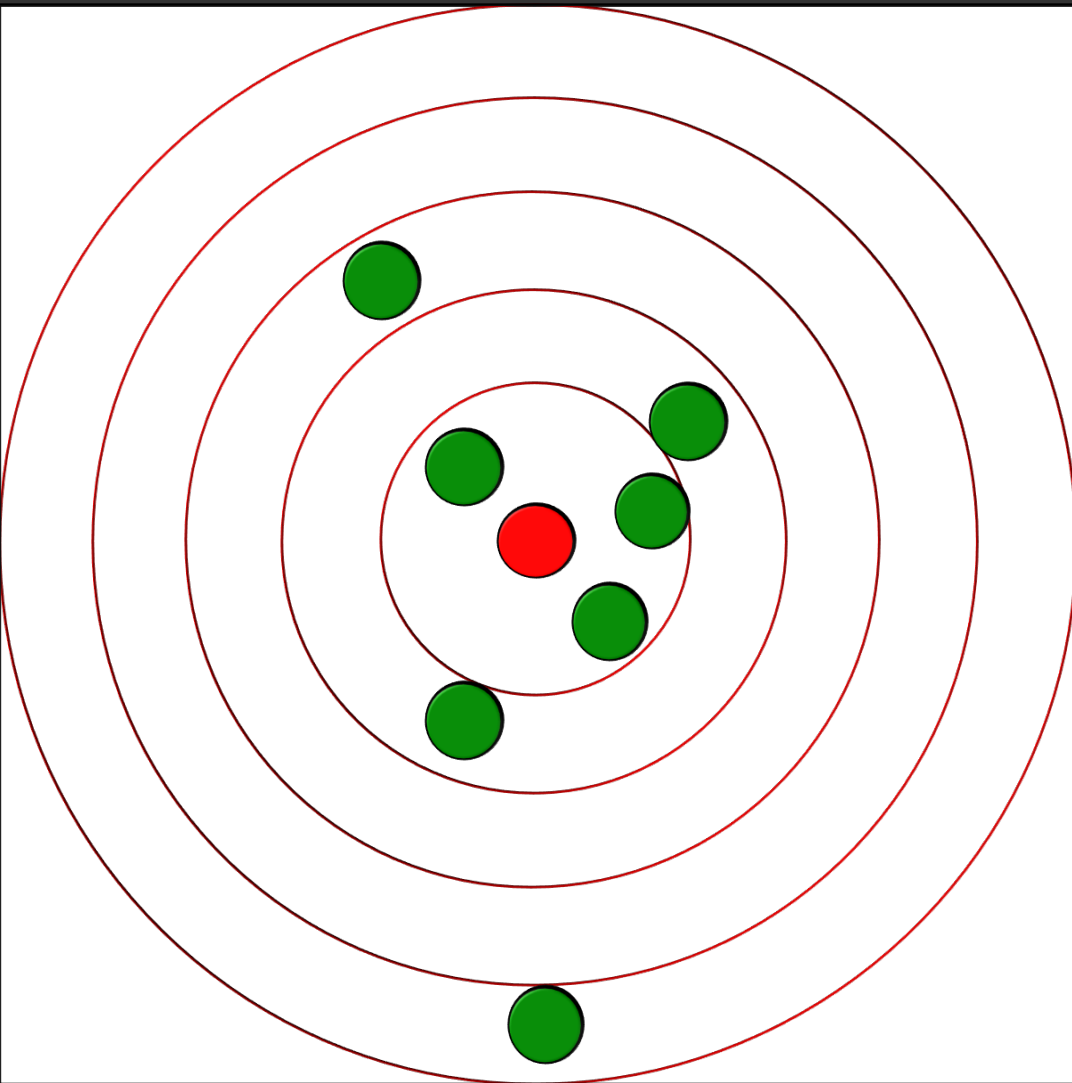
Tipos de dados espaciais

- Dados em padrão de pontos:
 - Coordenadas cartesianas ou geográficas de todos os indivíduos dentro de uma área de estudo.
 - Medidas qualitativas e quantitativas associadas aos indivíduos.
 - Cada indivíduo é uma unidade amostral.
 - Coleta de dados mais trabalhosa e, conseqüentemente, em menor escala espacial, mas que rende em informações mais detalhadas (*Individual Based Models*).
 - Análises baseiam-se principalmente na densidade de indivíduos em diferentes classes de distância a partir de um ponto central arbitrário.

SPPA

- Tem trazido muitos avanços para o estudo da conexão estrutura espacial-processo ecológico:
 - Uso de diferentes métricas espaciais: quantificam diferentes aspectos dos dados, e fornecem uma descrição breve e concisa dos mesmos usando números, funções ou diagramas (Illian *et al.* 2008).
 - Uso de diferentes modelos nulos: utilizados principalmente como hipóteses nulas para comparação com os dados coletados (Wiegand & Moloney 2014).
 - Avaliação da estrutura em diferentes escalas espaciais.

Métrica: estatística O-ring



$$O_1 = 3/\text{área do anel1}$$

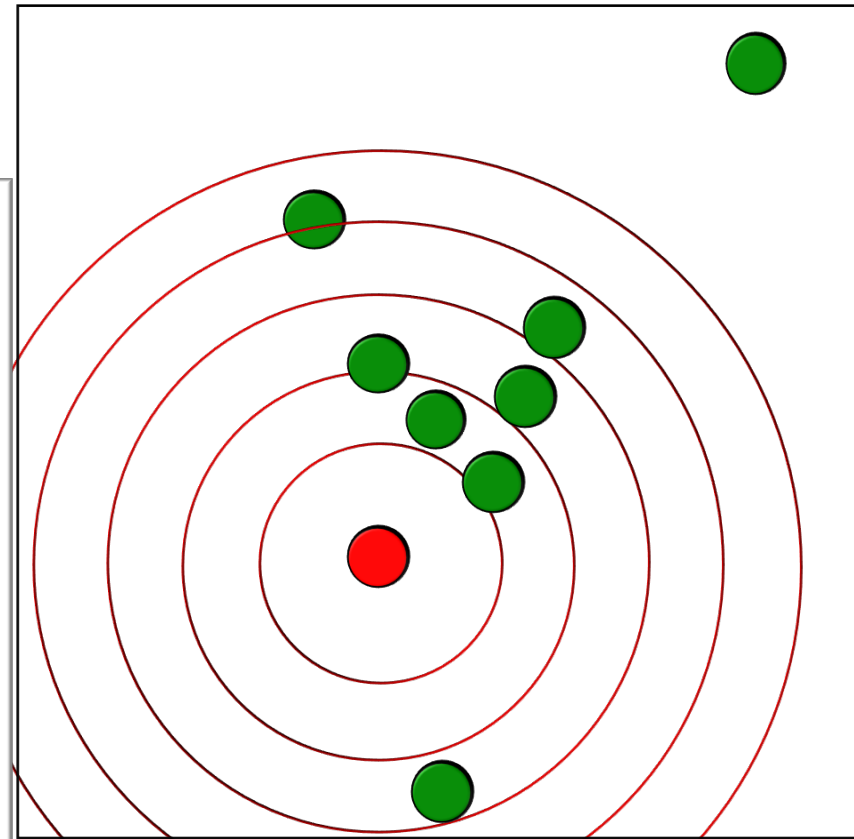
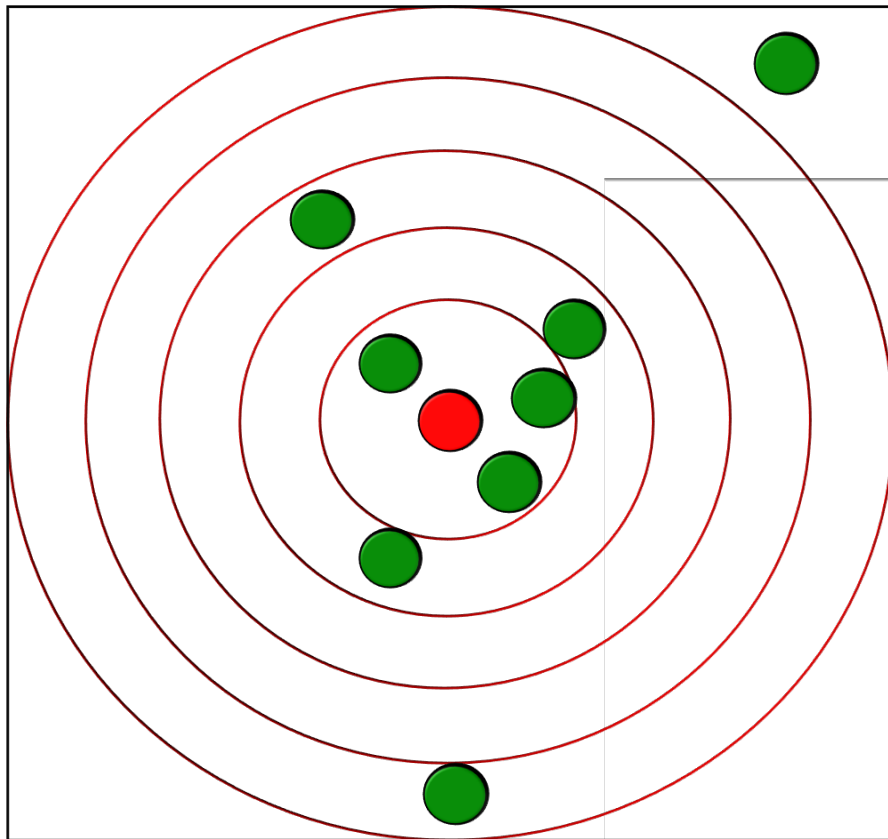
$$O_2 = 2/\text{área do anel2}$$

$$O_3 = 1/\text{área do anel3}$$

$$O_4 = 0/\text{área do anel4}$$

$$O_5 = 1/\text{área do anel5}$$

Métrica: estatística O-ring



Métrica: estatística *O-ring*

- Somatório do número de pontos na classe de distância r dividido pela área do círculo: média do número de pontos em cada classe de distância.
- Representa o número esperado de vizinhos em diferentes classes de distância a partir de um ponto focal arbitrário: em CSR, há, em média, x vizinhos na classe de distância r .
- Isola classes de distâncias específicas e detecta padrões mistos sem confundir efeitos a diferentes distâncias do ponto focal.

Métrica: função de correlação entre pares

- $g(r) = O(r)/\lambda$.
- λ é a função de intensidade do padrão de pontos na área de estudo: número de pontos n dividido pela área A .
- $g(r)$ representa a densidade de vizinhança normalizada.
 - Em CSR, a expectativa é $g(r) = 1$.
 - Desvios positivos indicam que há x vezes mais vizinhos do que o esperado.
 - Desvios negativos indicam que há x vezes menos vizinhos do que o esperado.

Modelos nulos

- Calculamos a métrica espacial para as diferentes classes de distância.
- Agora precisamos compará-la com algum padrão espacial, que é o modelo nulo.
 - Modelo nulo determina o padrão esperado na ausência de um determinado mecanismo ecológico.
 - É usado para comparação com dados que hipoteticamente foram produzidos pelo mecanismo ecológico em questão (Gotelli & Ellison 2004).
- O modelo nulo tem propriedades conhecidas.

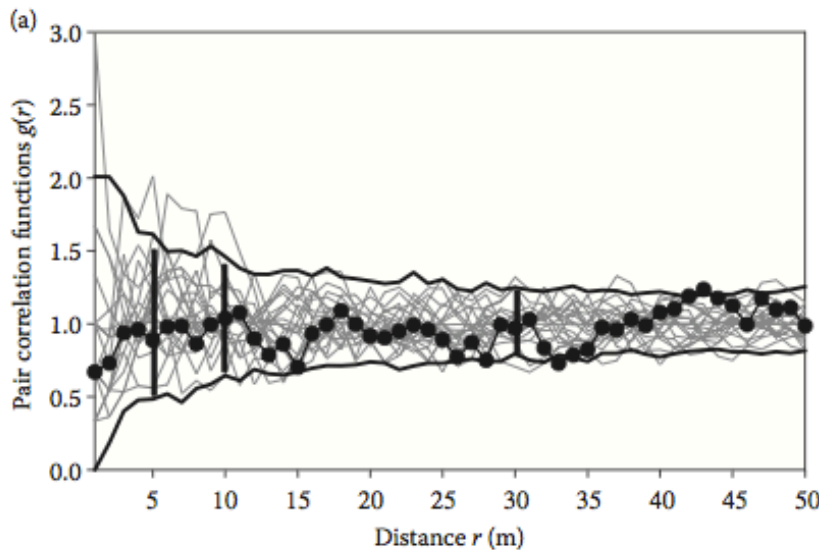
Modelo nulo de CSR

- *Complete spatial randomness* ou aleatoriedade espacial completa.
- Pontos têm igual probabilidade de ocorrer em qualquer posição da área de estudo (não há heterogeneidade ambiental).
- Posição é independente da localização de outros pontos existentes na área de estudo (não há interação entre os pontos).
- Simulações de Monte Carlo posicionam os pontos em todas as localizações possíveis dentro da área de estudo, condicionado pelo número de pontos.

Simulações de Monte Carlo

- Permitem comparar o padrão observado com o esperado segundo o modelo nulo utilizado:
 - São realizadas múltiplas simulações do modelo nulo.
 - A métrica espacial é calculada para cada simulação.
 - É criado um envelope de confiança com uma dada porcentagem das métricas calculadas durante as simulações.
 - Para um envelope de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$), são usados os 5% dos valores mais altos e mais baixos de 199 simulações (somando-se com o padrão observado, totalizam 200 padrões).
 - Se o padrão observado estiver dentro do envelope de confiança, ele é semelhante ao modelo nulo e nossos dados podem ser descritos por suas propriedades.
 - Se o padrão observado for diferente do modelo nulo, há mais estrutura espacial nos nossos dados do que a descrita pelo modelo: desvios indicam as propriedades dos dados que diferem do esperado de acordo com o modelo nulo.

Simulações de Monte Carlo



Wiegand & Moloney 2014

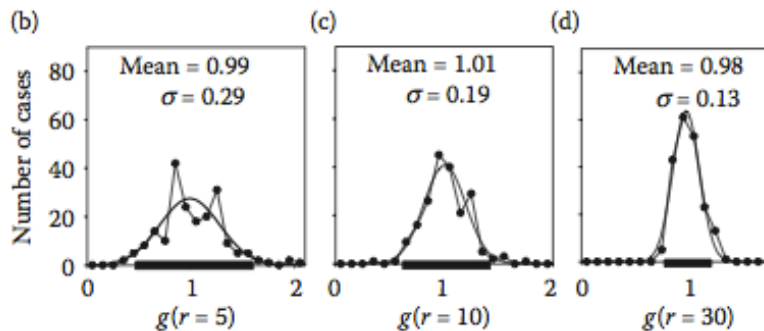


FIGURE 2.17

Construction of simulation envelopes to test for departure from CSR, using the pair-correlation function as an example. (a) Results from application of the pair-correlation function to an observed pattern of 500 points and 199 replicate CSR patterns produced by randomly distributing 500 points within a $1000 \times 1000 \text{ m}^2$ observation window. The line connected by black, filled circles shows the results of the analysis for the observed pattern; whereas, the gray lines show the first 19 simulations of the CSR null model to provide an idea of the variability produced among replicates. The solid black, horizontal lines show the simulation envelopes, which represent 95% simulation envelopes, obtained as the 5th lowest and highest values of the 199 simulations for each scale analyzed, with black vertical bars indicating the range of values falling within the simulation envelopes at scales of $r = 5$, 10, and 30. (b)–(d) Figures showing the distribution of pair-correlation values for the 199 replicates of the null model for scales of $r = 5$, 10, and 30, respectively. The pair-correlation values from the simulations were fit by a normal distribution, as shown by the black lines, with the black horizontal bars indicating the range of values lying within the simulation envelopes as in panel (a).

Tipos de dados em padrão de pontos

- Univariados: todos os pontos são do mesmo tipo.
 - Qual é o padrão espacial de uma população?
 - Agregado, aleatório ou regular.
- Bivariados: os pontos são de dois tipos diferentes (espécies, tamanhos, estádios, etc.).
 - Há relação espacial entre plântulas e adultos?
 - Associação, independência ou dissociação espacial.

Tipos de dados em padrão de pontos

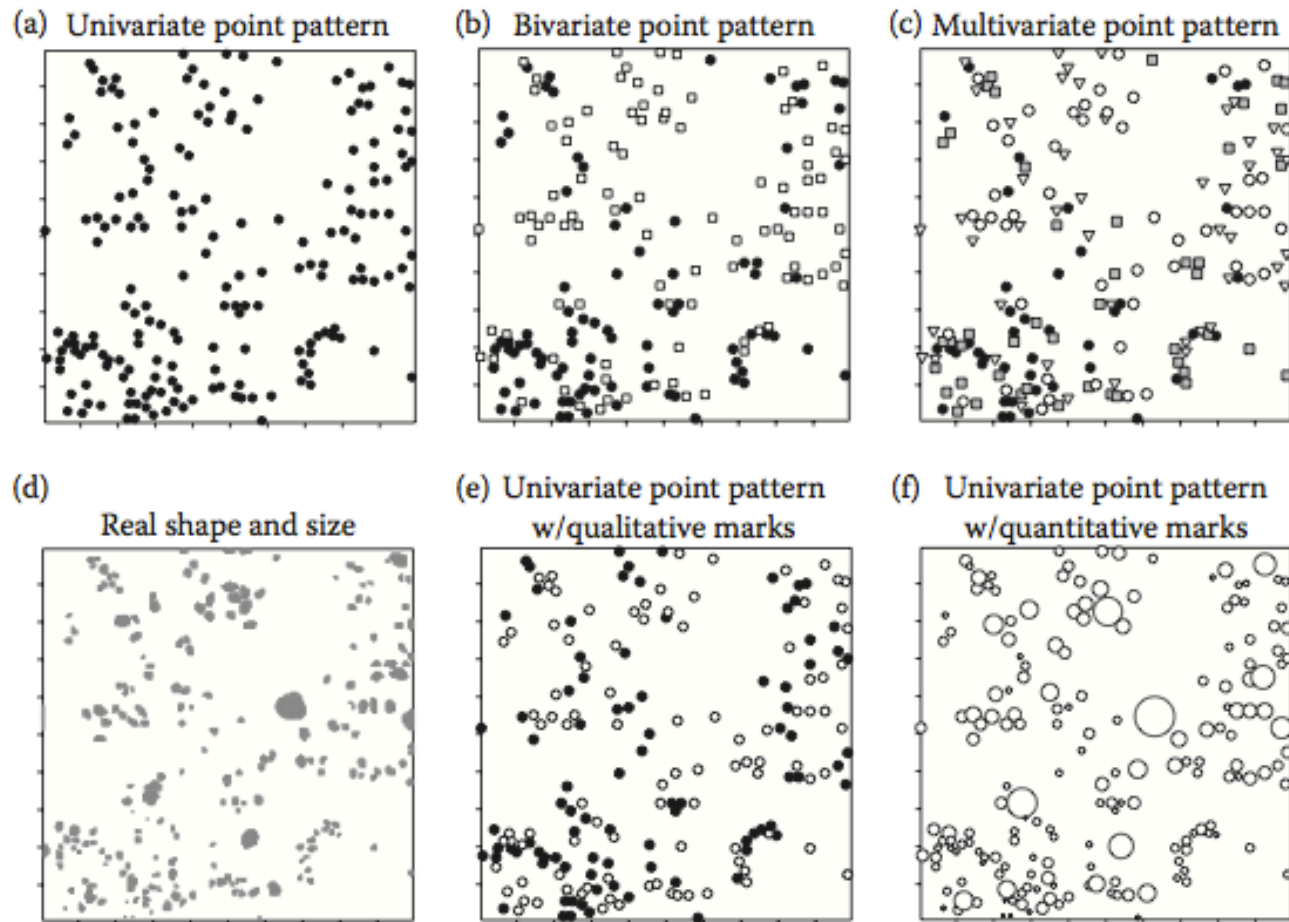


FIGURE 2.1

Categories of point patterns typically encountered in ecology.

Wiegand & Moloney 2014

Dados univariados com CSR

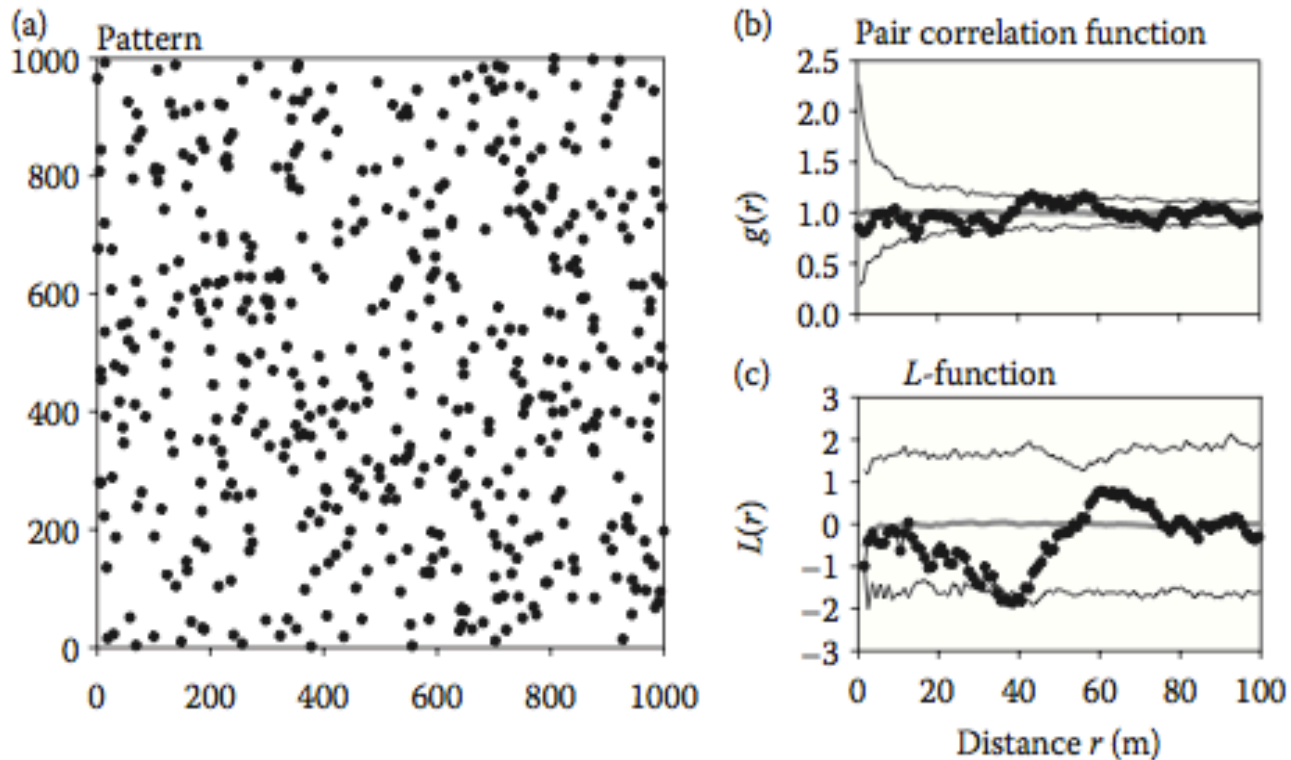
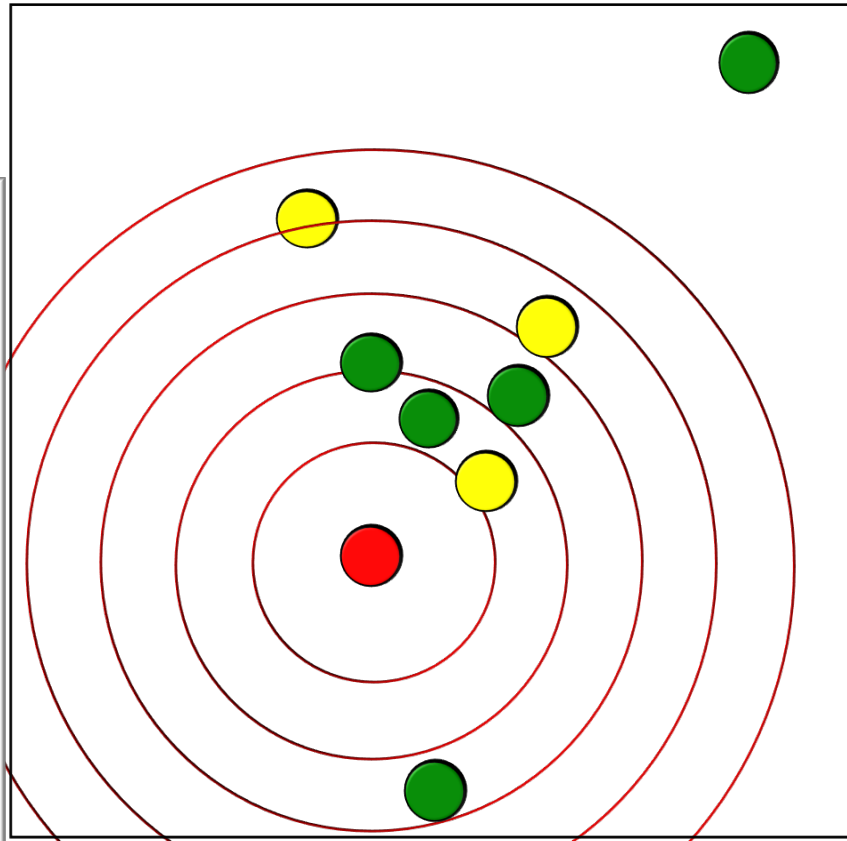
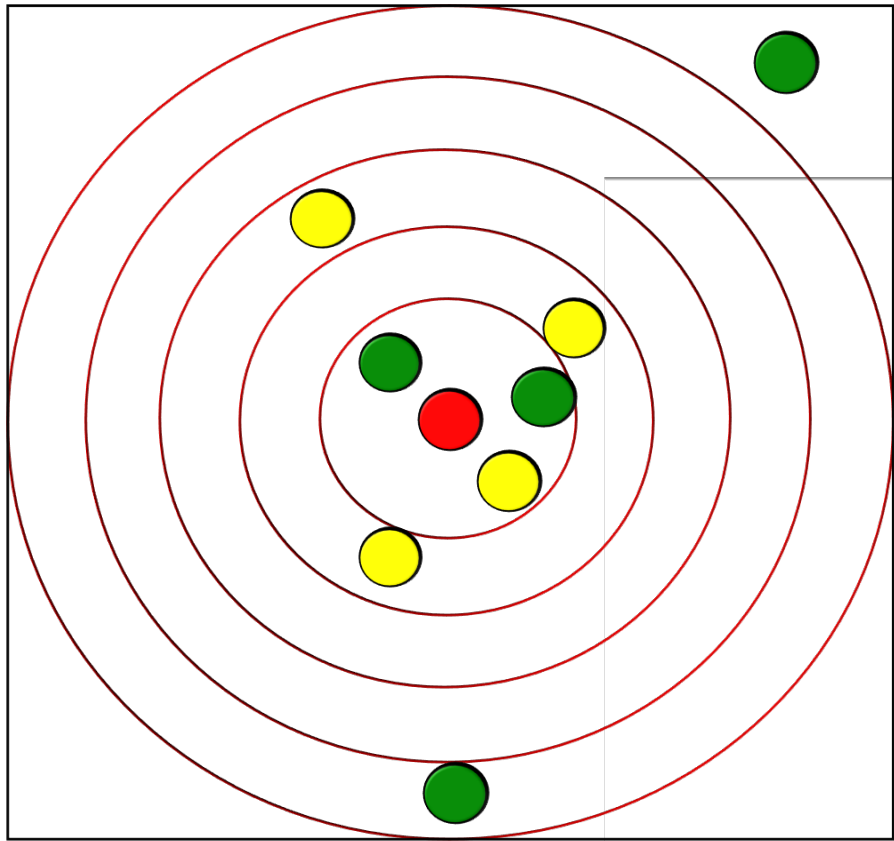


FIGURE 4.2

Examples of summary statistics for a random point pattern. (a) Map of a pattern created with a homogeneous Poisson process (Box 2.2) comprising 500 points within a 1000 × 1000 m sample domain. (b)–(g) Various summary statistics applied to the pattern in panel (a), with simulation envelopes produced by a CSR null model. (e) Sequence of 10 distribution functions $D^k(r)$ of the distances to the k th neighbor with $k = 1, 2, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 25,$ and 30 , with $D^1(r)$ being indicated by solid dots.

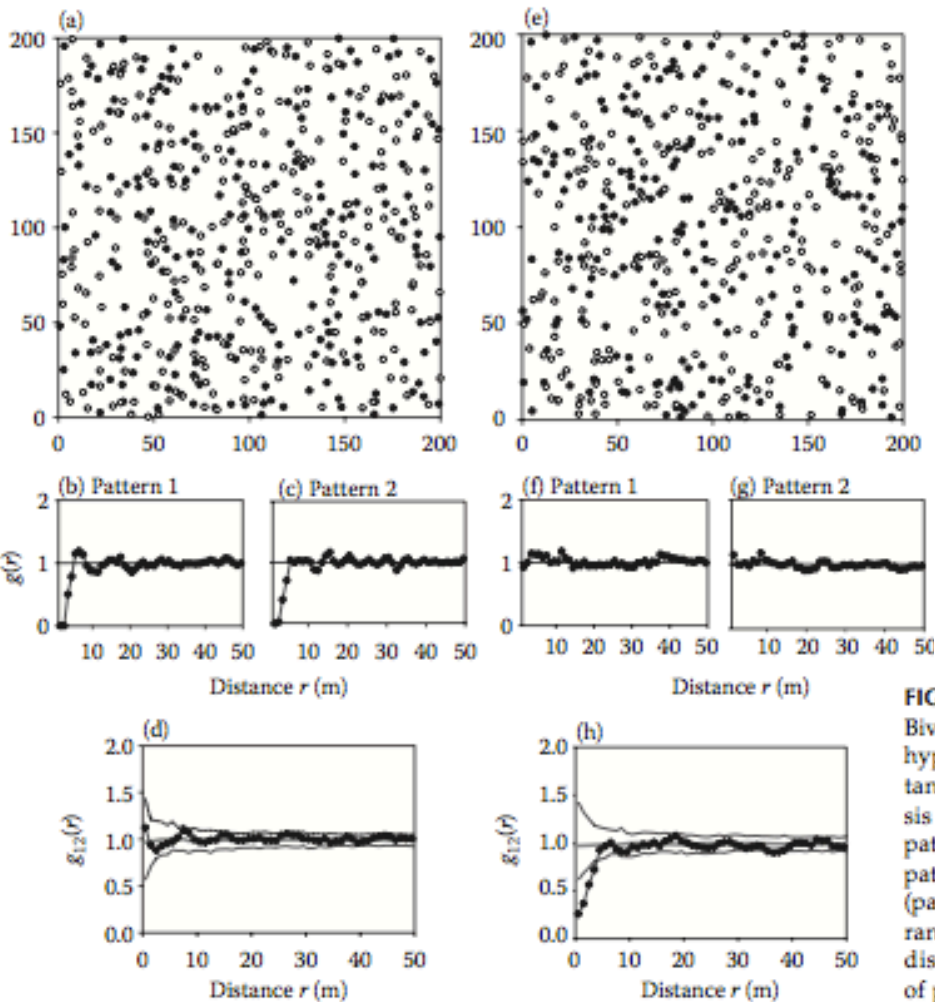
g_{12}



Dados bivariados

- A relação espacial entre os dois tipos de pontos independe da estrutura espacial univariada de cada componente.
- Cada componente pode ter uma estrutura espacial complexa, mas não necessariamente há relação entre os dois tipos de pontos.
- Os componentes podem seguir CSR e ainda assim terem relação espacial.

Dados bivariados



Wiegand & Moloney 2014

FIGURE 4.21

Bivariate patterns. (a) Map of an independent bivariate pattern composed of two independent, hyperdispersed, component patterns, created by a hard core process with a separation distance of 5 m for any point within the same component pattern. (b)–(c) Pair-correlation analysis for the patterns in panel (a). (d) Test of independence for the two univariate component patterns in panel (a), based on 199 simulations of using a toroidal shift. (e) Map of a bivariate pattern where one pattern (pattern 1) was produced by a CSR process and the second pattern (pattern 2) was also CSR, but with an additional constraint. Tentative points of pattern 2 were randomly placed, but only accepted with a probability that increased linearly from zero at distance $r = 0$ m to one at distance 5 m with respect to the distance to the nearest neighbors of pattern 1. (f)–(g) Pair-correlation analysis for the patterns in panel (e), indicating that the component patterns are univariate CSR. (h) Test of independence for the two patterns in panel (e), based on 199 simulations of using a toroidal shift.

Dados bivariados

- Modelos nulos utilizados com padrões de pontos bivariados devem preservar a estrutura univariada de cada padrão e quebrar a dependência entre eles (Dixon 2002).
- Mantém-se um padrão constante e randomiza-se o outro de forma a preservar as características da estrutura univariada do primeiro padrão.
 - Plantas parentais e sementes.

Modelo nulo de *toroidal shift*

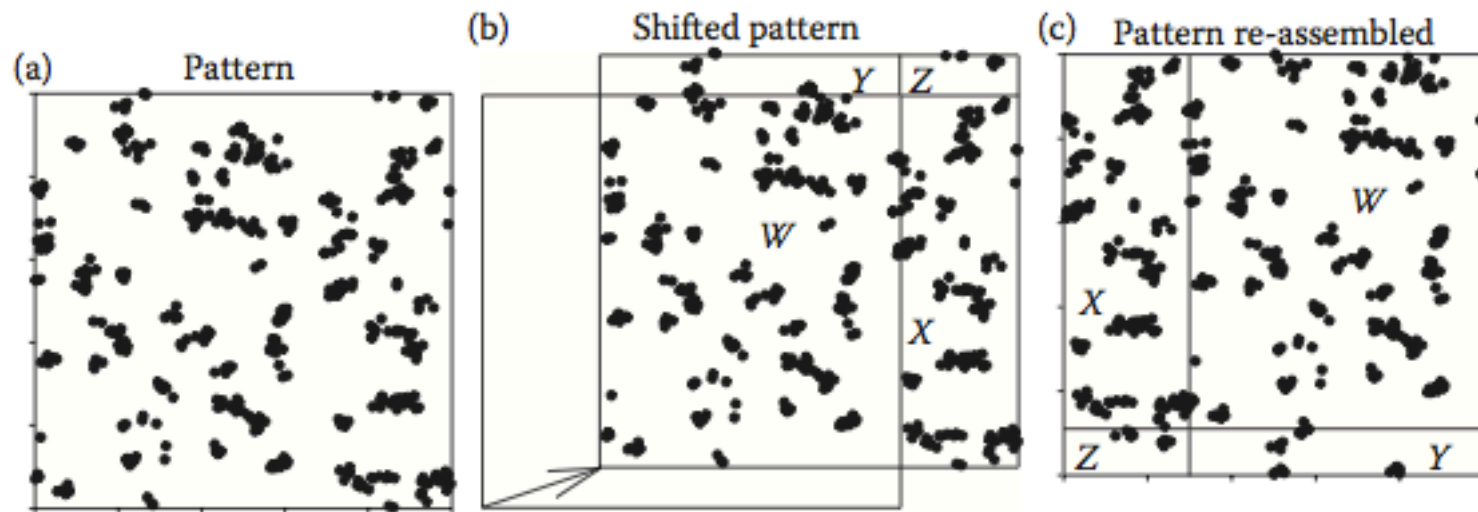


FIGURE 2.4

Toroidal shift used in the implementation of the independence null model for bivariate patterns. (a) Original pattern within a 1000×1000 observation window. (b) Pattern shifted by adding a value of 300 to all x -coordinates and a value of 100 to all y -coordinates. (c) Rearrangement of the shifted pattern, following toroidal geometry. The areas X , Y , and Z , which now lie outside the observation window, are reallocated following the rules of toroidal geometry. Points lying within zone X in the shifted pattern are relocated within the observation window by subtracting a value of 1000 from the x -coordinate. Points lying within zone Y are relocated by subtracting 1000 from the y -coordinate. Points in zone Z are relocated by subtracting a value of 1000 from both the x - and y -coordinates.