



PADRÕES ESPACIAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE REGENERANTES E ÁRVORES DE *COPAIFERA LANGSDORFFII* DESF. EM UM FRAGMENTO FLORESTAL, ANALISADOS PELA FUNÇÃO K DE RIPLEY.

Lidiany Camila da Silva Carvalho¹

Hisaias de Souza Almeida¹; Malcon do Prado Costa¹; Murilo Malveira Brandão²; Pol yanne Aparecida Coelho¹; Evelyn da Fonseca Alecrim³; Matheus Henrique Mota Benício¹; Rubens Manoel dos Santos¹

1 - Universidade Federal de Lavras, Laboratório de Dendrologia e Ecologia de Florestas Tropicais, Departamento de Ciências Florestais. DCF Campus Universitário - Cx. Postal 3037 - CEP 37200 - 000, Lavras-MG, Brasil. e - mail: lidycamila@yahoo.com.br

2 - Universidade Federal de Lavras, Laboratório de Melhoramento Florestal e Recursos Genéticos, Departamento de Ciências Florestais. 3 - Universidade Federal de Lavras, Setor de Ecologia, Departamento de Biologia.

INTRODUÇÃO

Em uma população qualquer, os indivíduos podem apresentar três padrões básicos de distribuição espacial: O padrão aleatório ou nulo, em que a localização de um indivíduo se dá ao acaso, não interferindo na localização de outro da mesma espécie. Este padrão se opõe ao de distribuição agrupado ou agregado, onde a presença de um recurso (como tipo de solo, luminosidade) tem alta probabilidade de influenciar a localização dos indivíduos de uma mesma espécie. E o padrão de distribuição uniforme ou regular, menos freqüente na natureza, em que a população apresenta alto índice de dispersão e os indivíduos possuem distâncias semelhantes uns dos outros (Mueller - Dombois & Ellenberg 1974; Barbour *et al.*, 1987). Existem muitas metodologias para analisar um padrão de distribuição espacial, alguns baseados principalmente em dados de freqüência, média e variância, outros baseados na contagem e distancias entre dois eventos, chamado de métodos de segunda ordem, pois envolvem o relacionamento entre dois eventos que ocorrem em uma mesma região. Um exemplo de método de segunda ordem baseado em distância é a Função K de Ripley que permite a detecção do padrão espacial de uma população em diferentes escalas, exigindo o conhecimento das coordenadas X e Y de cada individuo.

Mesmo em espécies de grande plasticidade e de ampla distribuição, é possível com uma análise em pequenas escalas espaciais, detectar alguma variação em seu padrão de distribuição, revelando como essa população se estrutura horizontalmente no espaço. Diferentes fatores bióticos e abióticos como condições ambientais, disponibilidade de recursos, competição interespecífica e intraespecíficas, bem como distúrbios naturais ou antrópicos podem influenciar o padrão espacial e a dinâmica das populações vegetais (Lundberg & Ingvarsson, 1998; Tuosomito, 2002). Estes

fatores não somente modificam o padrão de distribuição e abundância, como também influenciam a taxa de crescimento, produção de sementes, área foliar, comprimento das raízes e tamanho dos indivíduos (Mueller - Dombois & Ellenberg 1974; Barbour *et al.*, 1987). Uma espécie vegetal, embora apresente uma grande ocorrência em uma determinada área, sua distribuição espacial, nas diferentes classes de tamanho, pode ser bastante irregular. Portanto, o estudo de populações em diferentes estádios ontogenéticos fornece informações pertinentes ao longo do ciclo de vida da espécie, como a tendência de plantas nos estádios mais jovens apresentarem padrões mais agregados que indivíduos adultos (Santos, 2002).

OBJETIVOS

Em geral, os estudos de distribuição espacial tendem a abordar somente um estádio de desenvolvimento das plantas, enquanto na verdade esse padrão pode variar em cada estádio de vida. Portanto, o presente estudo teve por objetivo aplicar a função K - Ripley para verificar e comparar o padrão de distribuição espacial dos indivíduos regenerantes e arbóreos de uma população de *Copaifera langsdorffii* em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Montana, localizada em Lavras, Minas Gerais, Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Espécie estudada:

A *Copaifera langsdorffii* Desf., fabaceae, é uma espécie com grande plasticidade ecológica, sendo encontrada em diversas regiões fitoecológicas tais como: Cerrado e Cerradão; Caatinga, em enclaves vegetacionais no Nordeste; Campos Gerais e Campos Rupestres ou de Altitude, onde sua

freqüência é rara a ocasional; Campinarana, em Rondônia; floresta Ombrófila Densa (Floresta Atlântica e Floresta Amazônica) podendo chegar até a Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária), no centro - sul do Paraná; Floresta Estacional Semidecidual (nas formações Aluvial e Montana); fora do Brasil, ocorre no Campo Alto Arbóreo, no Paraguai (Carvalho, 1992). Trata - se de uma espécie clímax exigente de luz, que cresce em solos de baixa fertilidade, muito utilizada para recuperação de áreas degradadas (Davide, 1994), ecologicamente chave por oferecer recursos em grandes quantidades na época de sua frutificação à avifauna, principalmente nas Matas Ciliares e nas Florestas Estacionais Semidecíduais, onde normalmente ocorre com altos valores de densidade.

Área de estudo:

O local de estudo é um fragmento florestal, que possui área de 5,83 ha, localizado no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras - MG, o qual é também conhecido como "Matinha da UFLA". O fragmento foi tombado como área de preservação permanente através da portaria número 212 de 01/06/92, que criou a Reserva Florestal da UFLA. Localizado nas coordenadas 21° 14' 40" S e 44° 57' 50" e com altitude média de 925m, a vegetação é classificada como Floresta Estacional Semidecidual Montana (Oliveira Filho & Fontes, 2001). O Tipo climático é Cwb na classificação de Köppen, com temperatura média de 19,4°C e precipitação anual média de 1530 mm. A média pluviométrica mensal na estação chuvosa (dezembro a fevereiro) é de 254 mm e na estação seca (maio a junho), é de 25 mm (DNMet, 1992). Os solos são do tipo Latossolo roxo distrófico (epialco), textura muito argilosa e relevo suave ondulado (Curi *et al.*, 1990).

Coleta dos dados:

A coleta dos dados se iniciou em Maio de 2009. A área foi amostrada por meio de uma parcela de 40x40m (0,16ha), subdividida em 4 parcelas de 20x20m alocadas no interior do fragmento florestal. Todos os indivíduos da espécie *Copaifera langsdorffii* foram amostrados, os indivíduos jovens ou adultos tiveram o diâmetro a altura do peito (DAP - diâmetro medido a 1,30m) mensurado com o auxílio de um paquímetro digital ou quando necessário, por meio de uma suta, e a altura de todos indivíduos também foi mensurada utilizando uma vara graduada. Já os indivíduos regenerantes, tiveram mensurado o diâmetro a altura do solo (DAS) com o auxílio de um paquímetro digital e a altura total medida com uma trena. Todos os indivíduos foram referenciados em um eixo cartesiano, tendo as coordenadas X e Y medidas em relação ao canto inferior direito do vértice da primeira subparcela.

Análise dos dados

Os indivíduos foram agrupados em duas classes, regenerantes quando menores que 1,3m e arbóreos quando maiores que esta medida. Para a análise dos dados de distribuição espacial foi utilizada a função K de Ripley $K(h)$, recomendada para o estudo de padrões espaciais (Ripley, 1981; 1987). É uma função de probabilidade de densidade que considera a variância de todas as distâncias entre todos os eventos e testa a hipótese da aleatoriedade de distribuição dos dados. De maneira simplificada, o método consiste em considerar n círculos de raio h (sendo h variável) em torno

de cada indivíduo, e os indivíduos dentro destes círculos são contados (Mouer, 1993; Haase, 1995).

A estimativa $K(h)$ é dada pela equação: $K(h) = R/N^2 \sum_{i=j} I_h(d_{ij})/w_{ij}$, onde (h) é o raio de avaliação do padrão de distribuição espacial, R é a área da parcela, N é o número de eventos observados dentro da parcela, $I_h(d_{ij})$ é uma função indicatriz cujo valor é 1 se $d_{ij} \leq h$ e 0 caso o contrário seja verdadeiro, e w_{ij} é a proporção da circunferência do círculo centrado no evento i que está dentro da região. Portanto, w_{ij} é o que se denomina correção devido ao efeito de borda da região (Câmara *et al.*, 1996). Para comparar a estimativa de $K(h)$ do conjunto de dados observados foi plotado a função $L(h)$ versus h, sendo $L(h)$ definido como: $L(h) = V(k(h)/r(h)) - h$, onde $L(h)$ é uma função transformada da função $K(h)$, em que $r(h)$ corresponde a área de um círculo de raio h.

Para analisar os resultados é construído um envelope de confiança utilizando 999 simulação de Monte Carlo de m processos aleatórios com n eventos, produzindo envelope de confiança de 99%. A interpretação dos resultados é feita por meio de um gráfico gerado pela plotagem de $L(h)$ no eixo y em função da distância h (corresponde ao raio) no eixo x se os valores da função $L(h)$ permanecer dentro do envelope, aceita a hipótese de completa aleatoriedade espacial (CAE) proposta por Ripley, se os valores localizarem acima do limite superior do envelope admiti - se a distribuição agregada e se abaixo do limite inferior do envelope, padrão regular. Portanto, o envelope criado pelas simulações assume o papel delimitador entre o padrão de distribuição aleatório, agregado e o regular (Bailey & Gatrell, 1995). Devido a robustez do método e ao processo de simulações necessário para a construção do envelope de confiança, utilizou o software SpPack versão 1.38 para processar as análises e o Excel para a plotagem dos gráficos.

RESULTADOS

Na área amostrada, foram encontrados 20 indivíduos arbóreos e 58 indivíduos regenerantes. O padrão de distribuição espacial encontrado para os indivíduos adultos foi aleatório para raios de até 6m, aceitando - se a hipótese testada pela função K de Ripley de completa aleatoriedade espacial, uma vez que, os pontos plotados de $L(h)$ em função dos raios (h) de 0 a 6m ficaram dentro do limite superior e inferior do envelope de confiança gerado pelas aleatorizações. A partir deste ponto os valores de $L(h)$ tornam - se crescentes, ultrapassando o limite superior do envelope de confiança, indicando que os indivíduos arbóreos passam então a ter um comportamento de distribuição agregado, isso é observado para os comprimentos de raio (h) que se encontram entre 6 a 18m. Já para os indivíduos regenerantes, encontrou - se um padrão oposto a esse, pois em um escala menor, até 6m, os regenerantes se comportam de maneira agregada no espaço, por outro lado, em um intervalo maior de 6 a 18m esses indivíduos passam a ter uma distribuição aleatória. Portanto, observa - se que há um antagonismo entre os padrões de distribuição dos indivíduos arbóreos e regenerantes, pois na escala em que os arbóreos se mostraram estruturados aleatoriamente houve uma agregação dos indivíduos jovens, e o contrário também é verdade, quando

os arbóreos se mostram agregados os regenerantes se distribuem aleatoriamente. Espera-se então que a ocorrência de regenerantes seja menos freqüente onde há agregação de indivíduos arbóreos.

O padrão espacial de plantas é uma importante característica de comunidades ecológicas, essa deveria ser a primeira observação realizada ao se analisar uma comunidade, sendo propriedade fundamental em qualquer grupo de organismos vivos (Ludwig & Reynolds, 1988). O principal objetivo da detecção de padrões espaciais é gerar hipóteses a respeito da sua estrutura ecológica (Nascimento *et al.*, 002). Com os resultados obtidos, pode-se sugerir que indivíduos arbóreos e regenerantes ocupam nichos diferenciados na floresta. Para explicar os padrões encontrados e o antagonismo existente entre eles pode-se aplicar duas das mais importantes teorias em ecologia de florestas tropicais, que tratam da biodiversidade tropical com ênfase na questão espacial: os conceitos formulados por Janzen (1970), Connell (1978) e por Hubbell (1979), na chamada hipótese de fuga. O modelo propõe que a mortalidade de sementes e plântulas é fortemente dependente de densidade, portanto, deve ser bem mais alta perto da planta - mãe, do que mais afastado dela. Além disso, Janzen (1970) afirmou que a predação também é maior próxima aos adultos da mesma espécie devido aos predadores que respondem à distância das sementes e plântulas, ou seja, procuram por sementes e plântulas apenas na vizinhança dos adultos, devido à maior concentração de recursos, ignorando aquelas que estão mais distantes. Outros fatores alternativos que podem levar à mortalidade dependente de densidade e que também fazem parte da hipótese da fuga é a interferência das plantas adultas na prole pela competição por nutrientes fundamentais no solo, seja por outras plântulas ou principalmente pelo adulto, e maior sombreamento das plântulas pela planta - mãe, e maior pressão de patógenos e herbívoros em locais com alta densidade de indivíduos (Clark & Clark, 1984).

A segunda pressuposição que corrobora com os resultados foi proposta por Augspurger (1983), que para explicar as vantagens da dispersão em relação à planta - mãe, utilizou juntamente com a hipótese da fuga, a Hipótese da Colonização. Esta segunda hipótese sugere que a dispersão aumenta a probabilidade de parte das progêneses serem depositadas em locais de perturbações no ambiente, como clareiras, que aumentariam a chance de estabelecimento e sobrevivência de determinados grupos espécies. E segundo o mesmo autor, a probabilidade de uma clareira ocorrer dentro da área de dispersão da planta - mãe aumenta com o aumento da distância de dispersão (Augspurger, 1983). Esta hipótese pressupõe que a heterogeneidade ambiental e temporal pode influenciar a definição de um padrão de distribuição espacial de uma população.

Aplicando as duas hipóteses aos resultados encontrados percebe-se uma limitação do nicho realizado dos regenerantes por parte dos indivíduos arbóreos, talvez por se tratar de uma espécie clímax exigente de luz, portanto a chance de uma progênie ter sucesso de estabelecimento é maior em locais mais distantes dos indivíduos arbóreos, permitindo assim que haja a agregação de regenerantes. Portanto, sementes que conseguirem se dispersar a uma maior distância da planta mãe poderá ter maior sucesso no esta-

belecimento por sofrerem menos o efeito da predação e por terem maior probabilidade de encontrarem um espaço a ser colonizado. Sendo assim, o evento da dispersão pode ser o primeiro fator determinante do padrão de distribuição espacial de uma espécie, seguido da heterogeneidade espacial, o ambiente pode conter ou não atributos favoráveis ao estabelecimento, agindo como uma força de seleção. Porém, é necessário quantificar algumas variáveis como a dinâmica de abertura do dossel e acompanhar o desenvolvimento de indivíduos regenerantes localizado a distâncias variáveis em relação aos indivíduos arbóreos para quantificar a influência da competição e predação sobre estruturação do padrão espacial horizontal da *C. langsdorffii*, permitindo assim fazer inferências mais consistentes quanto à interferência da presença dos indivíduos arbóreos sobre o desenvolvimento dos regenerantes.

CONCLUSÃO

No caso da *C. langsdorffii*, a hipótese apresentada que o arranjo espacial pode variar entre os estádios ontogenéticos, é verdadeira. Essas variações podem ser reflexos de diversos fatores abióticos e bióticos agindo de maneira combinada ou independente na determinação do padrão de distribuição espacial de uma população e da própria variação existente neste padrão quando se considera escalas espaciais distintas, já que o método utilizado para a análise dos dados de distribuição espacial permite perceber essas variações de padrões de distribuição em diferentes escalas espaciais, tanto para os indivíduos arbóreos como para os regenerantes como demonstrados nos resultados.

REFERÊNCIAS

- Augspurger, C. K.** 1983. Offspring recruitment around tropical trees: changes in cohort distance with time. *Oikos* 40(2): 189 - 196.
- Bailey, T.C. And Gatrell, A.C.** 1995. *Interactive Spatial Data Analysis*. Longman, Harlow, Essex, UK.
- Barbour, M. G., J. H. Burk, and W. D. Pitts.** 1987. *Terrestrial Plant Ecology*. Chapter 9: Method of sampling the plant community. Menlo Park, CA: Benjamin/Cummings Publishing Co.
- Camara, G.; Souza, R. C. M.; Freitas, U. M.** 1996. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers & Graphics*, v. 20, n. 3, p. 395 - 403.
- Carvalho, D. A.** 1992. Flora fanerogâmica de campos rupestres da Serra da Bocaina, Minas Gerais, caracterização e lista de espécies. *Ciência e Prática*, v. 16, p. 97 - 122.
- Clark, D. A & Clark, D. B.** 1984. Spacing dynamics of a tropical tree: evaluation of the Janzen - Connell model. *American Naturalist* 124: 769 - 788.
- CONNELL, J. H.** 1978. Diversity in tropical rain forest and coral reefs. *Science*, v. 199, p. 1302 - 1310.
- Curi, N.; Lima, J. M.; Andrade, H.; Gualberto, V.** 1990. Geomorfologia, física, química e mineralogia dos principais solos da região de Lavras (MG). *Ciência e Prática*, v. 14, n. 2, p. 297 - 307.

- Davide, A. C.** 1994. Seleção de espécies vegetais para recuperação de áreas degradadas. In: I Simpósio Sul - Americano e II Simpósio Nacional Recuperação de Áreas Degradadas, Foz do Iguaçu, 1994. Anais. Foz do Iguaçu: p.111 - 122.
- DNMET.** 1992. Normais Climatológicas (1961 - 1970), Departamento Nacional de Meteorologia. Brasília - Brasil. 84p.
- Haase, P.** 1995. Spatial pattern analysis in ecology based on Ripley's K function: introduction and methods of edge correction. *Journal of Vegetation Science*, v. 5, p. 575 - 582.
- Hubbell, S. P.** 1979. Tree dispersion, abundance and diversity in a tropical dry forest. *Science*, v. 203, p. 1299 - 1309.
- Janzen, D. H.** 1970. Herbivores and number of tree species in tropical forest. *American Naturalist* 104: 501 - 528.
- Ludwig, J. A.; Reynolds, J. F.** 1988. *Statistical ecology: a primer on methods and computing*. New York: John Wiley e Sons.
- Lundberg, S. & Ingvarsson, P.** 1998. Population dynamics of resource limited plants and their pollinators. *Theoretical Population Biology*, 54: 44 - 49.
- Mouer, M.** (1993). Characterizing spatial patterns of trees using stem - mapped data. *Science*, 39:756-775
- Mueller - Dombois, D.; Ellenberg, H.** 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. New York: John Wiley e Sons.
- Nascimento, N. A.; Carvalho, J. O. P.; Leão, N. V. M.** 2002. Distribuição espacial de espécies arbóreas relacionada ao manejo de florestas naturais. *Revista Ciência Agrária*, Curitiba, n.37, p.175 - 194.
- Oliveira Filho, A. T. & Fontes, M. A. L.** 2001. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the influence of climate. *Biotropica* 32:793 - 810.
- Ripley, B. D.** 1976. "The second - order analysis of stationary point patterns", In *Journal of Applied Probability* 13, 255 - 266.
- Ripley, B. D.** 1979. Tests of randomness for spatial point patterns. *Journal of the Royal Statistic Society*, v. 41, p. 368 - 374.
- Santos, F. A. M.** 2002. Ecologia de populações de plantas - região Sudeste do Brasil. Pp. 143 - 146. In: E. L. Araújo, A. N. Moura, E. V. S. B. Sampaio, L. M. S. Gestinari, J. M. T. Carneiro (orgs.). *Biodiversidade, conservação e uso sustentável da flora do Brasil*. Editora da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- Tuomisto H., Ruokolainen K., Poulsen A.D., Moran R., Quintana C., Canˆ As G.; Celi J.** 2002. Distribution and Diversity of pteridophytes and MELASTOMAT-ACEAE along edaphic gradients in Yasuni' National Park, Ecuadorian Amazonia. *Biotropica* 34(4): 516-533.