

PADRÕES DE AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL EM PLANTAS AO LONGO DE IGARAPÉS DA AMAZÔNIA CENTRAL

Gabriela Zuquim

1. INTRODUÇÃO

Os fatores que influenciam a distribuição de uma espécie vegetal variam desde escalas biogeográficas até microambientais. De maneira geral, quanto maior a espécie da planta estudada, maior a escala necessária para que possíveis padrões de distribuição sejam detectados. No contexto do determinismo ambiental (*sensu* Tuomisto *et al.*, 2003), todas as espécies apresentam padrões de distribuição agregados em escalas maiores, devido à heterogeneidade espacial de condições ambientais favoráveis (Lieberman & Lieberman, 1994). O agrupamento de indivíduos co-específicos em escalas menores pode estar relacionado com reprodução vegetativa, limitações na dispersão e heterogeneidade ambiental (Phillips & MacMahon, 1981). Manchas de habitats propiciam o estabelecimento das espécies de acordo com os nichos ecológicos que elas ocupam (Hutchinson, 1954 *apud* Begon *et al.*, 1986). Os limites dentre os quais uma espécie pode crescer e se reproduzir definem a amplitude do nicho que esta ocupa e varia de acordo com as necessidades de recursos inerentes à espécie (Begon *et al.*, 1986).

Autocorrelação espacial é a ausência de aleatoriedade de uma variável devido à sua distribuição espacial (Rosenberg, 2001). Uma variável apresenta autocorrelação espacial quando é possível prever o valor que ela assume a partir do valor estimado em parcelas próximas espacialmente. A existência de um padrão de autocorrelação de um dado recurso do ambiente condiciona a existência de padrões nas densidades das espécies que o utilizam. Por outro lado, uma distribuição aleatória, mas espacialmente correlacionada é prevista pela teoria neutra de Hubbell & Foster e enfatiza a importância do acaso, da chance e do histórico de dispersão na distribuição das espécies (Hubbell & Foster, 1986). O padrão de substituição espacial das espécies de uma floresta tropical parece ser detectável apenas em escalas intermediárias, em parcelas distantes entre 0,2 e 50 km (Condit, 2002).

Espécies de pteridófitas possuem algum nível de especialização edáfica e, devido aos seus esporos serem facilmente dispersos pelo vento e por longas distâncias, é possível que os padrões de distribuição das espécies deste grupo seja comumente refletido pela disponibilidade de habitats propícios (Tuomisto & Poulsen, 1996). Diversas espécies de palmeiras (Arecaceae) também estão restritas a determinados tipos de solo (Kahn, 1987). Estes dois grupos co-ocorrem nas planícies aluviais adjacentes aos igarapés (baixios) que são caracterizados por solos arenosos, encharcados e com incidência luminosa relativamente alta (Ribeiro *et al.*, 1999). Porém, cada baixio da Amazônia possui características particulares, ocorrendo grande

heterogeneidade de fatores edáficos e incidência de luz que, em geral, estão associados à largura do igarapé.

A escala de qualquer estudo em ecologia vegetal deve ser planejada de acordo com escala em que alguns fenômenos biológicos como dispersão e especialização edáfica estão influenciando as populações ou comunidades. Esses efeitos podem ser descritos e quantitativamente investigados pelas análises de autocorrelação que podem indicar: a) padrões de agregação; b) tamanho de agregado e c) ciclicidade de padrões ambientais. Além disso, a existência de autocorrelação espacial em dados coletados em uma pesquisa viola as premissas de independência da variável entre as unidades amostrais de grande parte dos testes estatísticos. Negligenciar padrões espaciais pode invalidar um estudo.

O objetivo geral do presente trabalho é verificar como espécies de diferentes tamanhos se distribuem espacialmente em diferentes escalas de investigação, buscando responder às seguintes perguntas: 1) Existe autocorrelação espacial para uma pteridófito e uma Arecaceae ao longo dos igarapés em parcelas contíguas de 2 X 2? E de 4 X 4? 2) Existe um padrão de autocorrelação? 3) Qual a relação entre o tamanho da parcela e a ausência ou existência de padrões de distribuição espacial? 4) A distribuição espacial das espécies varia entre igarapés?

2. MATERIAIS & MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado durante o mês de julho de 2004 em um área de floresta primária de terra firme na Reserva do Km 41 (02° 26'S; 59°46'W) pertencente ao Projeto Dinâmica Biológica de Fragmentos Florestais (INPA/Smithsonian Institution), localizada a 80 km ao norte de Manaus, Amazonas. A média anual de temperatura é 27°C, a época de seca ocorre entre julho e setembro, quando as médias de pluviosidade mensal não ultrapassam de 100 mm (Lovejoy & Bierregaard 1990). A área é coberta por uma intensa rede de drenagem, contendo igarapés de 1º, 2º e 3º ordem e ambientes de baixio são comuns.

2.2. ESPÉCIES ESTUDADAS

Selaginella parkeri é uma pteridófito da família Selaginellaceae, um grupo extremamente antigo, representado desde a Pangea. A espécie é de crescimento ereto e possui frondes diminutas, como é característico da família. *Selaginella parkeri* é uma herbácea freqüente no sub-bosque de toda a Amazônia em solos argilosos intermediários (Tuomisto & Poulsen, 1996) e baixios (Ribeiro *et al.*, 1999) e atinge até 0,5 m de altura. O ciclo reprodutivo das pteridófitas apresenta dependência da água e alternância de gerações, sendo a fase de esporófito maior e mais duradoura. A

produção de esporos é intensa e a dispersão é feita pelo vento (Tryon, 1990).

Oenocarpus bataua é uma palmeira de dossel e crescimento simpodial que ocorre em floresta densas da Amazônia e Panamá, principalmente em baixios (Ribeiro *et al.*, 1999). O patauá (como é tradicionalmente conhecido no Brasil) produz fruto o ano todo, sendo largamente utilizado por índios e pela população rural e urbana da região Norte para extração de óleo e produção de suco (“vinho”). Juntamente com outras espécies de palmeiras, *O. bataua* é uma importante fonte de alimento vertebrados frugívoros, principalmente durante a estação seca, quando frutos carnosos de outras famílias tornam-se raros (Peres, 1994). Aves, papagaios, ratos, cutias e macacos são os principais animais envolvidos na dispersão (Ribeiro *et al.*, 1999).

2.3. COLETA DE DADOS

Foram estabelecidos quatro transectos de 100 x 4m ao longo de quatro igarapés. Os transectos tinham início em pontos de intercepção das coordenadas L-3, M-8, Q-13 e S-20 da rede de trilhas da Reserva do Km 41. Os transectos foram subdivididos em parcelas de 2 x 2 metros nos quais foi determinado o número de indivíduos de *Selaginella parkeri* e *Oenocarpus bataua*. O início do transecto foi determinado arbitrariamente a partir de um metro do encontro do igarapé com a trilha de acesso, para evitar o efeito da própria trilha. Cada transecto era composto por duas fileiras de parcelas de 2x2 m. A primeira fileira acompanhava o limite da margem do igarapé e a segunda fileira foi disposta imediatamente ao lado da primeira (desse ponto em diante referidas como margem e longe, respectivamente). As parcelas de 4x4 m eram compostas por quatro parcelas de 2x2 m. Os transectos distavam ao menos 500 m e pertenciam a três diferentes nascentes. Apenas os transectos localizados nas coordenadas L3 e M8 pertenciam ao mesmo igarapé, porém em locais de 1ª e 2ª ordem, respectivamente. A área total amostrada foi de 1.600 m².

2.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Foram gerados correlogramas para cada espécie em cada unidade amostral, utilizando o coeficiente de correlação de Pearson, que possui a limitação de assumir que as correlações são lineares. O programa utilizado foi o Systat 10.0 (Wilkinson, 2000). Uma autocorrelação positiva significa que o aumento da densidade em uma parcela leva ao aumento em outra parcela espacialmente próxima. Quando é negativa, significa

que o aumento na densidades em uma parcela leva ao decréscimo em outra. Para testar a existência de padrões de autocorrelação realizou-se o teste Q de Box Ljung em Statistica 6.1 (Statsoft, 2003). Este teste assume como modelo nulo que os coeficientes de autocorrelação obtidos para cada intervalo de distância entre as parcelas possuem uma distribuição que alterna valores positivos e negativos aleatoriamente e que a média dos coeficientes de autocorrelação é zero. Valores de significância do teste menores que 0,05 não foram considerados significativos e indicam que a partir de dada distância entre parcelas, não existe padrão de autocorrelação.

Para facilitar a percepção de uma distribuição ao acaso de dados quaisquer, foi gerada uma simulação de distribuição espacial utilizando uma lista de dados aleatórios simulando valores para 50 parcelas de 2x2 m. Este conjunto de dados representa um exemplo no qual não existem padrões espaciais e, conseqüentemente, a autocorrelação espacial esperada é nula. O mesmo procedimento de análise empregado nos dados reais foi utilizado nesse sistema, gerando a figura 1.

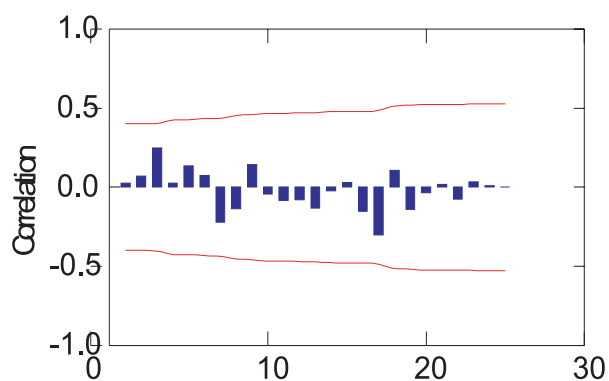


Figura 1: Análise de autocorrelação espacial para uma simulação da distribuição ao acaso de uma dada espécie no espaço

3. RESULTADOS

Nos 1.600 m² que compreendem a soma de todas as parcelas, foi amostrado um total de 2380 indivíduos de *Selaginella parkeri* e 194 de *Oenocarpus bataua*. Entre igarapés, o número de indivíduos de *S. parkeri* variou em até uma ordem de grandeza (Tabela 1), mas a densidade estimada de *O. bataua* foi mais constante (Tabela 2).

Tabela 1: Total de indivíduos por igarapé. Para abundância são apresentadas média±dp para as parcelas perto e longe da margem; densidades médias por parcela em *Selaginella parkeri* nos igarapés da Reserva do Km 41.

Igarapé	Total de indivíduos	Abundância perto	Abundância longe	Densidade média (ind/ m ²)
L3	492	5,32±7,27	4,52±7,59	1,23
Q13	695	6,52±7,09	7,28±9,78	1,74
M8	121	15,16±11,06	14,74±13,67	0,30
S20	1072	11,88±13,56	9,56±12,71	2,68

Tabela 2. Total de indivíduos por igarapé. Para abundância são apresentadas média±dp para as parcelas perto e longe da margem; densidades médias por parcela em *Selaginella parkeri* nos igarapés da Reserva do Km 41.

Igarapé	Total de indivíduos	Abundância perto	Abundância longe	Densidade média (ind/ m ²)
L3	53	0,48±0,68	0,58±0,73	0,13
Q13	51	0,46±0,70	0,56±0,70	0,13
M8	64	0,52±0,84	0,76±0,77	0,16
S20	26	0,26±0,53	0,26±0,49	0,06

De maneira geral, as parcelas de 2x2 m apresentaram autocorrelação significativa por, no máximo, oito metros. Em *S. parkeri*, houve padrão de autocorrelação em todos os igarapés, porém, em parcelas de 4x4 m esses padrões desaparecem ou ocorrem por poucos metros (Figura 1). Quanto à *O. bataua*, apenas no igarapé da trilha S20 houve padrão na distribuição da espécie (Figura 2). Este igarapé foi o que apresentou maior abundância desta espécie (Tabela 2), apesar de que há um longo trecho (aproximadamente 40 m) de baixa densidade da espécie, evidente no correlograma das parcelas de 4x4 m pelas consecutivas autocorrelações negativas.

A ocorrência de autocorrelação em *Selaginella parkeri* em parcelas próximas aponta que essa espécie possui distribuição em manchas de até 6 m, como ocorreu no igarapé M8 em parcelas pequenas longe da margem. Os padrões obtidos em parcelas de 2x2 m nos igarapés Q13, M8 e S20 são menos evidentes nas parcelas de 4x4 m, provavelmente porque ao longo do transecto, alternam-se pequenos aglomerados distantes no máximo 2 metros. Ao amostrar a população em parcelas grandes, esse padrão é ocultado devido ao agrupamento de pequenas manchas. O padrão de autocorrelação nas parcelas pequenas próximas às margens do igarapé M8 evidenciam que as manchas são menores do

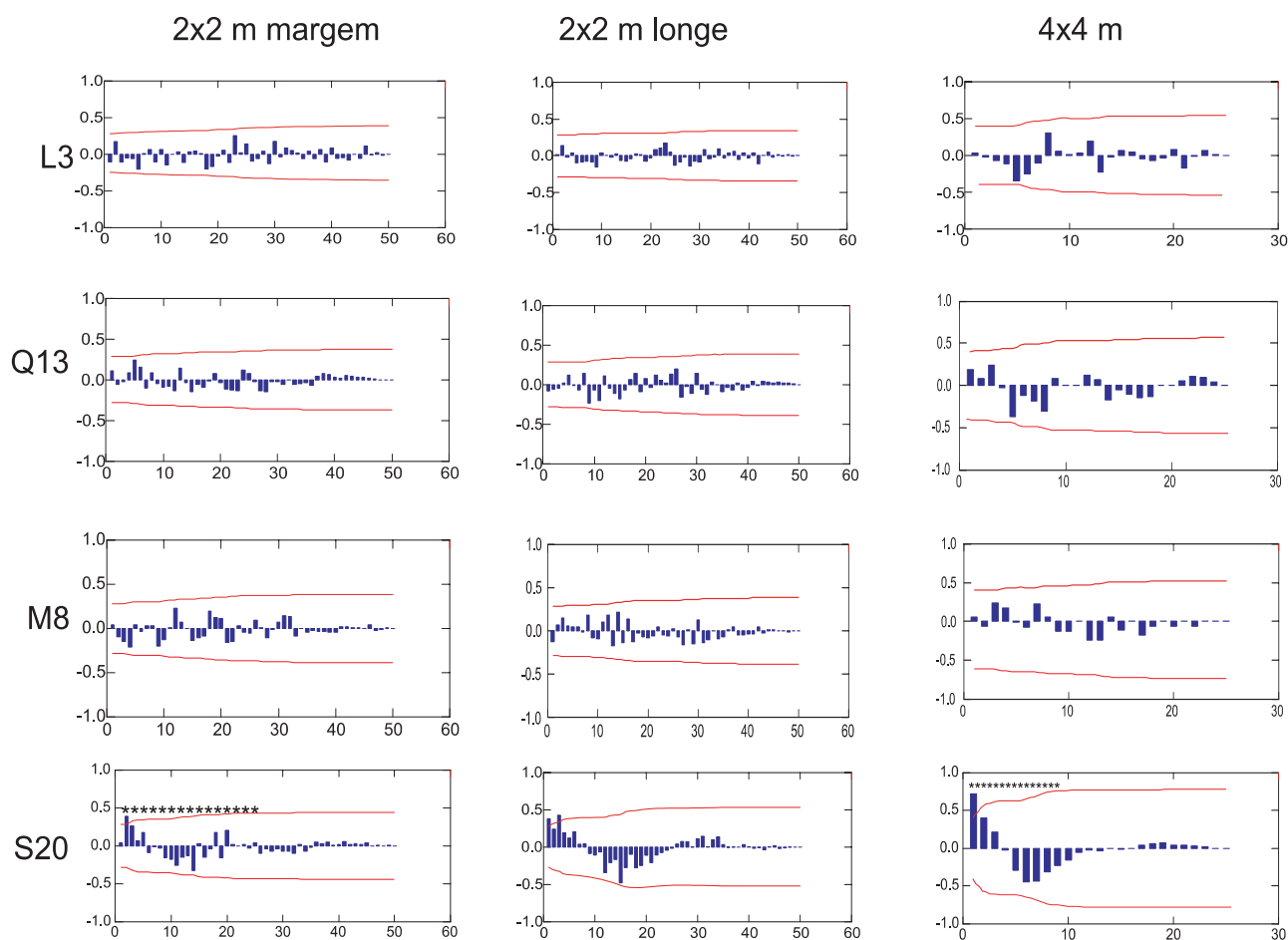


Figura 1. Correlogramas espaciais das densidades de indivíduos d e *S. parkeri* próximos e longe da margem nos quatro igarapés amostrados e em parcelas de diferentes tamanhos na Reserva do Km 41. Os asteriscos referem-se à existência de padrões significativos de autocorrelação, obtidos pelo teste Q.

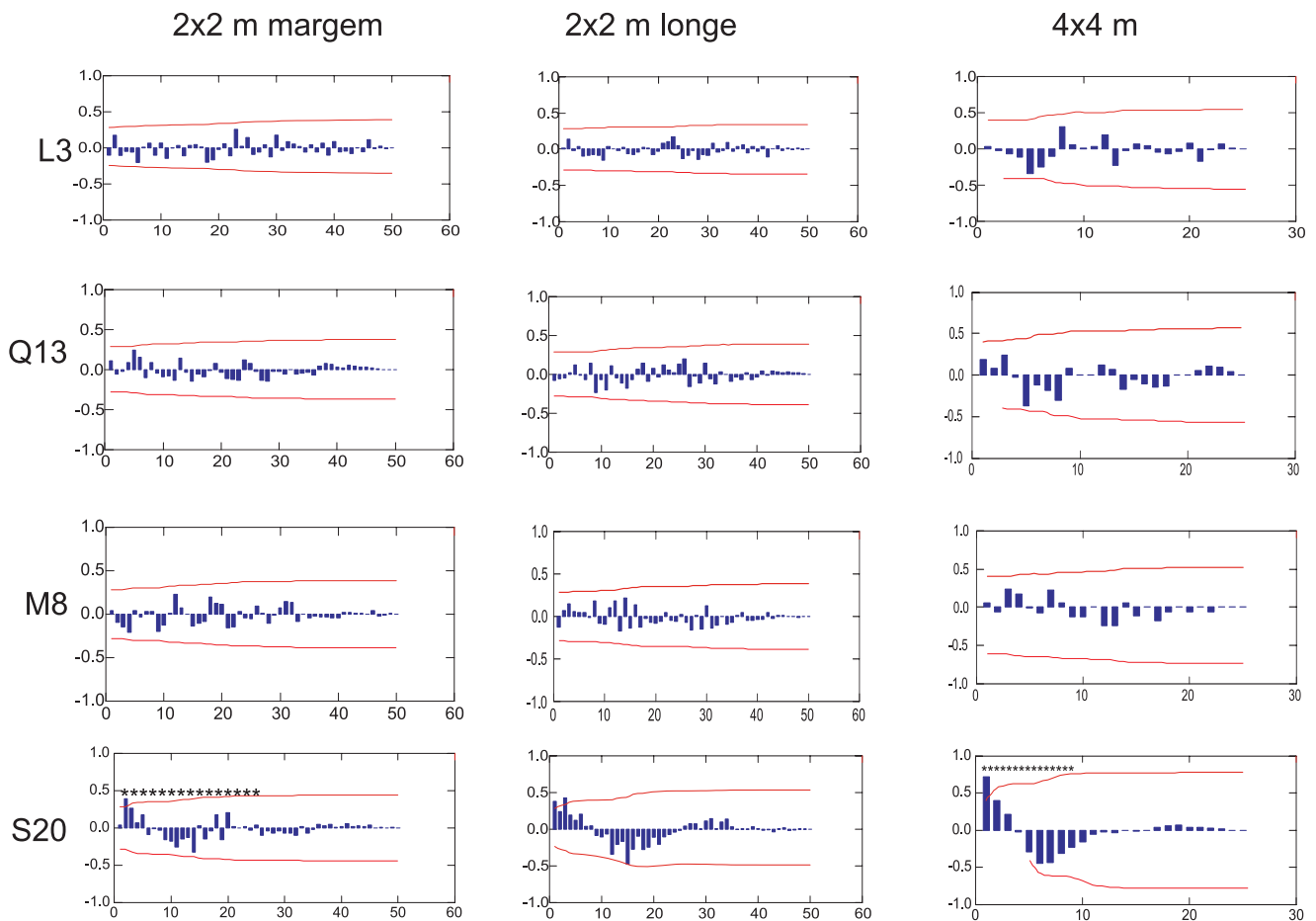


Figura 2. Correlogramas espaciais das densidades de indivíduos de *O. pataua* próximos e longe da margem nos quatro igarapés amostrados e em parcelas de diferentes tamanhos na reserva do Km 41. Os asteriscos referem-se à existência de padrões significativos de autocorrelação, obtidos pelo teste Q.

que nas parcelas mais distantes da margem. Neste baixio haviam poças de água próximas às margens que limitavam o crescimento das manchas e, por outro lado, o solo menos encharcado distante das margens propiciou a formação de manchas maiores.

4. DISCUSSÃO

Neste estudo, *Selaginella parkeri* apresentou distribuição em manchas menores que quatro metros e os mecanismos que determinam a formação de aglomerados desta pteridófita devem, portanto, ocorrer em uma escala pequena. A reprodução vegetativa nesta espécie é muito freqüente e os rizomas reptantes emitem frondes em intervalos de até 20 cm. Os aglomerados observados devem ser consequência desta estratégia reprodutiva e das variações no grau de encharcamento dos solos, que podem determinar os limites destas manchas. É freqüente a formação destes aglomerados em pequenas ilhas formadas por troncos caídos ou raízes de palmeiras em meio ao solo encharcado, criando um microhabitat mais favorável ao estabelecimento de *S. parkeri*.

Como era esperado, a distribuição de *Oenocarpus bataua*, não apresentou autocorrelação em três dos quatro igarapés amostrados, pois a escala de amostragem utilizada é pequena

para detectarmos agregações de uma palmeira de dossel que chega a atingir 30 metros de altura. A densidade média mesmo em parcelas maiores variou apenas entre um e dois indivíduos. Surpreendentemente, no igarapé S20, houve um padrão de distribuição evidente, formando aglomerados por até seis metros. É possível que a maior densidade tenha determinado a existência de um padrão, mesmo na escala considerada pequena. Em densidades maiores, as interações ecológicas são mais fortes e pode existir um tamanho de agregado acima do qual a densidade desta palmeira inibe o estabelecimento de co-específicos. Porém não há evidências de competição intraespecífica nos padrões encontrados. Ao contrário, os resultados indicam que a probabilidade de um indivíduo ocorrer aumenta com a presença de outro em uma distância menor que quatro metros. Dois mecanismos podem estar atuando na existência deste padrão. O primeiro é que o conjunto de condições favoráveis ao estabelecimento da espécie, distribuído heterogeneamente ao longo do igarapé, propicia o estabelecimento dos indivíduos que atinjam o local, enquanto os ambientes desfavoráveis causam trechos de baixa densidade. Outra possibilidade é a de que o tipo de dispersão das sementes causem tais agregados, seja pelo hábito dos vertebrados dispersores que regurgitam ou defecam a semente, seja por uma limitada dispersão ao redor

da planta mãe. As hipóteses acima apresentadas podem ser complementares.

De maneira geral, as espécies pequenas devem possuir padrões de distribuição evidentes em menores escalas que espécies grandes. Por outro lado, parcelas grandes podem ocultar padrões por possuírem heterogeneidade interna e agruparem os adensamentos da espécie. Mesmo em escala local, o comportamento das espécies em relação às variações nas condições ambientais como umidade e nutrientes no solo só serão perceptíveis em tamanhos de parcelas adequados. A heterogeneidade nas condições edáficas inerentes aos baixios podem explicar as variações encontradas entre transectos de igarapés diferentes. Sugere-se que estudos futuros em baixios da Amazônia central busquem relacionar o encharcamento do solo com os parâmetros analisados no presente trabalho.

Os resultados obtidos para *Selaginella parkeri* e *Oenocarpus bataua* apontam para o fato de que a independência entre parcelas só deve ocorrer a uma distância de ao menos seis metros no caso de palmeiras de dossel e dois metros para amostragens de herbáceas que possuem crescimento vegetativo.

5. AGRADECIMENTOS

Em prol da coletividade e do bem estar social, gostaria de agradecer a toda a equipe do PDBFF/INPA por tornarem este curso possível. Ao Glauco que, além de torná-lo possível, foi determinante para que fosse bom e prazeroso em todos os momentos. Ao Conde D'Itália Paulo De Marco por sua nobre missão de acrescentar conhecimento a uma platéia ávida por testes e galhofagens e por me orientar nesse projeto. Ao muito querido Juruna, o maníaco da lanterna, por mandar cartas, me ajudar no campo, dançar brega e tudo mais. À Angelita por organizar muitas coisas, por anotar as Selaginellas e os Patauás e por ser divertida. Ao Rai e à D. Eduarda pela comida e pelo bolo de aniversário. A todos os professores que passaram pelo curso, cheios de idéias. A todas as almas sebosas, Yamila, Sid, Sandra, Valentina, Flávia, Fran, Bruno, Nicolay, Bráulio, Dudu, Ronei, Lilian, Marion, Rafa, Carlos, Paula e Waguinho pelas boas conversas, companhia e harmonia. À Gabizinha, Camila e Fernanda pela amizade. À Marisa pela força nas autocorrelações e por ter boas músicas no computador. Ao Saci, por me incentivar, sempre.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Begon M., J.L. Harper & C.R. Townsend. 1996. Ecology: individuals, populations and communities. 3a ed. Blackwell Scientific Publications London, U.K.
- Condit, R., N. Pitman, E. G. Leigh Jr., J. Chave, J. Terborgh, R. B. Foster, P. Núñez V., S. Aguilar, R. Valencia, G. Villa, H. C. Muller-Landau, E. Losos & S. P. Hubbell. 2002. Beta-diversity in tropical forest trees. *Science*, 295: 666-669.
- Hubbell, S. P. & R. B. Foster. 1986. Biology, chance, and history and the structure of tropical rain forest tree communities. In: Community ecology. J. Diamond & T. J. Case (eds). Harper and Row, New York.
- Kahn, F. 1987. The distribution of palms as a function of local topography in Amazonian terra-firme. *Experientia*, 43: 251-259.
- Lieberman, M. & D. Lieberman. 1994. Patterns of density and dispersion on forest trees. In: McDade, L. A., K.S. Bawa, H. A. Hespeneide & G. S. Hartshorn (eds.) La Selva – ecology and natural history of a neotropical rainforest. University of Chicago Press, Chicago, IL, US.
- Lovejoy, T.E. & R.O. Bierregaard. 1990. Central amazonian forest and the minimum critical size of ecosystem project. In A.H. Gentry ed. Four tropical rain forests. Yale University Press, New Haven, USA.
- Phillips, D. L. & J. A. MacMahon. 1981. Competition and spacing pattern in desert shrubs. *Journal of Ecology*, 69: 97-115.
- Ribeiro, J.L. da S., M.J.G. Hopkins, A. Vincentini, C.A. Sothers, M.A. da S. Costa, J.M. de Brito, M.A.D. Souza, L.H.P. Martins, L.G. Lohmann, P.A.C.L. Assunção, E. da C. Pereira, C.F. da Silva, M.R. Mesquita & L.C. Procópio. 1999. Flora da Reserva Ducke. Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central. Manaus, INPA/DFID, Manaus, Brasil.
- Rosenberg, M. S. 2001. PASSAGE. Pattern Analysis, Spatial Statistics, and Geographic Exegesis. Version 1.0.3.8 Department of Biology, Arizona State University.
- StatSoft, Inc. 2003. STATISTICA data analysis software system, version 6. www.statsoft.com.
- Tryon, R., 1990. Pteridophytes. In: Lieth, H (ed.). Tropical rain forest ecosystems. Biogeographical and ecological studies. Elsevier Science. Publishers. Amsterdam.
- Tuomisto, H. & A. Poulsen, 1996. Influence of edaphic specialization on the distribution of pteridophytes in neotropical forests. *Journal of Biogeography*, 23: 283-293.
- Tuomisto, H., K. Ruokolainen & M. Yli-Halla. 2003. Dispersal, environment and floristic variation of western amazonian forest. *Science*, 299: 241-244
- Wilkinson, L. 2000. Systat: the system for statistics. SYSTAT, Evanson.