



PARTE V – GEOGRAFIA DA FLORA PAULISTA

1. Padrão Espacial das Populações Arbóreas

O padrão espacial de árvores é uma questão chave para estudos de ecologia, principalmente aqueles de dinâmica florestal. O nível de organização espacial das árvores no ambiente depende de diversos processos ecológicos e características próprias de cada ambiente, de modo que a melhor compreensão deste quadro fornece subsídios importantes para o conhecimento sobre formações florestais.

Conhecer o padrão espacial de espécies-chave é vital para entender como uma dada espécie usa os recursos disponíveis, de que forma este recurso é importante e a sua função no sucesso do estabelecimento e na reprodução desta espécie (Condit et al. 2000). Especialmente em florestas tropicais, a questão espacial adquire caráter ainda mais importante, uma vez que a alta diversidade de tais biomas tem estreita relação com suas densidades populacionais, e por conseqüência, com a proximidade entre seus indivíduos. Entre as teorias mais importantes em ecologia florestal estão duas, em especial, que tratam da biodiversidade tropical com ênfase na questão espacial: os conceitos formulados por Janzen (1970) e Connell (1978), na chamada hipótese de fuga, e por Hubbell (1979).

Tais conceitos incorporam uma série de processos ecológicos importantes, e por que não dizer essenciais para a dinâmica de florestas tropicais, como dispersão de sementes, processos dependentes da densidade (especialmente competição intraespecífica e interespecífica), herbivoria, recrutamento e dinâmica de clareiras (Sternner et al. 1986, Kenkel et al. 1988, Condit et al. 1992, Collins & Klahr 1991, Batista 1994, Barot et al. 1999, Grau 2000, Harms et al. 2001). Uma vez que o meio físico também desempenha papel importante, diversos aspectos abióticos (item 3.) também são freqüentemente discutidos como fatores importantes para explicar a biodiversidade de florestas tropicais e o arranjo espacial das árvores das comunidades, como a disponibilidade de habitats, de nutrientes, da dinâmica da água no solo, de relevo e incidência de ventos e de luz (Getis & Franklin 1986, Armesto et al. 1986, Harms et al. 2001, Day et al. 2003, Schwarz et al. 2003, Barot et al. 2003). A consideração desses fatores abióticos, como possíveis reguladores importantes da dinâmica florestal é também a característica diferenciadora desse projeto Parcelas Permanentes.

A descrição do padrão espacial da comunidade como um todo pode evidenciar indícios relevantes sobre o impacto do meio abiótico sobre a floresta, uma vez que áreas com grande heterogeneidade ambiental, em especial com fatores limitantes acentuados ou barreiras geográficas, afetam a comunidade como um todo. De modo complementar, o estudo do padrão espacial de espécies-chave, aliado a estudos sobre a autoecologia de tais espécies, pode refinar



muito o conhecimento sobre determinado bioma, especialmente sobre os processos ecológicos de maior influência.

A análise da variação da densidade da floresta (número de árvores por hectare) dentro das parcelas permanentes (figura 1) mostrou que as árvores não estão homoganeamente distribuídas, o que já era esperado. Nota-se que não só a densidade média é bastante diferente entre os biomas estudados, como também a amplitude de variação da densidade da floresta se mostra mais pronunciada no Cerradão e na Floresta Ombrófila e menos pronunciada na Floresta Estacional e na Restinga.

Padrões agregados foram predominantes tanto para as florestas de modo geral (padrão geral em cada formação florestal) quanto para suas espécies mais abundantes (figura 2). Dizer que o padrão agregado foi encontrado para a maioria dos casos não quer dizer que o padrão seja igual em todos. De fato, diferenças relevantes no padrão observado foram notadas para os diversos conjuntos analisados. A floresta ombrófila mostrou um padrão mais complexo de agregação, diferenciando-se dos demais biomas, o que sugere que vários processos ecológicos podem estar atuando de forma simultânea na definição da estrutura espacial dessa floresta.

Árvores tropicais tendem, de maneira geral, a padrões agregados (Hubbell 1979), especialmente em razão do grande número de sementes e plântulas nas áreas próximas da árvore parental, e do grau de heterogeneidade de florestas tropicais. Uma paisagem marcada por diferentes manchas de solo, diferenças de relevo, de diferentes disponibilidades de água no solo, de condições microclimáticas específicas, complexa estrutura vertical da floresta, dinâmica de clareiras e de diferentes disponibilidade de microhabitats é comum em florestas tropicais (Barot et al. 1999, Condit et al. 2000, Grau 2000, Harms et al. 2001), e tais características provêm condições para que as árvores estejam agrupadas em manchas. Tal fisionomia é conhecida como mosaico vegetacional. Os resultados obtidos nesta pesquisa são coerentes com tais argumentos citados na literatura.

Segundo Barot et al. (1999) e Condit et al. (2000), testar a veracidade das teorias de Janzen (1970), Connell (1978) e Hubbell (1979) consistem em estudar os padrões espaciais de jovens e adultos, e a relação de dependência espacial entre eles. Não é pretensão deste estudo aceitar ou questionar uma ou outra teoria; embora este não fosse o objetivo central desta pesquisa, seria inevitável não discutir os resultados observados seguindo este enfoque, utilizando tais linhas de raciocínio para desenvolver as discussões, uma vez que é questão central em ecologia florestal.

Analisando o padrão espacial por classes de tamanho, foi possível observar que as árvores das classes menores (onde provavelmente estão incluídas as árvores jovens) mostram acentuada agregação, e que árvores de classes maiores apresentam uma redução do grau de agregação com uma tendência à padrões aleatórios. A figura 3 apresenta o gráfico da função K por classe de diâmetro. Na maioria dos biomas a primeira classe (DAP < 30cm) apresentou um padrão na curva da função K com maior agregação que a curva para todas as árvores da comunidade. A floresta estacional parece ser uma exceção, pois a curva da função K das árvores menores foi



semelhante à curva relativa à comunidade. Por outro lado, o padrão espacial das maiores árvores (DAP > 100cm) apresentou um padrão na curva da função K em geral com menor agregação que as árvores da primeira classe de DAP.

Tal observação é coerente com a hipótese formulada por Hubbell (1979), e contrária à hipótese de fuga de Janzen (1970) e Connell (1978). Níveis de atração evidentes (dependência espacial) entre as árvores jovens e adultas reforçam tal posição. Hubbell (1979) afirma que a agregação de árvores jovens e sua afinidade com árvores adultas é resultado direto da limitada capacidade de dispersão, que faz com que a maioria das sementes e frutos produzidos fique no solo próximo à árvore de origem. Processos ecológicos dependentes da densidade, especialmente competição, diminuiriam a densidade dentro de tais conforme as árvores fossem crescendo, diluindo este padrão agregado em direção a padrões aleatórios.

O padrão espacial das espécies mais abundantes em cada formação florestal refletiu o padrão espacial observado para todas as árvores em cada parcela permanente. Tal resultado era esperado, uma vez que as quatro espécies no topo da tabela de abundância reúnem, via de regra, aproximadamente 30% das árvores em cada floresta.

A complexidade da floresta tropical, onde atuam simultaneamente diversos processos ecológicos, e em que se pese a importância de fatores abióticos na definição da comunidade vegetal, muitas vezes torna difícil identificar claramente quais fatores são mais influentes. Os resultados obtidos através das análises do padrão espacial das espécies individualmente permitem apontar evidências de quais fatores, em cada caso, podem ser mais importantes. A discussão dos resultados girou em torno de síndromes de dispersão, classificação sucessional, tolerância a luz e preferência por solos, conforme as características de cada espécie.

Vale ressaltar que algumas espécies em particular parecem desempenhar papéis essenciais na dinâmica das florestas das quais fazem parte. Destaque para o palmitreiro (*Euterpe edulis*), espécie mais abundante tanto na Floresta Ombrófila Densa Submontana do P.E. de Carlos Botelho, quanto na Floresta de Restinga do P.E. da Ilha do Cardoso, e que possui presença marcante tanto no sub-bosque, sob a forma de árvores regenerantes, quanto no dossel. Merecem menção ainda *Metrodorea nigra*, típica do sub-bosque da Floresta Estacional Semidecidual da E.E. de Caetetus e espécie-chave na estrutura daquela floresta, *Tapirira guianensis*, espécie comum ao Cerradão da E.E. de Assis e à Restinga da Ilha do Cardoso, se caracterizando com uma típica espécie de enorme plasticidade de habitat e *Syagrus romanzoffiana*, que assim como o palmitreiro, apresenta grande interação com a fauna.

Fica evidente também o potencial de uso da Função K de Ripley para estudos sobre o padrão espacial. Sua robustez e suas ferramentas permitem investigar uma série de questões de relevante interesse em ecologia florestal, especialmente na questão da detecção do padrão espacial em diferentes escalas, na análise de padrões espaciais observados comparando com modelos (como o modelo de Completa Aleatoriedade Espacial), e nas análises bivariadas, que



avaliam a independência espacial entre grupos de árvores (classes de diâmetro ou espécies individualmente, neste estudo).

Os resultados aqui apresentados devem fornecer suporte a diversos outros estudos, inclusive dentro do próprio Projeto "Parcelas Permanentes". O padrão espacial em cada formação, bem como das suas espécies dominantes, foi descrito, e uma série de questões foi levantada. Suas respostas dependem de estudos mais detalhados e específicos, como por exemplo sobre a relação entre as árvores com variáveis abióticas (especialmente solo e topografia), sobre a fisiologia das espécies, sobre fenologia e dispersão de sementes, sobre a autoecologia das espécies.

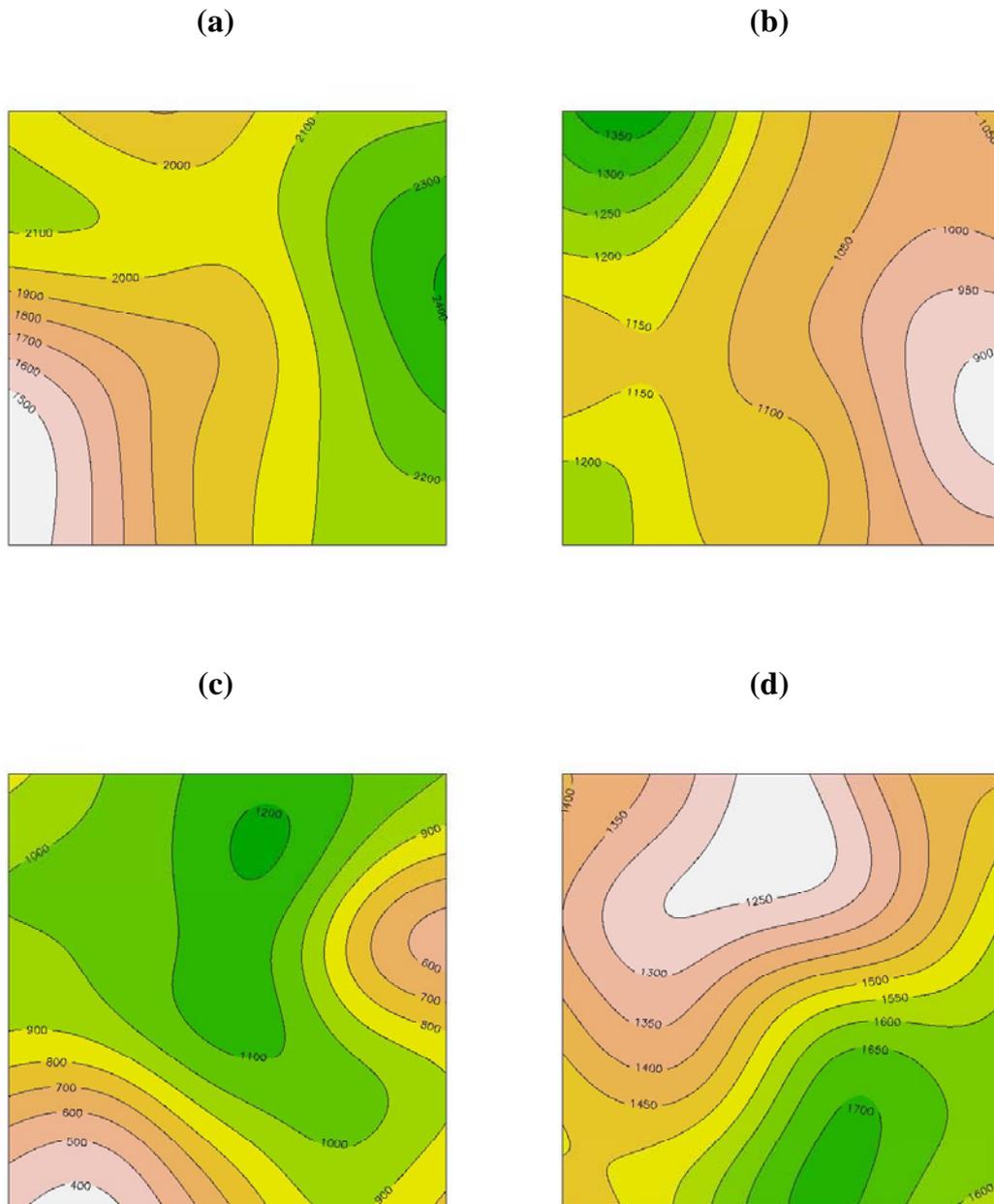


Figura 1. Gráficos resultantes da análise de kernel bidimensional para a densidade das árvores (indivíduos/ha) nas quatro formações estudadas: (a) Cerradão (Estação Ecológica de Assis), (b) Floresta Estacional Semidecidual (Estação Ecológica dos Caetetus), (c) Floresta Ombrófila (Parque Estadual Carlos Botelho) e (d) Restinga (Parque Estadual Ilha do Cardoso).

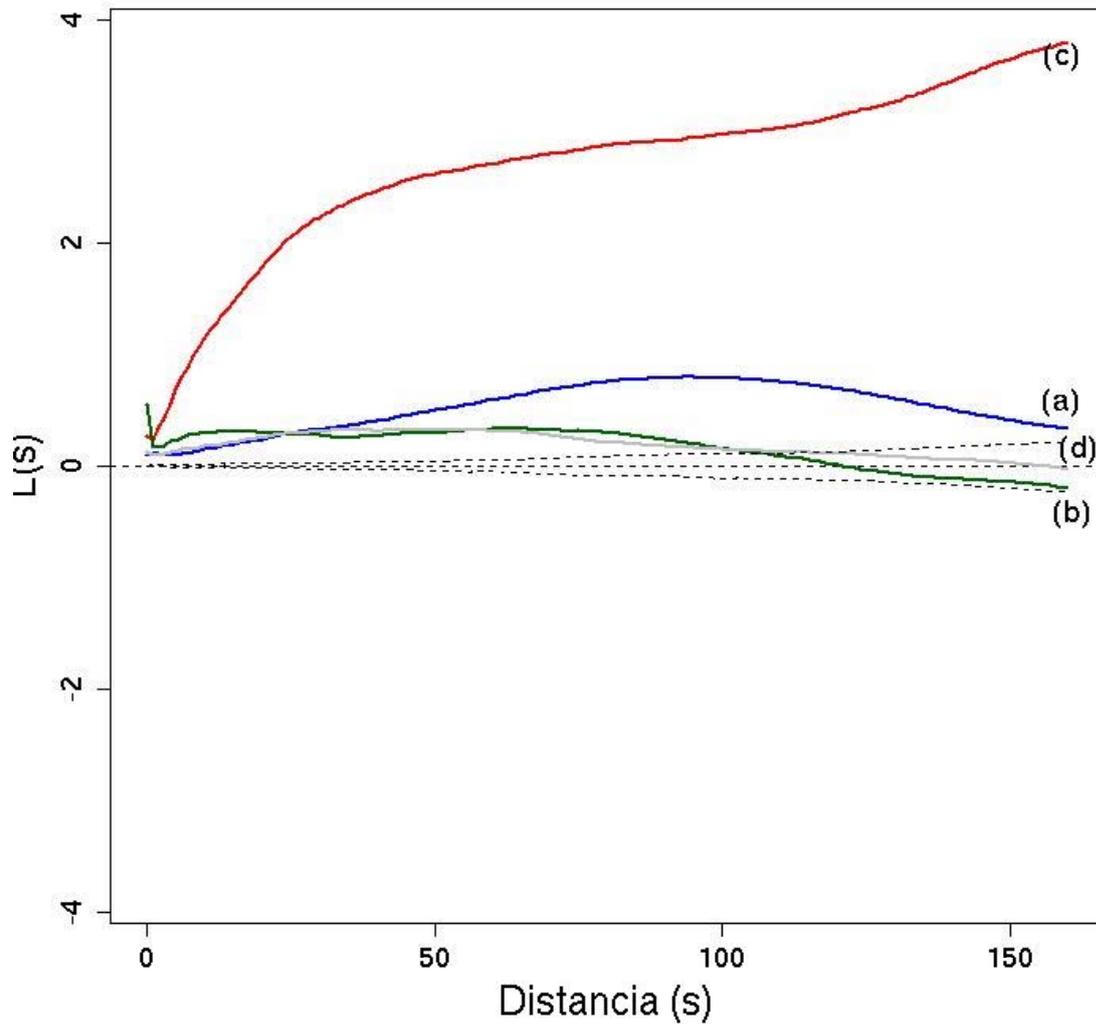


Figura 2. Gráficos da função K de Ripley para as quatro formações estudadas: (a) Cerradão (Estação Ecológica de Assis), (b) Floresta Estacional Semidecidual (Estação Ecológica dos Caetetus), (c) Floresta Ombrófila (Parque Estadual Carlos Botelho) e (d) Restinga (Parque Estadual Ilha do Cardoso). Distanciamento positivo do eixo X ($L(s)=0$) indica agregação, enquanto que distanciamento negativo do eixo X indica regularidade no padrão espacial observado. As linhas pontilhadas representam um envelope de confiança de 95% para hipótese de completa aleatoriedade espacial, isto é, padrão aleatório em qualquer escala (distância).

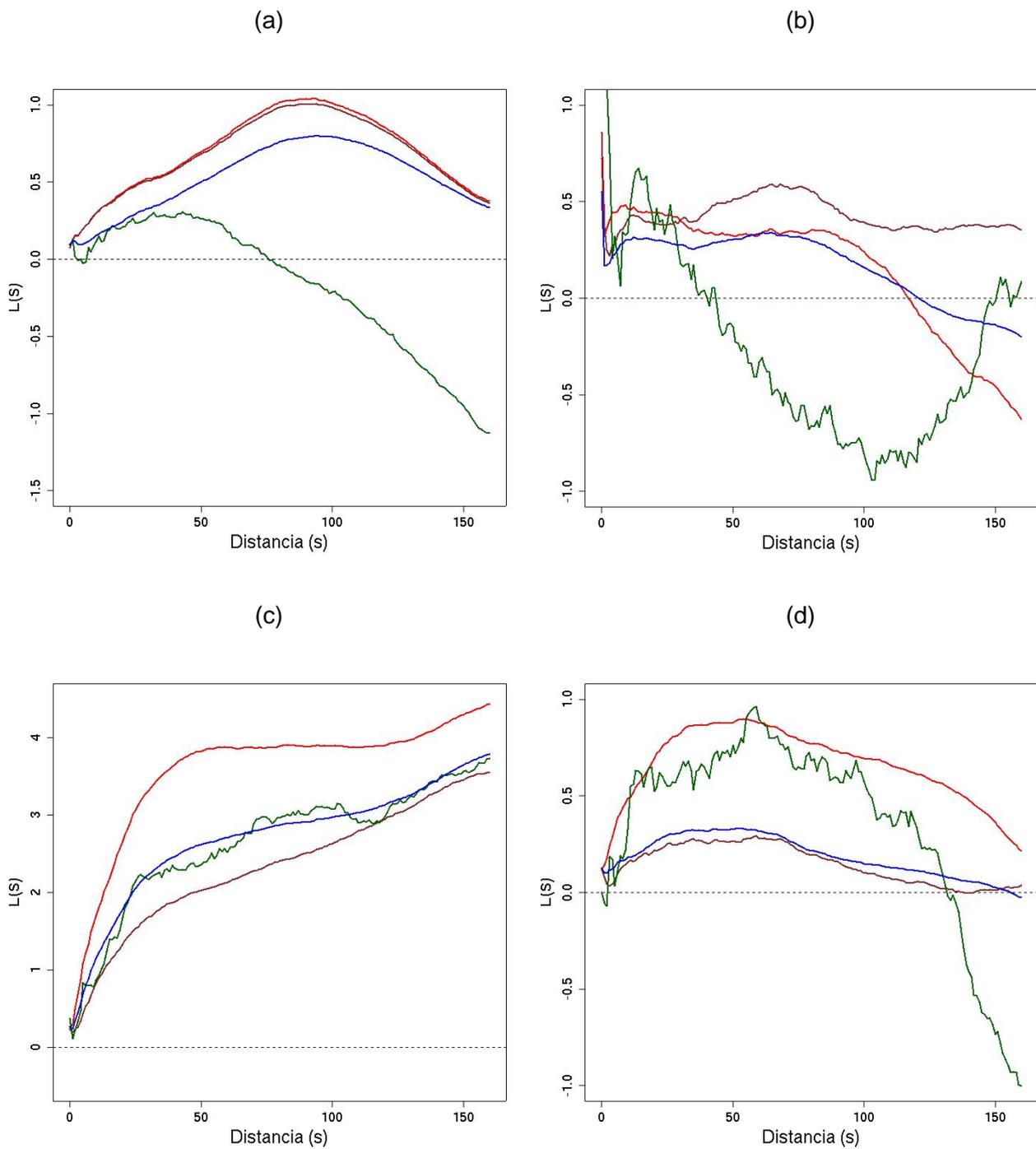


Figura 3. Gráficos da função K de Ripley por classes de DAP para as quatro formações estudadas: (a) Cerradão (Estação Ecológica de Assis), (b) Floresta Estacional Semidecidual (Estação Ecológica dos Caetetus), (c) Floresta Ombrófila (Parque Estadual Carlos Botelho) e (d) Restinga (Parque Estadual Ilha do Cardoso). Cada linha do gráfico representa uma classes de DAP: linha vermelha: DAP < 30cm, linha marron: 30 < DAP < 100cm (no Cerradão: 30 < DAP < 50cm); linha verde: DAP > 100cm (no Cerradão: DAP > 50cm); linha azul: todas as classes juntas.