

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Avaliação de métodos fitossociológicos através de simulações de amostragens numa parcela permanente de cerrado, na Estação Ecológica de Assis, SP

Carolina Mathias Moreira

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Recursos Florestais, com opção em Conservação de Ecossistemas Florestais.

Piracicaba
2007

Carolina Mathias Moreira
Eng. Florestal

Avaliação de métodos fitossociológicos através de simulações de amostragens numa parcela permanente de cerrado, na Estação Ecológica de Assis, SP

Orientador:
Prof. Dr. JOÃO LUÍS FERREIRA BATISTA

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Recursos Florestais, com opção em Conservação de Ecossistemas Florestais.

Piracicaba
2007

Ficha catalográfica

AGRADECIMENTOS

Prof. Dr. João Luís Ferreira Batista

João, muito obrigada por esses quase três anos de convivência e orientação. Muito obrigada por acreditar em mim e por contribuir para meu crescimento não só acadêmico ou profissional, mas pessoal também.

Prof. Dr. Ricardo Ribeiro Rodrigues

Ricardo, muito obrigada pela oportunidade de desenvolver esse mestrado no Projeto Parcelas Permanentes. Obrigada por todas as contribuições, desde a idealização do projeto, até a fase final, de artigos e cia.

Muito obrigada a todos os funcionários da Estação Ecológica de Assis, especialmente aos mateiros que me acompanharam nos trabalhos de campo.

Agradeço à CAPES pela bolsa concedida.

Jefferson Lordello Polizel, responsável técnico do Laboratório de Métodos Quantitativos

Jeferson, muito obrigada por todo o apoio, desde a organização do banco de dados até os “pepinos” com Linux, R e cia, sempre de bom humor e disponível.

Ana Cristina Schilling, colega doutoranda, “irmã mais velha”

Ana, muito obrigada pelo seu constante bom humor, pela sua amizade, pelas conversas no café e por ter um prazo antes do meu, facilitando incrivelmente o árduo trabalho de depósito!

Muito obrigada aos meus amigos do coração Carolina Rodrigues Fontana e Júlio César da Costa, por esses oito anos, desde a graduação, de convívio e amizade. Vocês são pessoas maravilhosas e profissionais exemplares. Obrigada também ao Marcelo Mollinari, pela amizade, pela música e pelas soluções em LaTeX!

Ana Clara Mathias Moreira, minha irmã

Ana, muito obrigada pela sua companhia, pelos almoços e jantares, pelas festas memoráveis... por compartilhar alegrias e angústias.

Muito obrigada a meus pais, por acharem que valeria a pena me colocar no mundo, e por terem me apoiado e incentivado desde então.

Paulo Cesar de Souza Filho, corajoso namorado

Paulo Cesar, muito obrigada por estar sempre perto quando eu preciso, por ser paciente com as minhas impaciências e por ser o amor da minha vida.

Por fim, agradeço à “Piracicaba-que-eu-adoro-tanto” e à ESALQ, por terem me acolhido tão bem e por serem lugares lindos e agradáveis de se viver e estudar.

BIOGRAFIA DA AUTORA

Nasci em São Paulo, mas logo minha família se mudou para Pedra Bela, onde meus pais acabavam de adquirir um sítio. Eu e minha irmã crescemos ali e em seguida nos mudamos para Bragança Paulista. Sempre tive muita vontade de estudar, sempre admirei muito a USP e sonhava fazer parte desse meio acadêmico, ainda sem saber muito por quê. Achava bonito.

Com a adolescência, a pergunta “o que vou ser quando crescer” vai ficando mais presente, pois o vestibular se aproxima e uma decisão deve ser tomada. Como sempre gostei muito de natureza e as questões ecológicas já chamavam minha atenção, pensei em Biologia. No fim do ensino médio em amigo me falou de Engenharia Florestal. Eu nunca tinha ouvido falar e me informei, pois só o nome já me agradava bastante. Gostei do perfil do curso e como a USP só tinha Biologia em São Paulo, e Engenharia Florestal era em Piracicaba, isso me ajudou na decisão.

Depois de estudar a vida inteira em escolas públicas, resolvi prestar o vestibular mais para uma auto-avaliação. Passei! Pronto, agora eu fazia parte da tão admirada “comunidade uspiana”. Logo no primeiro ano, as aulas de botânica me despertaram atenção especial e fui falar com o Prof. Ricardo Rodrigues para fazer estágio. Deu certo, e fiz a Iniciação Científica, com bolsa FAPESP, em Pedra Bela, lá onde morei. Como foi legal trabalhar entre aqueles morros que eu conhecia de outro ângulo. Fiz lá também o Estágio Profissionalizante, na Casa da Agricultura, e aquele semestre foi muito marcante, pessoal e profissionalmente.

Apesar de ter ficado cinco anos na graduação, eu achava pouco. Achava que ainda tinha muita coisa a estudar. Falei com o Prof. Ricardo Rodrigues sobre mestrado e ele me propôs essa dissertação, mas ela deveria ser orientada por alguém mais “quantitativo” do que ele. Assim começou meu contato com o Prof. João Batista que, apesar de ter sido meu professor, não tivemos nenhum outro contato na graduação.

Logo de primeira já fui informada que teria uma “baia” e um computador no laboratório, o LMQ. E que teria que me acostumar com um novo Sistema Operacional, o Linux; e com um novo programa o R (sim, o nome do programa é uma letra); e também com um processador de texto totalmente novo e diferente de tudo que eu já tinha visto. Eu mal sabia direito do que se tratava, mas o Prof. João Batista e o Prof. Paulo Justiniano, professor da UFPR que tive o prazer de ser aluna, trataram de me converter pra sua “igreja”. Meu espírito meio revolucionário adorou a proposta de softwares livres, com código aberto e todas essas coisas. Hoje, adoro linha de comando! Mas também não dispense uma “interface amigável”!

O trabalho fluiu muito bem, e o resultado está aqui. Nesses três anos, desde que me formei, sinto que amadureci bastante e preciso me apressar em responder à pergunta: “o que vou ser, agora que já cresci”?!



JORGE CHAM © 2007

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| RESUMO | 8 |
| ABSTRACT | 9 |
| 1 INTRODUÇÃO | 10 |
| Referências | 13 |
| 2 A TABELA DE FITOSSOCIOLOGIA E SUAS INCERTEZAS | 14 |
| Resumo | 14 |
| Abstract | 14 |
| 2.1 Introdução | 15 |
| 2.2 Material e Método | 16 |
| 2.2.1 Conjunto de dados | 16 |
| 2.2.2 Área de Estudo | 16 |
| 2.2.3 Métodos de simulação e análise | 17 |
| 2.3 Resultados | 18 |
| 2.3.1 Viés das estimativas de densidade e dominância | 18 |
| 2.3.2 Alteração da posição das espécies na tabela de fitossociologia | 19 |
| 2.4 Discussão | 24 |
| 2.5 Conclusão | 28 |
| Referências | 28 |
| 3 INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL NAS ESTIMATIVAS | 30 |
| Resumo | 30 |
| Abstract | 30 |
| 3.1 Introdução | 31 |
| 3.2 Material e Método | 32 |
| 3.2.1 Conjunto de dados | 32 |
| 3.2.2 Escolha das espécies | 32 |
| 3.2.3 Análise dos resultados | 33 |
| 3.3 Resultados | 33 |
| 3.3.1 Espécies escolhidas | 33 |
| 3.3.2 Espécies ocasionais | 36 |
| 3.3.3 Espécies comuns | 36 |
| 3.3.4 Espécies constantes | 40 |
| 3.3.5 Espécies abundantes | 43 |
| 3.4 Discussão | 45 |
| 3.5 Conclusão | 46 |
| Referências | 47 |
| 4 ANALISANDO ATRIBUTOS DA COMUNIDADE | 48 |
| Resumo | 48 |
| Abstract | 48 |
| 4.1 Introdução | 49 |
| 4.2 Material e Método | 51 |
| 4.2.1 Conjunto de dados | 51 |
| 4.2.2 Atributos analisados | 51 |
| 4.3 Resultados e Discussão | 53 |

| | |
|--|----|
| 4.3.1 Estimativas de densidade e área basal | 53 |
| 4.3.2 Curvas de acumulação de espécies | 54 |
| 4.3.3 Número de espécies amostradas | 59 |
| 4.3.4 Proporções de espécies e indivíduos por classes de densidade | 59 |
| 4.4 Conclusão | 65 |
| Referências | 65 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 67 |

RESUMO

Avaliação de métodos fitossociológicos através de simulações de amostragens numa parcela permanente de cerradão, na Estação Ecológica de Assis, SP

Existem vários métodos empregados em estudos fitossociológicos e muitos trabalhos já se propuseram a avaliar o desempenho desses métodos. O primeiro e mais utilizado é o método de parcelas, que sempre é referido nos trabalhos como o melhor e por isso definido como base para comparação com os demais. Por esse motivo, nunca foi avaliado isoladamente. Com o presente trabalho tem-se a oportunidade de avaliar o próprio método de parcelas, comparando seus resultados com os valores paramétricos, uma vez que foi feito um censo da área amostrada e a população estatística é conhecida sem erro amostral. Os dados são de uma parcela permanente instalada em uma área de cerradão (Estação Ecológica de Assis, SP). A parcela possui 10,24 ha e todos seus indivíduos com $CAP \geq 15$ cm foram marcados, georreferenciados, medidos e identificados. Foi feita uma tabela de fitossociologia para a parcela que, por se tratar de um censo, representa os valores paramétricos. Foram geradas simulações de levantamentos fitossociológicos por amostragens sistemáticas para quatro tamanhos de parcela quadrada, sendo 10 x 10 m, 20 x 20 m, 50 x 50 m e 100 x 100 m, todas com área total amostrada de 1 ha. Para a parcela de 10 x 10 m foram simuladas mais três intensidades amostrais: 75, 50 e 25 parcelas. Para cada situação de amostragem foram simuladas 1.000 amostras e para cada uma dessas amostras foi elaborada uma tabela de fitossociologia. Foi avaliado o viés das estimativas de densidade e dominância, e a alteração da posição das espécies na tabela de fitossociologia. Foi avaliada também a influência da distribuição espacial das espécies nas estimativas. Por fim, foram feitas algumas análises de atributos de comunidade que são viáveis à partir de levantamentos fitossociológicos, como densidade, área basal, curva de acumulação de espécies, número de espécies amostradas e proporção de espécies e indivíduos por classe de densidade. O método de parcelas de 10 x 10 m foi o que apresentou menor viés para as estimativas, e também menor variação na posição das espécies na tabela de fitossociologia, mas mesmo assim há um alto viés para espécies de baixa densidade e uma grande alteração na posição das espécies na tabela de fitossociologia. Com relação à distribuição espacial, espécies com densidades intermediárias têm suas estimativas mais influenciadas pela distribuição espacial do que aquelas com baixa densidade - que sempre apresentarão viés - e aquelas com alta densidade - que não apresentam viés devido ao alto número de indivíduos na amostra. As análises de atributos de comunidade mostraram que esses atributos podem ser bem estimados, levando-se em consideração apenas detalhes usuais da escolha de método para qualquer amostragem, como o número de unidades amostrais, seu tamanho e sua distribuição pela área de estudo.

Palavras-chave: Cerradão; Espécies raras; Fitossociologia; Métodos de amostragem; Parcela permanente

ABSTRACT

Phytosociological methodologies evaluation using sampling simulations in a permanent plot at the Assis Ecological Station, SP

Many methodologies are available for phytosociological studies, and many attempts have been made to evaluate them. The most commonly used method employs sample plots. This technique is always referred to in the literature as the basic approach and, as such, is usually defined as the benchmark to which the other methods are compared. For this reason, it has never been evaluated on its own. This work presents the opportunity to evaluate the plot method itself and compare its results with the parametric values available from a full census of a sampling area in which the complete population data is known and contains no sampling error. Data was taken from a permanent plot located in an area of forested savannah (Assis Ecological Station, SP, Brazil), that comprises an area of 10.24 ha, and all trees over 15 cm girth at breast height were marked, georeferenced, measured and identified. Phytosociological measures were computed with the values of density and basal area for each species in the census and represent the parametric values. Simulations were made of phytosociological surveys by systematic sampling with four square plot sizes (10 x 10 m, 20 x 20 m, 50 x 50 m, and 100 x 100 m). Additionally, three sampling intensities were simulated for the 10x10m plots (75, 50, and 25 plots). One thousand simulated surveys were performed for each sampling situation, and for each of these surveys phytosociological measures were computed. The bias in the estimates of both density and dominance was evaluated, as well as change in species importance. The influence of spatial pattern on the estimation of phytosociological measures was also evaluated. At last, some analysis of community attributes, that are feasible with phytosociological measures were made, such as density, basal area, species accumulation curves, number of species sampled and proportion of species and individuals per density group. The 10 x 10 m sample plots showed the lowest overall bias and the lowest variation in species importance, but even in this method were observed high bias and high variation. About the spatial distribution, species with very low density showed very large bias, independently of spatial pattern. Spatial pattern had a clear influence on the estimates of intermediate density species, where species with more clustered pattern showed more skewed distribution. And for the species with high density, spatial pattern does not seem to play an important role. The community attributes analysed can be well estimated with phytosociological measures, just taking into consideration some usual methodological details, such as sampling size and plot distributions within the study area.

Keywords: Forested savannah; Permanent plot; Phytosociology; Rare species; Sampling methods

1 INTRODUÇÃO

A questão dos números, de como eles variam e o que causa a sua variação sempre foi um problema importante na biologia econômica e no gerenciamento de recursos naturais, sendo em grande parte devido a isso que a Ecologia, na década de 20, iniciou a transformação de uma ciência descritiva para uma ciência das populações (KINGSLAND, 1995). O estudo da vegetação também evoluiu de métodos descritivos para uma abordagem quantitativa. O trabalho de Braun-Blanquet (1932) talvez seja uma das primeiras organizações da nova abordagem de fitossociologia com enfoque mais quantitativo. A abordagem quantitativa se estabeleceu de modo firme na fitossociologia, ao ponto de Cain e Casto no seu “Manual of Vegetation Analysis” (CAIN; CASTRO, 1959) afirmarem que “...o método de medidas quantitativas, quando combinado com técnicas de amostragem válidas, pode ser estritamente objetivo e gerar resultados reproduzíveis”. Comparando a abordagem descritiva com os métodos quantitativos, esses autores afirmam que o primeiro é praticado essencialmente como uma “arte”, enquanto que o segundo é “científico”.

Daubenmire, no seu livro sobre comunidades vegetais (DAUBENMIRE, 1968), também enfatiza a natureza quantitativa das análises fitossociológicas, afirmando que os dados científicos devem ser expressos quantitativamente e com a maior precisão possível, e que a necessidade de técnicas quantitativas para expressar os diferentes atributos das comunidades vegetais já havia sido reconhecida há muito tempo. Ao lado de uma cuidadosa definição de termos como, densidade, dominância, frequência e cobertura, esse autor também discute técnicas de amostragem voltadas para o estudo das comunidade vegetais. Mueller-Dombois e Ellenberg, que são dois autores frequentemente usados como referência metodológica em trabalhos de fitossociologia no Brasil, também ressaltam a importância da abordagem quantitativa. No seu manual de ecologia vegetal (MUELLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 1974), eles dedicam um capítulo inteiro para considerações sobre amostragem da vegetação e outro para a mensuração de grandezas quantitativas das espécies individualmente, além de detalharem os procedimentos relacionados aos diferentes tipos de unidades amostrais como parcelas, pontos quadrantes e o método de raio variável de Bitterlich (1984).

O tratamento quantitativo tem presença marcante nesses e em outros manuais de análise de vegetação, e também existe uma grande quantidade de trabalhos científicos discutindo questões quantitativas em fitossociologia como por exemplo a construção e interpretação da curva de acumulação de espécies, no Brasil às vezes designada como curva do coletor; a mensuração da densidade quando se usa distância ou ângulos para amostrar as árvores; a relação entre tamanho da parcela e a definição e quantificação da frequência das espécies; a influência do padrão espacial no

valor dos atributos quantitativos. Tal literatura certamente autoriza Martins (2004)¹ a afirmar que os métodos fitossociológicos têm base matemático-estatística conhecida. Entretanto, as discussões metodológicas na fitossociologia foram centradas nas regiões temperadas da Europa e América do Norte e a proposta metodológica surgiu no estudo de formações vegetais com diversidade de espécies bem menor que as formações florestais tropicais. Contudo, nas primeiras aplicações da metodologia em florestas tropicais concluiu-se que a aplicação era válida, como no trabalho de Cain e colaboradores (CAIN et al., 1956) que realizaram análises fitossociológicas de levantamentos em floresta pluvial no Pará, floresta de Araucária no Paraná e floresta de galeria no Rio Grande do Sul. Esses autores, concluíram que a aplicação da metodologia comumente aplicada em estudos de vegetação temperada era aplicável às florestas tropicais e que a análise dos dados frequentemente ressaltava características que não eram prontamente destacáveis nos estudos não-quantitativos.

Apesar da rica discussão de métodos quantitativos, a fitossociologia passou a ser aplicada em formações florestais tropicais sem uma discussão metodológica sobre a necessidade de adaptações, embora os autores tenham reconhecido explicitamente as grandes diferenças ecológicas entre regiões tropicais e temperadas. Mesmo Mueller-Dombois e Ellenberg (1974) ao apresentarem curvas de acumulação de espécies para comunidades arbóreas de florestas tropicais asiáticas desenvolvidas por Ashton, afirmam que a área mínima de parcelas estaria ao redor de 5 *ha* e que várias dessas parcelas seriam necessárias para recompor uma “quase-completa composição de espécies de toda comunidade”. Mas eles reconhecem que nas florestas tropicais esse trabalho representa uma “tarefa formidável” (formidable task). Hoje, no entanto, muitos ecologistas tropicais admitiriam que uma composição quase-completa é uma tarefa impraticável.

Na discussão quantitativa da metodologia fitossociológica sempre houve uma certa falta da aplicação dos princípios estatísticos. Em parte, porque muito da discussão se deu num período em que a estatística ainda estava se afirmando enquanto ciência, nas décadas de 30 a 60. Uma rara exceção é a revisão sobre métodos fitossociológicos realizada por Goodall (1970). Nessa revisão, ele afirma que quase sempre as medidas fitossociológicas são estimativas de parâmetros populacionais e, como tal, seria desejável o conhecimento da distribuição amostral de tais estimativas. Ele argumenta que a frequência provavelmente segue uma distribuição binomial, e que a densidade, sendo baseada em contagens, deve se aproximar de uma distribuição Poisson ou binomial negativa. Já as outras medidas quantitativas (como dominância), deve se aproximar da distribuição normal, embora mais frequentemente com acentuada assimetria. Esse autor também afirma que uma enorme variância amostral é característica de muitos tipos de dados ecológicos, implicando que uma alta precisão na medição não é compensadora. Ele enfatiza ainda que a “ausência de viés é importante”, mas que a variância pode ser reduzida mais efetivamente com o aumento da

¹O papel da fitossociologia na conservação e na bioprospecção. 55^o Congresso Nacional de Botânica, Viçosa, MG, 2004. Palestra.

intensidade amostral do que com o aumento da precisão de mensuração.

O trabalho de Goodall, contudo, parece não ter encontrado eco na comunidade científica, pois nenhum estudo detalhado das propriedades estatísticas das estimativas dos índices fitossociológicos parece ter sido realizado.

Além das questões que se referem aos métodos fitossociológicos de forma geral, existem aquelas referentes ao emprego do método em formações altamente diversas. A alta diversidade das florestas tropicais é formada por espécies que ocorrem em baixíssima densidade, as espécies raras (HUBBEL; FOSTER, 1986; KAGEYAMA; GANDARA, 2004), e a amostragem dessas espécies em estudos que focam a comunidade como um todo sempre será deficiente, pois nunca teremos indivíduos suficientes para qualquer inferência quantitativa.

Como principal exemplo de estudos de longo prazo em florestas tropicais, a parcela permanente da Ilha de Barro Colorado, no Panamá, é fonte de muitas informações sobre a dinâmica dessas formações. Em um dos levantamentos realizados na parcela, foi constatado que 37% das espécies eram raras (densidade $< 1 \text{ ha}^{-1}$) e representavam 0,6% dos indivíduos; 25 espécies tinham apenas um único indivíduo e, como a área total da parcela é de 50 ha, a densidade dessas 25 espécies era de apenas $0,02 \text{ ha}^{-1}$. Com um estudo mais aprofundado, concluiu-se que pelo menos um terço das espécies raras não tinham populações auto-mantidas na parcela permanente, ou seja, sua presença poderia ser devido a imigrações de áreas fora da parcela, e elas estariam em baixa densidade por condições desfavoráveis. Algumas outras espécies raras poderiam estar em processo de crescimento populacional, e um menor número parecia ter populações auto-mantidas, especialmente aquelas especialistas em habitat (HUBBEL; FOSTER, 1986). Com essas constatações, o “problema” da raridade das espécies tropicais fica ainda mais complexo, uma vez que determinada espécie pode não “ser” rara, mas “estar” rara.

O objetivo geral dessa dissertação foi contribuir com os estudos da eficiência e particularidades do principal método utilizado em levantamentos fitossociológicos, o método de parcelas. Para tanto, foi estudado o comportamento das estimativas de densidade e dominância, em termos de viés, e a alteração da importância das espécies na tabela de fitossociologia (Capítulo 2). Foi estudado também o efeito da própria densidade da espécie (como valor paramétrico conhecido) e de sua distribuição espacial na qualidade das estimativas geradas (Capítulo 3). Por fim, foram feitas algumas análises de atributos quantitativos de comunidade, sem levar em consideração as espécies isoladamente (Capítulo 4).

Referências

- BITTERLICH, W. **The relascope idea**: relative measurement in forestry. London: Slough, 1984. 236p.
- BRAUN-BLANQUET, J. **Plant sociology**. New York: McGraw Hill, 1932. 439p.
- CAIN, S.A.; CASTRO, G.M.O. **Manual of vegetation analysis**, New York: Harper & Brothers, 1959. 325p.
- CAIN, S.A.; CASTRO, G. M. O.; PIRES, J. M.; SILVA, N. T. Application of some phytossociological techniques to Brazilian rain forest. **American Journal of Botany**, New York, v.43, n.10, p.911-941, Dec. 1956.
- DAUBENMIRE, R. **Plant communities**, New York: Harper & Row, 1968. 300p.
- GOODALL, D.W. Statistical plant ecology. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v.1, p.99-124, Nov. 1970.
- HUBBEL, S.; FOSTER, R. Commonness and rarity in a neotropical forest: implications for tropical tree conservation. In: SOULÉ, M.E. (Ed.). **Conservation Biology**: the science of scarcity and diversity. Massachussets: Sunderland, 1986. chap. 10, p.205-231.
- KAGEYAMA, P; GANDARA, F.B. Recuperação de áreas ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO-FILHO, H.F. (Ed.). **Matas ciliares**. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2004. cap. 15.2, p.249-269.
- KINGSLAND, S.E. **Modeling nature**: episodes in the history of population ecology. Chicago: The University of Chicago Press, 1995. 315p.
- MÜELLER-DOMBOIS, D.; ELLEMBERG, H. **Aims and methods of vegetation analysis**. New York:Wiley, 1974. 574p.

2 A TABELA DE FITOSSOCIOLOGIA E SUAS INCERTEZAS

Resumo

Existem vários métodos empregados em estudos fitossociológicos e muitos trabalhos já se propuseram a avaliar o desempenho desses métodos. O primeiro e mais utilizado é o método de parcelas, que sempre é referido nos trabalhos como o melhor e por isso definido como base para comparação com os demais. Por esse motivo, nunca foi avaliado isoladamente. Com o presente trabalho tem-se a oportunidade de avaliar o próprio método de parcelas, comparando seus resultados com os valores paramétricos, uma vez que foi feito um censo da área amostrada e a população estatística é conhecida sem erro amostral. Os dados são de uma parcela permanente instalada em uma área de cerrado (Estação Ecológica de Assis, SP). A parcela possui 10,24 ha e todos seus indivíduos com $CAP \geq 15$ cm foram marcados, georreferenciados, medidos e identificados. Foi feita uma tabela de fitossociologia para a parcela que, por se tratar de um censo, representa os valores paramétricos. Foram geradas simulações de levantamentos fitossociológicos por amostragens sistemáticas para quatro tamanhos de parcela quadrada, sendo 10 x 10 m, 20 x 20 m, 50 x 50 m e 100 x 100 m. Para a parcela de 10 x 10 m foram simuladas quatro intensidades amostrais: 100, 75, 50 e 25 parcelas. Para cada situação de amostragem foram simuladas 1.000 amostras e para cada uma dessas amostras foi elaborada uma tabela de fitossociologia. Os resultados foram avaliados segundo dois critérios: estudo do viés das estimativas de densidade e dominância e alteração na posição das espécies na tabela de fitossociologia. Foi constatado alto viés, em todos os métodos e intensidades amostrais, para as espécies com baixa densidade, sendo que o método de parcelas de 10 x 10 m apresentou o menor viés. Para a alteração da posição das espécies na tabela, foi verificada grande amplitude mesmo em espécies comuns. O método que apresentou menor variação foi também o de parcelas de 10 x 10 m. Esses resultados mostraram que análises quantitativas de espécies que ocorrem em baixa densidade estão sujeitas a grande viés e que a ordenação das espécies na tabela de fitossociologia não é influenciada apenas pela baixa densidade das mesmas.

Palavras-chave: Cerradão; Espécies raras; Métodos de amostragem; Parcela permanente

Abstract

Many methodologies are available for phytosociological studies, and many attempts have been made to evaluate them. The most commonly used method employs sample plots. This technique is almost invariably referred to in the literature as the basic approach and, as such, is usually defined as the benchmark to which the other methods are compared. Perhaps for this reason it has never been evaluated on its own. The present work sought to evaluate the use of sample plots and compare their results with the parametric values of a study area in which a full census was made and for which the population statistics are fully known and contain no sampling errors. Data was taken from a permanent plot located in an area of forested savannah vegetation in the Assis Ecological Station,

São Paulo, Brazil. This permanent plot comprises an area of 10.24 ha, and all individuals over 15 cm girth at breast height were marked, geo-referenced, measured and identified. Phytosociological measures were computed with the values of density and basal area for each species in the census and represent the parametric values. Simulations were made of phytosociological surveys by systematic sampling with four different square plot sizes (10 x 10 m, 20 x 20 m, 50 x 50 m, and 100 x 100 m). Additionally, three different sampling intensities were simulated for the 10 x 10 m plots (75, 50, and 25 plots). One thousand simulated surveys were performed for each sampling situation, and for each of these surveys a phytosociological data set was elaborated. The sampling results were evaluated in terms of two criteria: bias in the estimates of both density and basal area, and the change in each species importance represented by its position in the cover value rank. The 10 x 10 m sample plots showed the lowest overall bias, but high bias were observed among low-density species with all of the different methods at all of sampling intensities. The 10 x 10 m sample plots also showed the lowest variation in species importance, but high variations were observed even in common species. These results demonstrate that the quantitative analyses of low-density species are subject to large bias using the plot sampling method, and that the species importance on the phytosociological data is not influenced solely by low density.

Keywords: Forested savannah; Permanent plot; Phytosociological data; Rare species; Sampling methods

2.1 Introdução

A fitossociologia envolve o estudo das inter-relações entre populações de espécies vegetais dentro da comunidade vegetal, no espaço e no tempo, e refere-se ao estudo qualitativo e quantitativo da composição, estrutura, dinâmica, história, distribuição e relações ambientais da comunidade vegetal, sendo justamente esta idéia de quantificação que a distingue de um estudo florístico (DURIGAN; RODRIGUES; SCHIAVINI, 2004; MARTINS, 1989).

A metodologia de estudos fitossociológicos nasceu na Europa, e foi aplicada pela primeira vez em florestas tropicais, com enfoques ecológicos, quando o pesquisador Stanley A. Cain, da Universidade de Michigan (EUA) veio ao Brasil, em 1956 e, juntamente com sua equipe, conduziu levantamentos no estado do Pará e no sul do país (MARTINS, 1989). Os autores concluíram que os métodos poderiam ser aplicados à vegetação tropical, trazendo inclusive mais informações que os métodos não-quantitativos (CAIN et al., 1956).

Na década de 1970, o método de quadrantes foi introduzido no Brasil por Martins (1979) e discutido em detalhes posteriormente em Martins (1993). Desde então foram feitos diversos estudos acerca da qualidade deste método (GIBBS; LEITÃO-FILHO; ABBOT, 1980; PAGANO; LEITÃO-FILHO; CAVASSAN, 1995), tomando como base para comparação o método de parcelas, que sempre é referido nos trabalhos como o melhor, tendo como desvantagem apenas o maior tempo de execução em campo (GIBBS; LEITÃO-FILHO; ABBOT, 1980; ROCHA, 2003).

Existem ainda outros métodos de levantamentos fitossociológicos, como alguns de amostragem

por distância discutidos em Cottam e Curtis (1959) e o método da enumeração angular (BITTERLICH, 1984), aplicado em estudos fitossociológicos de formações naturais brasileiras por Vanini (1999), com resultados satisfatórios em relação ao método de parcelas. No entanto, tradicionalmente os estudos fitossociológicos feitos no Brasil empregam principalmente o método de parcelas e o método de quadrantes (DURIGAN; LEITÃO-FILHO, 1995).

Como o método de parcelas é sempre tomado como referência, nunca pôde ser avaliado isoladamente. Com o presente trabalho tem-se a oportunidade de avaliar o próprio método de parcelas, comparando seus resultados com os valores paramétricos, uma vez que foi feito um censo da área amostrada e a população estatística é conhecida sem erro amostral.

Além da avaliação do método de parcelas, foi feita também uma avaliação de intensidades amostrais, já que a área amostrada também tem forte influência nas comparações e varia bastante entre levantamentos (DURIGAN; LEITÃO-FILHO, 1995).

Dessa forma, o objetivo foi gerar dados acerca da confiabilidade dos atributos quantitativos obtidos no principal e mais usado método de levantamento fitossociológico, o método de parcelas, considerando diferentes tamanhos de parcelas e intensidades amostrais.

2.2 Material e Método

2.2.1 Conjunto de dados

Os dados são provenientes de uma parcela permanente (projeto temático “Diversidade, dinâmica e conservação em florestas do Estado de São Paulo: 40 ha de parcelas permanentes” (BIOTA/FAPESP 1999/09635-0) instalada em uma área de cerradão, na Estação Ecológica de Assis, SP. A parcela possui 10,24 ha (320 x 320 m) e todos os indivíduos arbóreos em seu interior com $CAP \geq 15$ cm foram marcados (placas de alumínio numeradas), georreferenciados, medidos e identificados. Esta parcela permanente, assim como as outras três do projeto, conta com remedições periódicas, a cada quatro anos. A segunda e mais recente foi feita no ano de 2005 e contabilizou 21.861 indivíduos vivos, pertencentes a 118 espécies, sendo esses os dados utilizados para as análises desse trabalho.

Esse levantamento possibilitou a construção de um mapa de todas as árvores da parcela permanente, plotadas à partir de suas coordenadas. Foram feitas então, sobre esse mapa, simulações espaciais das diferentes amostragens.

2.2.2 Área de Estudo

A Estação Ecológica de Assis (EEA) localiza-se no município de Assis, SP, entre as coordenadas geográficas 22°33'65" a 22°36'68"S e 50°23'00" a 50°22'29"W e entre as altitudes de 520 a 590 m, no chamado Médio Vale do Paranapanema, protegendo uma pequena amostra das várias

fisionomias de Cerrado, com pequenas manchas com transição para Floresta Estacional Semidecídua. A EEA encontra-se entre as áreas menos degradadas da região, uma vez que não foi utilizada para agricultura, por estar sobre solos pobres e arenosos (RODRIGUES, 2005).

A unidade foi oficialmente criada em 1992, tendo sido desmembrada da Estação Experimental de Assis, com o objetivo de proteger integralmente o ecossistema de Cerradão, representativo da vegetação original da região, com área de 1.312,38 ha. Em 2002 a área da EEA foi ampliada para 1.760,64ha, com a incorporação de antigos talhões reflorestados com espécies introduzidas dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, sob os quais a vegetação nativa encontra-se em processo, geralmente avançado, de regeneração natural. Tanto a Estação Experimental quanto a Estação Ecológica são administradas pelo Instituto Florestal (RODRIGUES, 2005).

A vegetação predominante da EEA, e onde foi alocada a parcela permanente, é o Cerradão, fitofisionomia caracterizada pela presença de três estratos, sendo o primeiro composto por gramíneas e herbáceas, o segundo por arbustos e pequenas árvores (sub-bosque) e um terceiro, compondo um estrato arbóreo contínuo, com altura do dossel de cerca de 12 m (RODRIGUES, 2005).

Dentre os projetos desenvolvidos na parcela permanente, foi feito um levantamento ultradetalhado de solos, chegando à seguinte classificação: Latossolo Vermelho distrófico típico, Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, Latossolo Amarelo distrófico típico e Gleissolo Háplico distrófico típico. A distribuição dos solos na topossequência é bastante homogênea (RODRIGUES, 2005).

O clima é Tropical Sub-Úmido com pequena estação seca durante o inverno, que corresponde ao tipo Aw, segundo a classificação de Köppen (RODRIGUES, 2005).

2.2.3 Métodos de simulação e análise

Foi feita uma tabela de fitossociologia para os dados completos, ou seja, para todos os indivíduos incluídos no censo da parcela de 10,24 ha. Essa tabela representa os valores paramétricos da população estatística em estudo.

Foram geradas simulações de levantamentos fitossociológicos com delineamento amostral sistemático com início aleatório, utilizando parcelas quadradas de 100 x 100 m, 50 x 50 m, 20 x 20 m e 10 x 10 m, sendo que para cada um dos métodos a área amostrada foi a mesma (1 ha), ou seja, uma parcela de 100 x 100 m, 4 parcelas de 50 x 50 m, 25 parcelas de 20 x 20 m e 100 parcelas de 10 x 10 m. Foram simuladas mais três intensidades amostrais para o método de parcelas de 10 x 10 m, sendo 75, 50 e 25 parcelas.

Para cada situação de amostragem (sete ao todo, sendo quatro métodos mais três intensidades amostrais do método de parcelas de 10 x 10 m) foram simuladas 1.000 amostras e para cada uma dessas amostras foi elaborada uma tabela de fitossociologia.

Os métodos foram avaliados através da observação do comportamento dos principais índices

fitossociológicos (MULLER-DUMBOIS; ELLEMBERG, 1974), segundo dois critérios: viés das estimativas de densidade e dominância e alteração na posição das espécies na tabela de fitossociologia, ordenada segundo o Índice de Valor de Cobertura (IVC). A frequência não foi incluída por ser uma estimativa diretamente dependente do tamanho da unidade amostral, sendo que qualquer definição paramétrica seria arbitrária. Pelo mesmo motivo foi escolhido o IVC (soma dos valores relativos de densidade e dominância) e não o Índice de Valor de Importância (IVI - soma dos valores relativos de densidade, dominância e frequência) para avaliar a posição das espécies na tabela.

Para o estudo do viés das estimativas, em cada situação de amostragem foi feita uma tabela de médias dos índices fitossociológicos nas 1.000 amostras. O viés foi obtido pela diferença entre o valor paramétrico e a média correspondente, para cada espécie, sendo que resultados negativos indicam superestimação. Foram gerados gráficos comparando a dispersão do viés relativo contra os valores paramétricos, para cada método e cada intensidade amostral do método de parcelas de 10 x 10 m.

Para o estudo da ordenação das espécies na tabela foi calculada a amplitude de variação, para cada espécie, de sua posição na tabela de fitossociologia (posição máxima menos a posição mínima no conjunto de 1.000 simulações, para cada situação testada). Esses valores foram comparados com os valores paramétricos (posição da espécie na tabela feita para a parcela toda) e analisados graficamente.

Todos os cálculos, inclusive as simulações, foram feitos usando o software R (R Development Core Team, 2006).

2.3 Resultados

2.3.1 Viés das estimativas de densidade e dominância

Nos resultados apresentados a seguir existe a predominância de viés negativo, mas existem também estimativas com viés positivo (subestimação). Como em alguns casos a informação relevante é a magnitude do viés, será adotada a notação de módulo (| |) quando o viés for explicitado em valor absoluto, não importando se a estimativa foi superestimada ou subestimada.

O método que apresentou menor viés para densidade foi o de parcelas de 10 x 10 m, em seguida o de parcelas de 20 x 20 m, o de parcelas de 50 x 50 m e o método com maior viés foi o de parcela única (100 x 100 m), que apresentou viés superior a |10%| para a maioria (80%) das espécies (Figura 2.1a).

Na avaliação de intensidades amostrais para o método de parcelas de 10 x 10 m, o delineamento com maior intensidade foi melhor, como era de se esperar, mas as diferenças entre as quatro intensidades testadas não foram tão marcantes quanto as diferenças observadas entre os métodos. De forma geral, para 100 e 75 parcelas, o viés é maior que |10%| para espécies com densidade menor

que 3 ha^{-1} e para 50 e 25 parcelas o viés é maior que $|10\%|$ para espécies com densidade menor que 5 ha^{-1} (Figura 2.1b). A principal diferença entre as intensidades amostrais é que, quanto menor a área amostrada, maior a proporção de espécies com grande viés.

Analisando o delineamento que apresentou menor viés (100 parcelas de 10 x 10 m), são 71 espécies que possuem estimativa de densidade com viés superior a $|10\%|$. Essas espécies representam cerca de 60% do total de espécies da área, mas apenas 2,5% dos indivíduos.

Para a estimativa de dominância, os resultados foram semelhantes aos encontrados para densidade. O melhor método foi o de parcelas de 10 x 10 m, seguido do de parcelas de 20 x 20 m, de 50 x 50 m e o pior foi o de parcela única de 100 x 100 m (Figura 2.2a), mais uma vez com viés superior a $|10\%|$ para quase todas as espécies.

Na avaliação de intensidades amostrais também foi constatada pequena diferença entre as intensidades testadas (Figura 2.2b).

Para o delineamento de 100 parcelas de 10 x 10 m, 78 espécies possuem estimativa de dominância com viés superior a $|10\%|$. Essas espécies representam cerca de 66% do total de espécies da área e apenas 4% dos indivíduos.

2.3.2 Alteração da posição das espécies na tabela de fitossociologia

Assim como os resultados encontrados no estudo do viés das estimativas, o método de parcelas de 10 x 10 m foi o que apresentou a menor variação na posição das espécies na tabela de fitossociologia, seguido dos métodos de parcelas de 20 x 20 m, 50 x 50 m e de parcela única (100 x 100 m). A comparação dos quatro métodos foi feita através da construção de uma linha de regressão não-paramétrica para cada método, que indica a tendência dos dados (Figura 2.3a).

As mesmas comparações foram feitas para o estudo de intensidades amostrais, para a parcela de 10 x 10 m. Nos delineamentos com menores intensidades amostrais (50 e 25 parcelas) foi constatada variação maior que 10 posições entre as 10 primeiras espécies, ou seja, aquelas com maiores valores de IVC (Figura 2.4a). Esse resultado mostra que seriam necessárias pelo menos 75 parcelas de 10 x 10 m para que as inferências acerca das dez primeiras espécies da tabela de fitossociologia tivessem uma incerteza de até 10 posições, o que representaria uma amostragem de 7% da área total da parcela permanente (10,24 ha).

A amplitude de variação na ordem das espécies na tabela, para as 10 espécies com maior IVC, é mostrada nas Figuras 2.3b e 2.4b, onde os segmentos vão do valor mínimo (menor posição entre as 1.000 tabelas geradas) ao valor máximo (maior posição nas tabelas) e o ponto indica o valor paramétrico (valor de IVC na tabela de fitossociologia gerada para toda a parcela permanente). Cada segmento representa um método de amostragem, na Figura 2.3b, e uma intensidade amostral, na Figura 2.4b, de acordo com as respectivas legendas.

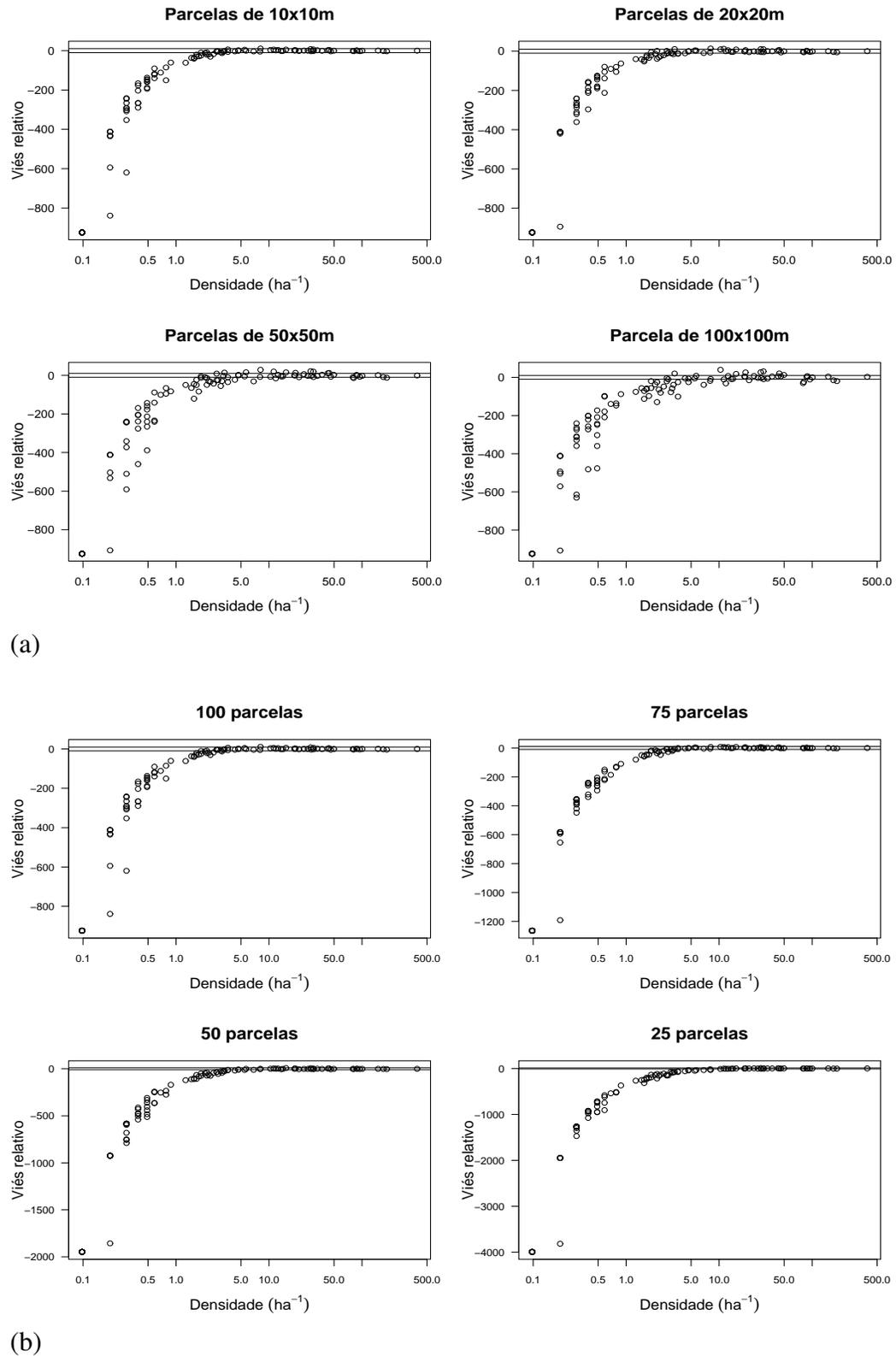


Figura 2.1 – Distribuição do viés para as estimativas de densidade geradas em (a) quatro tamanhos de parcelas quadradas e (b) quatro intensidades amostrais da parcela de 10 x 10 m. Cada ponto representa uma espécie. As linhas horizontais indicam o intervalo de 10% de viés, positivo e negativo

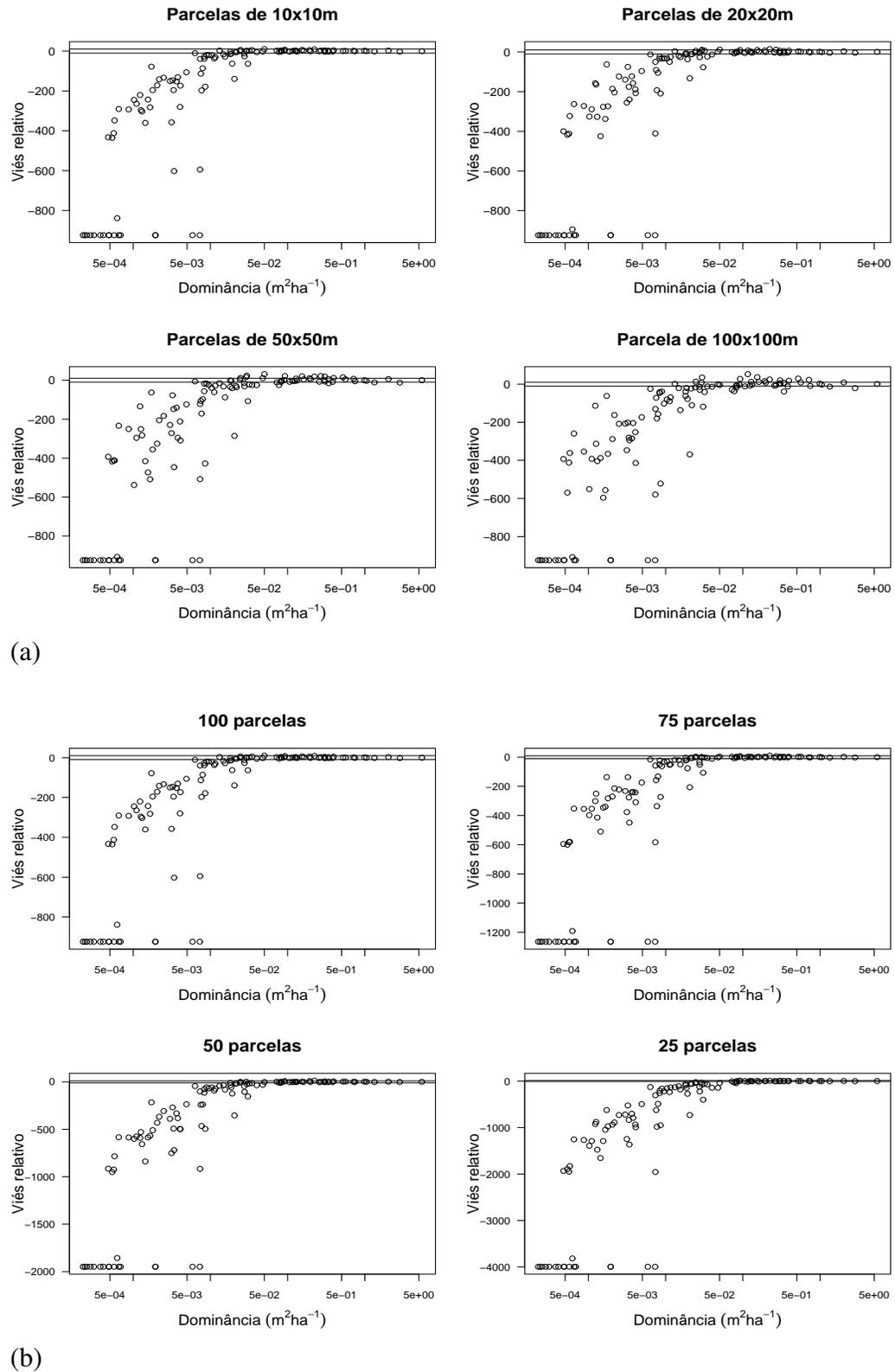
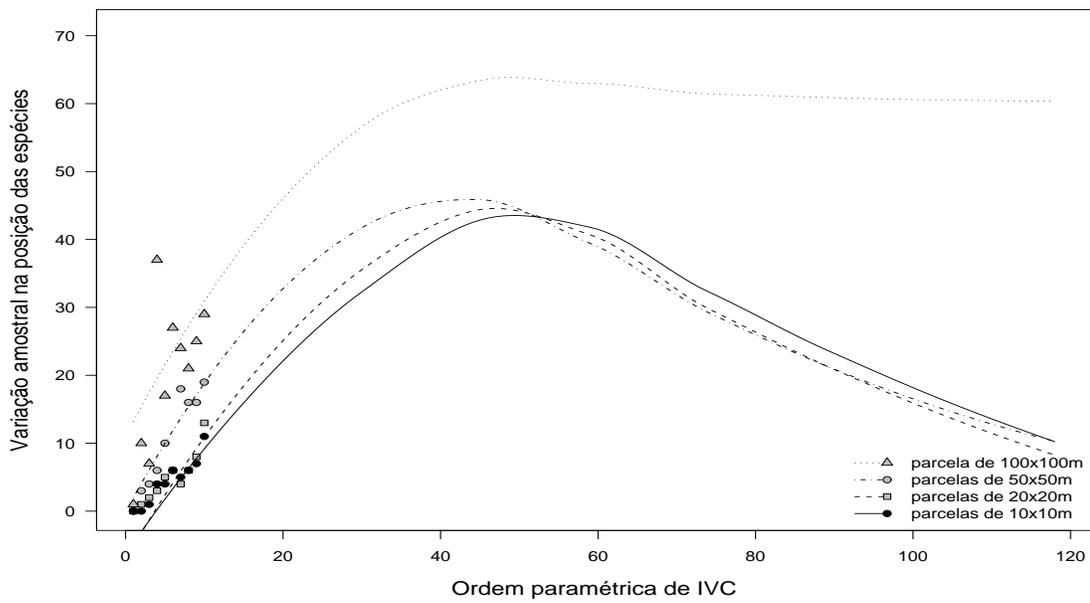
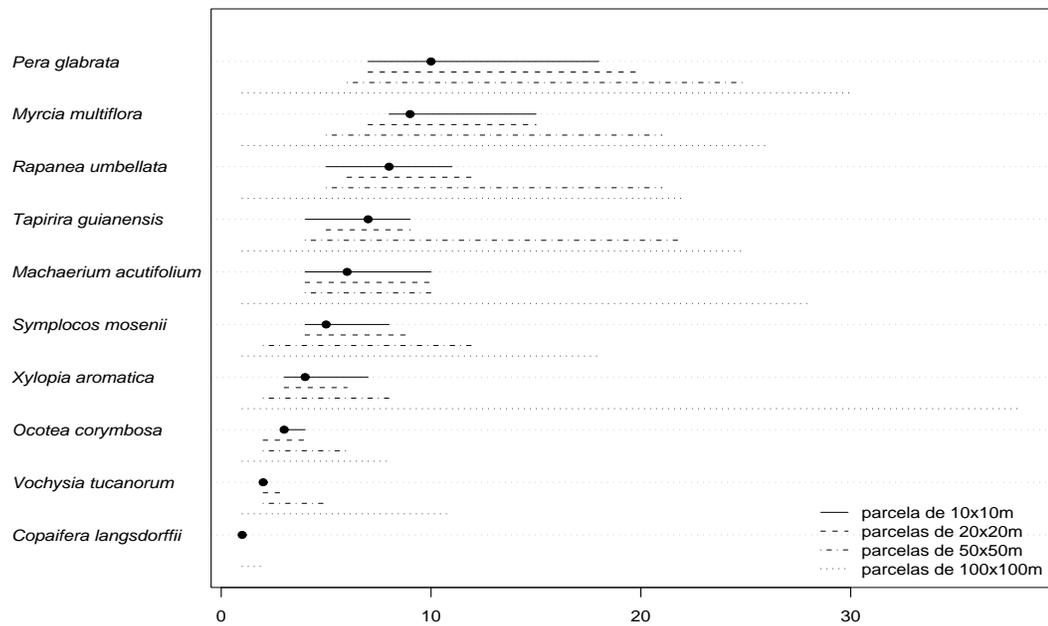


Figura 2.2 – Distribuição do viés para as estimativas de dominância geradas em (a) quatro tamanhos de parcelas quadradas e (b) quatro intensidades amostrais da parcela de 10 x 10 m. Cada ponto representa uma espécie. As linhas horizontais indicam o intervalo de 10% de viés, positivo e negativo

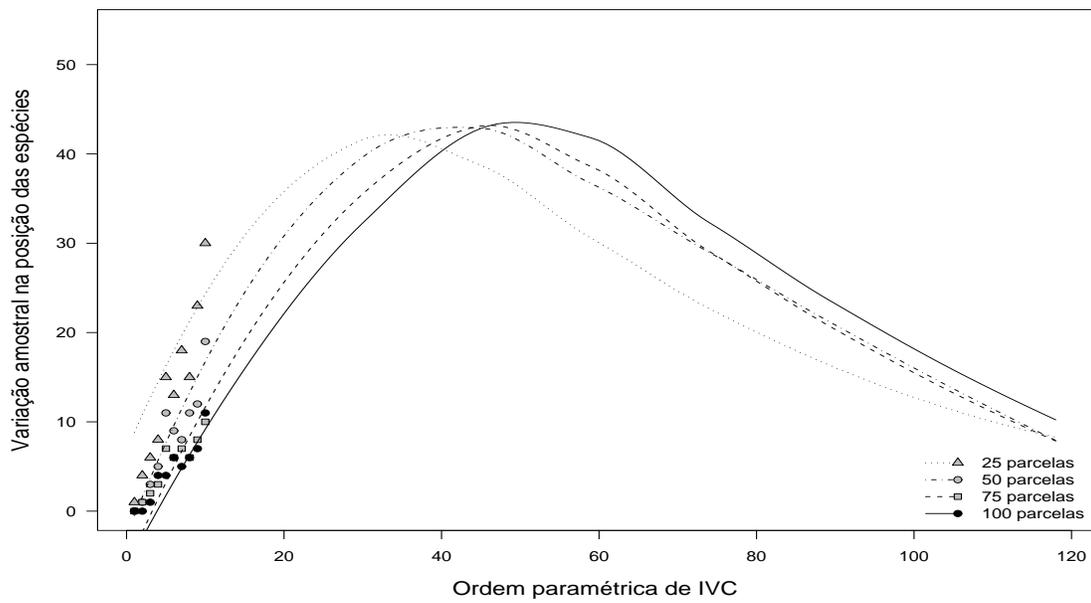


(a)

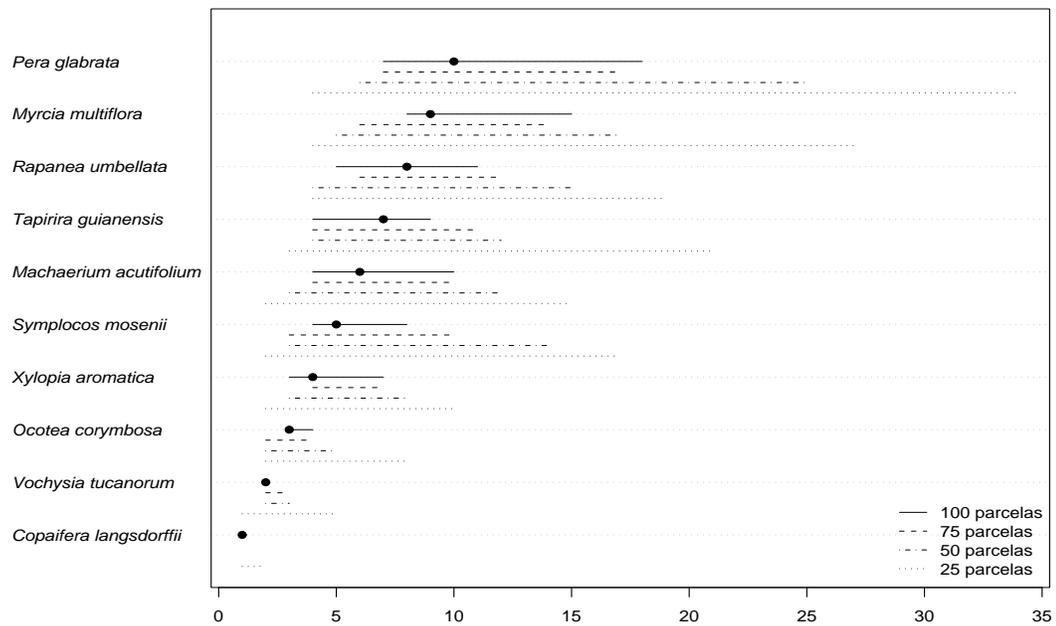


(b)

Figura 2.3 – (a) Alteração da posição das espécies na tabela, para os quatro tamanhos de parcela. Os pontos representam as 10 espécies com maior IVC, em cada método. (b) Amplitude de variação da posição das 10 espécies com maior IVC, para cada tamanho de parcela. Os pontos representam os valores paramétricos de cada espécie



(a)



(b)

Figura 2.4 – (a) Alteração na posição das espécies na tabela, para as intensidades amostrais. Os pontos representam as 10 espécies com maior IVC, em cada intensidade amostral. (b) Amplitude de variação da posição das 10 espécies com maior IVC, para cada intensidade amostral. Os pontos representam os valores paramétricos de cada espécie

2.4 Discussão

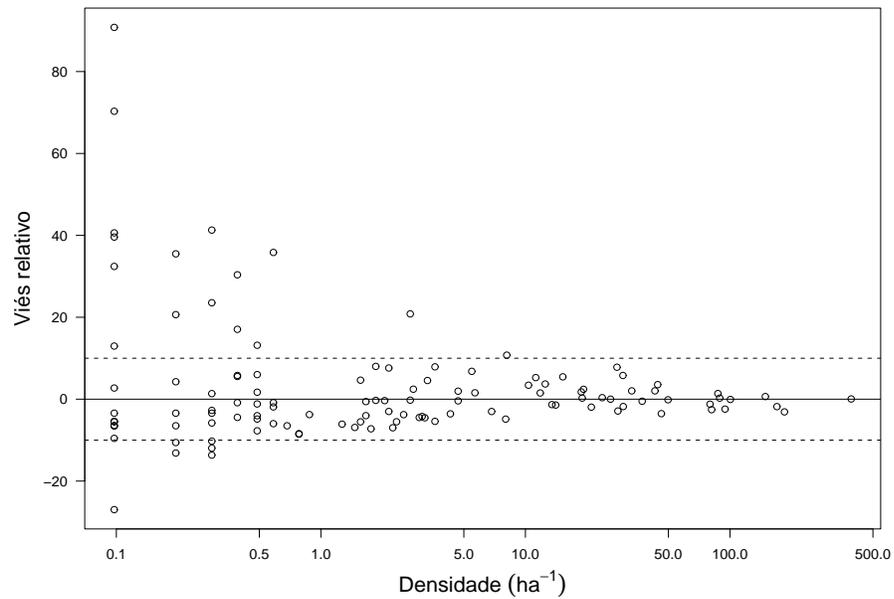
Os resultados encontrados mostram estimativas tanto de densidade quanto de dominância, em sua grande maioria, superestimadas para todos os métodos, em todas as intensidades amostrais. Essa superestimação deve-se ao fato de que quando uma espécie não foi amostrada em uma das 1.000 simulações, ela foi retirada do cálculo da média ao invés de ficar com valor igual a zero, o que faria com que a média caísse, diminuindo assim o viés. Esse procedimento foi adotado por ser o que ocorre em levantamentos reais, onde não são conhecidas todas as espécies da área, para saber quais não foram amostradas.

Para ilustrar a influência da não inclusão de espécies (com valor igual a zero) sobre o viés da sua estimativa de densidade, foi adotado o método de parcelas de 10 x 10 m e intensidade amostral de 100 parcelas. Pode-se observar que o viés passa a ser de subestimação e cai consideravelmente (Figura 2.5b), ficando restrito praticamente às espécies com densidade menor que 1 ha^{-1} . Na prática não é possível discutir e corrigir o viés da estimativa com apenas um levantamento. Mas se for realizada uma meta-análise com dados de diversos levantamentos para estimar a densidade das espécies raras, e se em cada um desses levantamentos as espécies que sabe-se ocorrer na área (por meio de levantamentos florísticos) e que não foram incluídas na amostra, forem adicionadas à tabela de fitossociologia com valor igual a zero, ao comparar com levantamentos em que a espécie foi incluída na amostra, sua densidade será melhor estimada, pois será ponderada pelos levantamentos em que a espécie não foi amostrada, mas sabe-se que ela está na área, e não entrou na amostra justamente por ter baixa densidade.

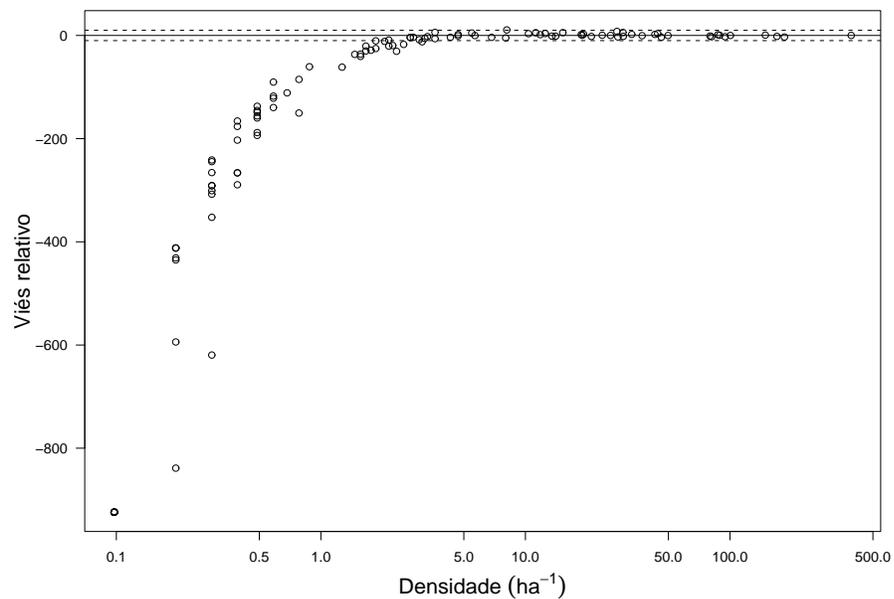
Certamente uma meta-análise exige cuidado, pois comparar levantamentos diferentes implica em lidar com variações de métodos de amostragem, intensidades amostrais e diâmetro de inclusão (DURIGAN; LEITÃO-FILHO, 1995). Mas de qualquer forma, a prática de associar um levantamento florístico à amostragem fitossociológica já é recomendada por acrescentar informações quanto à composição florística da área (DURIGAN; RODRIGUES; SCHIAVINI, 2004; GIBBS; LEITÃO-FILHO; ABBOT, 1980), e como visto nos resultados aqui apresentados, pode contribuir também para uma estimativa menos enviesada dos atributos quantitativos dos levantamentos.

É, portanto, essa característica da floresta, de possuir espécies raras, que faz com que apareça o viés. Como as espécies raras sempre são mal amostradas, pois ora entram na amostra e ora não, e quando entram contribuem com poucos indivíduos, o viés é inevitável. E não adianta aumentar o tamanho da amostra, pois novas espécies serão sempre incluídas, até um limite inviável de amostragem.

É importante ressaltar que o viés só é quantificado quando é possível comparar a estimativa com o valor paramétrico, como feito nesse estudo. A presença de viés pode estar relacionada também a um erro sistemático não amostral, ou seja, um erro atribuído ao procedimento de coleta dos dados,



(a)



(b)

Figura 2.5 – Distribuição do viés para as estimativas de densidade geradas em amostragens de 100 parcelas de 10 x 10 m. Em (a) a média das 1.000 simulações não inclui as espécies que não foram amostradas e em (b) a média inclui as espécies que não foram amostradas, ficando essas com valor igual a zero. A linha contínua marca o ponto zero, ou seja, ausência de viés e as linhas tracejadas indicam o intervalo de 10% de viés, positivo e negativo

como o viés de seleção, onde as unidades amostrais não têm a mesma chance de entrar na amostra (SHIVER; BORDERS, 1996). Nesse estudo, não houve viés de seleção, uma vez que qualquer área dentro dos 10,24ha teve a mesma probabilidade de ser amostrada.

Mesmo apresentando viés para as espécies raras, os métodos que utilizam parcelas menores se destacaram entre os demais. Esse resultado pode ser explicado pela diferença na cobertura espacial de cada método. A Figura 2.6 mostra três exemplos de amostragens sistemáticas, onde a área amostrada é a mesma, mas o tamanho das parcelas e consequentemente o número delas, varia. Dessa forma é possível visualizar como várias parcelas pequenas abrangem melhor a área de estudo do que poucas grandes. Uma ampla cobertura espacial é importante pois, além de incluir mais a diversidade de ambientes da floresta, também amostra melhor as espécies que ocorrem com padrão espacial agrupado, já que a chance de uma parcela grande pegar a mancha inteira da espécie, ou um local em que ela não ocorre, é grande e então o método superestimarão ou subestimarão sua densidade, enquanto que para parcelas pequenas a chance de pegar uma mancha inteira ou um local sem a espécie é bem menor (Figura 2.6).

Com relação às intensidades amostrais, a diminuição da área amostrada no método que gerou menor viés ressalta a importância de definir *raridade*, em face à intensidade amostral utilizada no levantamento. Se a área amostrada foi 1/4 de hectare, como nas 25 parcelas de 10 x 10 m, toda espécie que entrar com um único indivíduo na amostra terá sua densidade estimada em 4 ha^{-1} , quando sabe-se que na área ocorrem espécies com $0,1 \text{ ha}^{-1}$, ou seja, espécies que têm apenas um indivíduo numa área de 10ha e que, portanto, podem ter densidade menor ainda se uma área maior for amostrada. Para essas espécies extremamente raras não é possível afirmar sua densidade com uma amostragem de *apenas* 10ha, e menos ainda com uma amostragem de 0,25ha. Diante dessa constatação é simples entender um viés de 4.000% na estimativa da densidade de *Aspidosperma tomentosum*, por exemplo, que tem apenas um indivíduo em toda a parcela, como mais 15 espécies.

Se forem consideradas espécies raras aquelas que ocorrem com densidades menores que 1 ha^{-1} (KAGEYAMA; GANDARA, 2004), na parcela permanente 45% das espécies (53 espécies) são raras, e compõem 0,8% dos indivíduos. Aumentando esse grupo para as espécies com densidade menor que 3 ha^{-1} , que são as espécies com estimativas com viés superior a |10%| no melhor delineamento avaliado (100 parcelas de 10x10m), esse número sobe para 71 espécies (60% das espécies e 2,5% do total de indivíduos).

Por outro lado, 4% das espécies (5 espécies) são responsáveis por 47% do total de indivíduos na parcela permanente. Esse (des)balanceamento entre o número de espécies e o número de indivíduos é bastante comum em florestas tropicais (KAGEYAMA; GANDARA, 2004) e representa um desafio para o estudo desses ambientes.

Da mesma forma, ordenar as espécies pelo IVI ou IVC e usar essa ordem para retratar a floresta também é um procedimento que está sujeito a grandes erros. Muitos estudos fitossociológicos

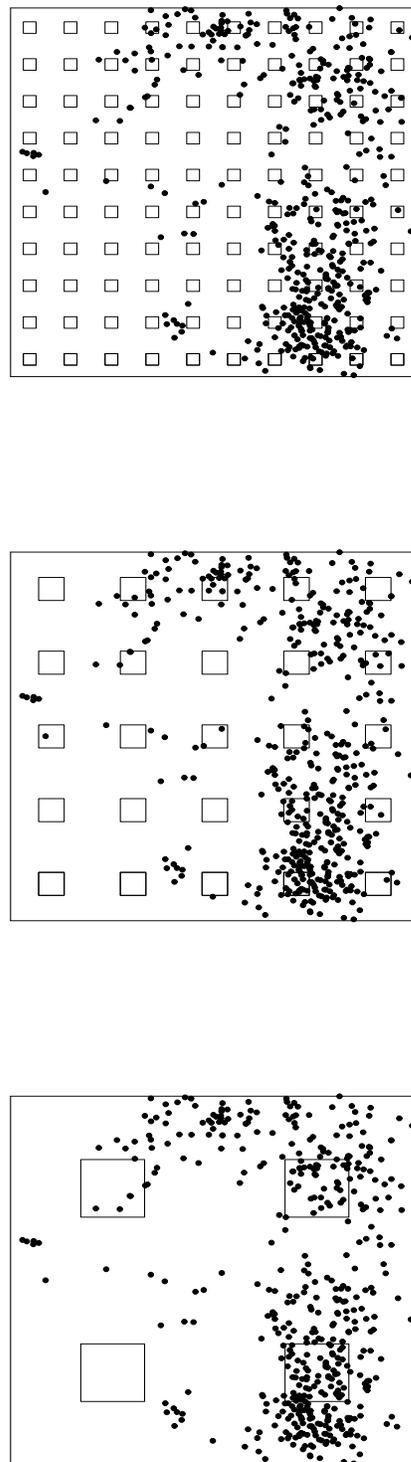


Figura 2.6 – Demonstração da cobertura espacial em diferentes métodos de amostragem. Amostragem de 1 ha em cada método (100 parcelas de 10 x 10 m, 25 parcelas de 20 x 20 m e 4 parcelas de 50 x 50 m). Cada ponto representa um indivíduo da espécie *Qualea cordata*

discutem as dez primeiras espécies com maior IVI e os resultados desse trabalho mostram que, até mesmo nos melhores delineamentos, as 10 primeiras espécies estão sujeitas a variações de até 10 posições na tabela, ou seja, uma espécie pode estar do 4º ao 14º lugar na tabela, sem que isso seja por consequência do método empregado. Já em delineamentos com baixa intensidade amostral, ou com parcelas grandes, existem variações de mais de 10 posições já entre as 10 primeiras espécies.

Toda essa variação, mesmo entre espécies comuns, pode estar associada ao fato de que espécies com padrão espacial agrupado podem ser consideradas raras em algumas amostras e comuns em outras. Como discutido anteriormente, uma grande abrangência espacial da área pode minimizar essa característica, mas não vai remediá-la por completo.

2.5 Conclusão

A raridade das espécies deve ser definida com base na intensidade amostral, ou seja, para assumirmos que espécie rara é aquela que ocorre com menos de 1 ha^{-1} , precisamos de uma amostragem bem superior a 1 hectare. Mesmo assim, as espécies com baixa densidade sempre terão estimativas enviesadas.

Espécies com padrão espacial agrupado podem ser consideradas comuns em algumas amostras e raras em outras, resultando em ordenações de IVC bastante distintas, sendo que portanto, a posição das espécies na tabela de fitossociologia não está ligada apenas ao padrão de raridade em que a espécie ocorre, mas também ao seu padrão espacial.

Referências

BITTERLICH, W. **The relascope idea**: relative measurement in forestry. London: Slough, 1984. 236p.

CAIN, S.A.; CASTRO, G. M. O.; PIRES, J. M.; SILVA, N. T. Application of some phytossociological techniques to Brazilian rain forest. **American Journal of Botany**, New York, v.43, n.10, p.911-941, Dec. 1956.

COTTAM, G.; CURTIS, J.T. The use of distance-measures in phytossociological sampling. **Ecology**, Brooklyn, v.37, n.3, p.451-460, Jul. 1956.

DURIGAN, G.; LEITÃO-FILHO, H.F. Florística e fitossociologia de matas ciliares do oeste paulista. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.7, n.2, p.197-239, 1995.

DURIGAN, G.; RODRIGUES, R.R.; SCHIAVINI, I. A heterogeneidade ambiental definindo a metodologia de amostragem da floresta ciliar. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO-FILHO, H.F. (Ed.). **Matas ciliares**. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2004. cap. 14, p.159-167.

GIBBS, P.E; LEITÃO-FILHO, H.F.; ABBOT, R.J. Application of the point centered quarter method in a floristic survey of an area of gallery forest at Mogi-Guaçu, SP, Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.3, p.17-22, Dec. 1980.

KAGEYAMA, P; GANDARA, F.B. Recuperação de áreas ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO-FILHO, H.F. (Eds). **Matas ciliares**. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2004. cap 15.2, p.249-269.

MARTINS, F.R. Fitossociologia de florestas do Brasil: um histórico bibliográfico. **Pesquisas - Série Botânica**, São Leopoldo, v.40, p.103-164, 1989.

MARTINS, F.R. **O método de quadrantes e a fitossociologia de uma floresta residual do interior do estado de São Paulo**: Parque Estadual de Vassununga. 1979. 239p. Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1979.

MÜELLER-DOMBOIS, D.; ELLEMBERG, H. **Aims and methods of vegetation analysis**. New York:Wiley, 1974. 574p.

PAGANO, S.N.; LEITÃO-FILHO, H.F.; CAVASSAN, O. Variação temporal da composição florística e estrutura fitossociológica de uma floresta Mesófila Semidecídua. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v.55, n.2, p.241-258, nov. 1995.

R Development Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, 2006. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 20 Jul. 2006.

ROCHA, F.T. **Levantamento florestal na Estação Ecológica dos Caetetus como subsídio para laudos de desapropriação ambiental**. 2003. 172p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

RODRIGUES, R.R. **Relatório Temático do Projeto Parcelas Permanentes**. Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal, ESALQ/USP. Piracicaba, 2005. Disponível em: <<http://www.lerf.esalq.usp.br/parrel2005.php>>. Acesso em: 19 out. 2005.

SHIVER, B.D.; BORDERS, B.E. **Sampling techniques for forest resource inventory**. New York: John Wiley, 1996. 356p.

VANINI, A. **Estudo comparativo de dois métodos de amostragem fitossociológica em caixetais (floresta ombrófila densa permanentemente alagada)**. 1999. 120p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

3 INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL NAS ESTIMATIVAS

Resumo

Os indivíduos arbóreos de cada espécie podem se distribuir de maneira completamente aleatória no espaço, de forma regular ou de forma agrupada, sendo essa última a mais comum em florestas tropicais. A distribuição agrupada pode se dar em diversos níveis e é um contínuo que se distancia do aleatório. Espécies com distribuição espacial agrupada podem ser consideradas mais ou menos abundantes, em diferentes amostras, resultando em estimativas pouco confiáveis dos índices fitossociológicos. Com a intenção de avaliar a influência da distribuição espacial nas estimativas fitossociológicas, as 118 espécies incluídas no censo de uma parcela permanente de 10,24 ha foram divididas em classes de densidade, e dentro de cada classe foram escolhidas espécies com distribuições espaciais diferentes. O tipo de distribuição espacial foi determinado pelo Índice de Dispersão. Uma vez escolhidas as espécies, foram avaliadas as estimativas geradas em 1.000 simulações de amostragens sistemáticas utilizando 100 parcelas de 10 x 10 m. Para as espécies com densidade muito baixa ($< 1 \text{ ha}^{-1}$) não há como associar a influência da distribuição espacial à presença de viés e assimetria, uma vez que essas espécies são mal amostradas, resultando em grande viés de suas estimativas, para qualquer que seja a distribuição espacial. Para as espécies com densidades intermediárias (1 a 100 ha^{-1}), foi constatado que aquelas que possuem distribuições espaciais mais agrupadas apresentam distribuições da estimativa de densidade mais assimétricas. E para as espécies que ocorrem em grandes densidades ($> 100 \text{ ha}^{-1}$), a característica de agrupamento não influencia as estimativas, pois essas espécies sempre contribuirão com muitos indivíduos na amostra. Mesmo assim, as distribuições das estimativas geradas são bastante assimétricas, dificultando o uso de medidas de incerteza, como o intervalo de confiança.

Palavras-chave: Distribuição espacial de espécies arbóreas; Estimativa de densidade; Fitossociologia

Abstract

There are three basic spatial patterns that are recognized for plant species distribution: completely random, regular and clustered. Tree species in tropical forests usually show a clustered pattern, but one can identify several degrees of aggregation among tree species and probably there is a continuum from completely random pattern towards aggregation. Tree species with clustered pattern can be considered more or less abundant depending on the sampling data obtained and, as result of the spatial pattern, the estimates of phytosociological measures can have low reliability. To study the influence of spatial pattern on the estimation of phytosociological measures, it was used data from a permanent plot of 10.24 ha where all trees with DBH ≥ 5 cm were measured and mapped. The 118 tree species found in the plot were classified in classes of density (abundance) and in each density class species with different spatial pattern were selected to investigate the statis-

tical behavior of the estimates of phytosociological measures. Poisson dispersion index was used to classify the spatial pattern of tree species and 1,000 simulations of a systematic sampling with 100 plots of 10×10 m were generated from the permanent plot. Species with very low density ($< 1 \text{ ha}^{-1}$) showed very large bias in density estimation and, independently of spatial pattern, all were very poorly sampled resulting in bimodal or trimodal estimate distributions. Spatial pattern had a clear influence on the estimates of intermediate density species ($1 \text{ a } 100 \text{ ha}^{-1}$), where species with more clustered pattern showed more skewed estimate distribution, but not necessarily larger bias. Among the species with high density ($> 100 \text{ ha}^{-1}$), spatial pattern does not seem to play an important role and although these species have little estimation bias, the asymmetry in the estimate distribution is enough to limit the application of standard measures of estimate uncertainty, such as confidence intervals.

Keywords: Density; Phytosociology; Trees spatial distribution

3.1 Introdução

A importância de levar em consideração a distribuição espacial dos indivíduos nos estudos de vegetação é salientada em muitos trabalhos, e não se trata de uma novidade (CURTIS; McINTOSH, 1950; GOODALL, 1970; GREIG-SMITH, 1979; entre outros), sendo que Goodall (1970) afirmou que “a ecologia vegetal diz respeito essencialmente a descrever e explicar a distribuição espacial das plantas”.

A distribuição espacial dos indivíduos arbóreos pode variar da completa aleatoriedade a níveis de agrupamento (KREBS, 1999), sendo que a completa aleatoriedade é uma exceção nas formações naturais, e a heterogeneidade espacial é uma das poucas generalizações que podem ser feitas acerca da vegetação (GREIG-SMITH, 1979).

Mas uma vez constatado que as florestas tropicais são compostas por muitas espécies e que essas espécies tendem a se distribuir de forma agrupada no espaço (HUBBEL, 1979), é de se esperar que essa estrutura espacial tenha influência na amostragem dessas espécies (GOSLEE, 2006).

Como demonstrado e discutido no capítulo anterior, as estimativas dos índices fitossociológicos são fortemente influenciadas não apenas pelo tamanho da amostra, mas pela distribuição espacial das unidades amostrais, sendo que métodos que abrangem mais a área estudada tendem a gerar menor viés para mais espécies. Outro fator que contribui para a presença de viés é a baixa densidade, uma vez que as espécies raras apresentaram alto viés em todos os métodos analisados.

Ainda com relação aos dados apresentados no Capítulo 2, até mesmo as espécies comuns apresentaram variações nas estimativas, resultando em grandes alterações de suas posições na tabela de fitossociologia, levando a crer que uma mesma espécie pode ser considerada mais ou menos abundante em diferentes amostras. Além disso, em faixas de densidade intermediárias, espécies com mesma densidade apresentaram diferenças na magnitude do viés de suas estimativas. Essas

constatações evidenciam a influência da distribuição espacial nas estimativas dos índices fitossociológicos.

Em face aos resultados obtidos com a primeira parte desse estudo, o objetivo do presente capítulo foi detectar se há influência da distribuição espacial das espécies nas estimativas geradas em levantamentos fitossociológicos. Para tanto, foi feita uma análise comparativa entre as estimativas obtidas para espécies de mesma classe de densidade, mas com distribuições espaciais diferentes.

3.2 Material e Método

3.2.1 Conjunto de dados

Os dados são provenientes de simulações de levantamentos fitossociológicos, em uma parcela permanente de 10,24 ha (320 x 320 m). A parcela permanente está instalada em uma área de cerrado, na Estação Ecológica de Assis, SP e faz parte do projeto temático “Diversidade, dinâmica e conservação em florestas do Estado de São Paulo: 40 ha de parcelas permanentes” (BIOTA/FAPESP 1999/09635-0). Todos os indivíduos arbustivo-arbóreos com $CAP \geq 15$ cm foram marcados, georreferenciados, medidos e identificados, totalizando 21.861 indivíduos, pertencentes a 118 espécies.

Foram simuladas computacionalmente 1.000 amostras de levantamentos fitossociológicos, utilizando amostragem sistemática com início aleatório, em uma grade de 100 parcelas de 10 x 10 m. Cada uma das 1.000 amostras gerou uma tabela de fitossociologia. Para quantificar o viés das estimativas de densidade, a média nas 1.000 amostras, para cada espécie, foi subtraída das respectivas densidades encontradas na parcela permanente toda (valores paramétricos). Esse viés foi depois apresentado em valores relativos, para que fosse comparável entre espécies de densidades muito diferentes.

3.2.2 Escolha das espécies

Dentre as 118 espécies incluídas no censo da parcela permanente, foram escolhidas algumas para serem analisadas individualmente. A escolha dessas espécies baseou-se no objetivo de comparar as estimativas geradas para espécies com densidades próximas, mas com distribuições espaciais diferentes. Foram definidos quatro grupos de densidade:

Espécies ocasionais - densidade de até 1 ha^{-1} ;

Espécies comuns - densidade de 1 a 10 ha^{-1} ;

Espécies constantes - densidade de 10 a 100 ha^{-1} ;

Espécies abundantes - densidade acima de 100 ha^{-1} .

Os limites de densidade de cada grupo estão associados ao tamanho da amostra, que foi de 1 ha (100 parcelas de 10 x 10 m). As espécies que possuem densidades menores que 1 ha^{-1} são consideradas ocasionais, uma vez que sua tendência é não entrar na amostra, devido à baixa densidade; já as espécies com densidades maiores que 1 ha^{-1} certamente serão incluídas na amostra. Foi estabelecido o limite de 10 ha^{-1} para aquelas que têm maior tendência a entrar na amostra do que não entrar. O intervalo de 10 ha^{-1} a 100 ha^{-1} compreende aquelas espécies que sempre estarão na amostra e acima de 100 ha^{-1} são aquelas espécies que não só sempre estarão na amostra, mas estarão com muitos indivíduos.

Sendo a densidade uma variável contínua, as espécies que possuem densidades próximas dos limites de cada grupo podem se comportar de diferentes maneiras. Essa categorização, no entanto, permite estabelecer classes para comparações.

A determinação da distribuição espacial foi feita pelo Índice de Dispersão, que é obtido pela divisão da variância da densidade da espécie pela sua média (KREBS, 1999). Índices ao redor de 1 indicam distribuição espacial aleatória; índices menores que 1 indicam distribuição espacial regular e índices maiores que 1 indicam distribuição espacial agrupada. A intenção do uso desse índice não foi caracterizar a distribuição espacial de cada espécie, mas apenas identificar espécies com distribuições espaciais diferentes, dentro do mesmo grupo de densidade.

3.2.3 Análise dos resultados

Foram gerados gráficos de densidade probabilística para as estimativas de densidade das espécies escolhidas. Esses gráficos são construídos através de estimativa de densidade de kernel, onde uma estimativa de frequência contínua é gerada de forma análoga a um histograma e as classes são substituídas por uma classe que se move continuamente (VENABLES; RIPLEY, 1994). Esses gráficos mostram curvas de densidade probabilística baseadas em dados, possibilitando visualizar a distribuição gerada pelo estimador. Nesses mesmos gráficos foram plotados o valor paramétrico e a média das 1.000 simulações, sendo que a diferença entre esses valores é o viés absoluto da estimativa.

Todas as análises, inclusive as simulações, foram feitas utilizando o programa computacional R (R Development Core Team, 2006).

3.3 Resultados

3.3.1 Espécies escolhidas

Para a escolha das espécies, o Índice de Dispersão foi plotado contra os valores de densidade, possibilitando visualizar os quatro grupos (Figura 3.1). Dessa forma foram escolhidas as espécies de acordo com a densidade e a distribuição espacial. Na Figura 3.1 as espécies escolhidas estão em

destaque e constam na Tabela 3.1¹. Como o grupo das espécies abundantes possui apenas quatro espécies, todas foram analisadas. Na Tabela 3.2 estão todas as espécies e os respectivos valores de viés relativo para as estimativas de densidade, possibilitando comparar a magnitude do viés entre elas. Como o cálculo do viés é feito pela subtração do valor paramétrico menos a média da estimativa, valores negativos indicam superestimação e valores positivos indicam subestimação.

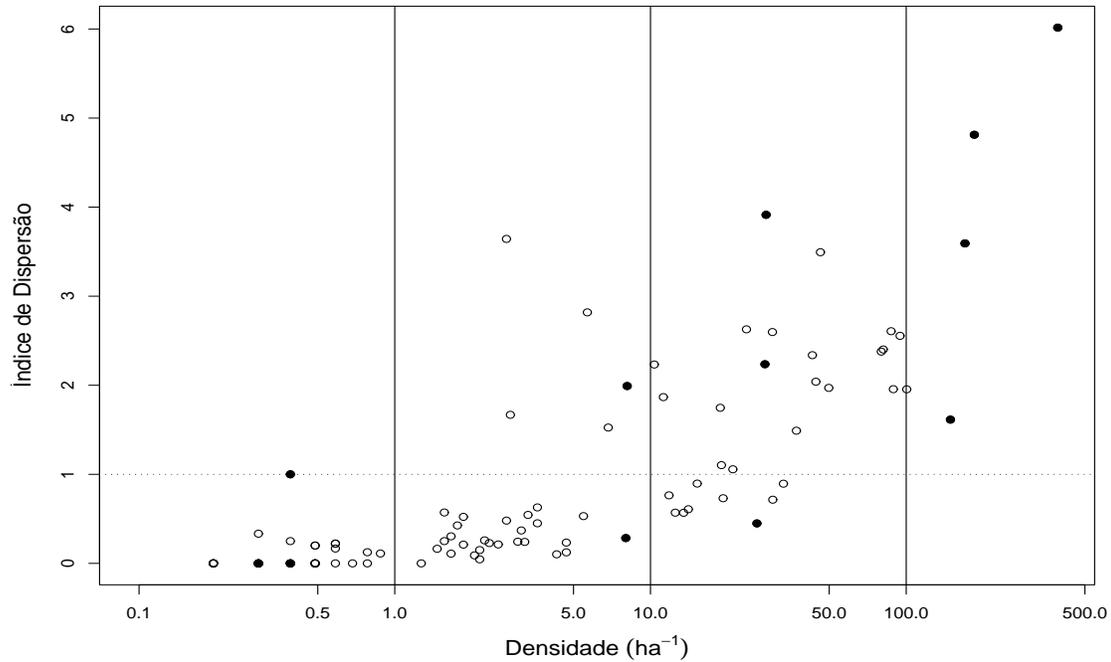


Figura 3.1 – Índice de dispersão e densidade de cada uma das espécies presentes na parcela permanente. Cada círculo representa uma espécie e os círculos cheios representam as espécies escolhidas para serem analisadas individualmente. Existem círculos sobrepostos, ou seja, espécies com mesma densidade e mesmo Índice de Dispersão

¹A grafia e autoria das espécies foi checada no site do Missouri Botanical Garden (<http://www.mobot.org>)

Tabela 3.1 – Espécies escolhidas, em cada classe de densidade, para estudo individual das estimativas de densidade geradas em levantamentos fitossociológicos empregando 100 parcelas de 10 x 10 m

| Densidade | Distribuição espacial | |
|-----------|---|---|
| | Agrupada | Aleatória |
| Ocasional | <i>Actinostemon communis</i> (Müll. Arg.) Pax <i>Eugenia moraviana</i> O. Berg | <i>Byrsonima basiloba</i> A. Juss. <i>Licania humilis</i> Cham. & Schltdl. |
| Comum | <i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk. | <i>Piptocarpha axillaris</i> (Less.) Baker |
| Constante | <i>Rapanea lancifolia</i> (Mart.) Mez <i>Siparuna guianensis</i> Aubl. | <i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman |
| Abundante | <i>Copaifera langsdorffii</i> Desf. <i>Vochysia tucanorum</i> Mart. | <i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart. <i>Ocotea corymbosa</i> (Meisn.) Mez |

Tabela 3.2 – Espécies escolhidas em cada classe de densidade e respectivos valores de viés relativo para as estimativas de densidade geradas em levantamentos fitossociológicos empregando 100 parcelas de 10 x 10 m

| Densidade | Espécie | Viés relativo (%) |
|-----------|-------------------------------|-------------------|
| Ocasional | <i>Actinostemon communis</i> | -216,14 |
| | <i>Byrsonima basiloba</i> | -202,92 |
| | <i>Eugenia moraviana</i> | -241,33 |
| | <i>Licania humilis</i> | -619,39 |
| Comum | <i>Matayba elaeagnoides</i> | 10,66 |
| | <i>Piptocarpha axillaris</i> | -4,87 |
| Constante | <i>Rapanea lancifolia</i> | -2,89 |
| | <i>Syagrus romanzoffiana</i> | 0 |
| | <i>Siparuna guianensis</i> | 7,80 |
| Abundante | <i>Copaifera langsdorffii</i> | 0 |
| | <i>Xylopia aromatica</i> | -1,82 |
| | <i>Vochysia tucanorum</i> | -3,10 |
| | <i>Ocotea corymbosa</i> | 0,64 |

3.3.2 Espécies ocasionais

Esse grupo é composto por 53 espécies (45% do total de espécies da área) e as escolhidas foram: *Licania humilis*, *Byrsonima basiloba*, *Eugenia moraviana* e *Actinostemon communis*, sendo que as duas primeiras possuem distribuição espacial aleatória e as demais distribuição espacial agrupada (Figura 3.2). Foram escolhidas duas espécies em cada categoria pois a espécie *E. moraviana* apresentou menor viés que a espécie *L. humilis*, quando o esperado seria o contrário, se levarmos em consideração que espécies com distribuição espacial aleatória estão menos sujeitas a viés do que aquelas com distribuição espacial agrupada.

Na Figura 3.3 estão os gráficos de densidade probabilística das estimativas de densidade das espécies. A espécie *E. moraviana* foi incluída em 301 das 1.000 amostras simuladas e em todas elas com apenas 1 indivíduo, sendo que na parcela permanente existem 3 indivíduos dessa espécie (Densidade = $0,3 \text{ ha}^{-1}$). A espécie *A. communis* foi incluída em 147 amostras simuladas, com 1 indivíduo e 111 amostras simuladas, com 2 indivíduos, sendo que na parcela permanente existem 4 indivíduos dessa espécie (Densidade = $0,4 \text{ ha}^{-1}$).

A espécie *L. humilis* foi incluída em 54 amostras simuladas, com 1 indivíduo, 33 com 2 indivíduos e 71 com 3 indivíduos, sendo que sua densidade na parcela permanente é de $0,3 \text{ ha}^{-1}$. A espécie *B. basiloba* foi incluída em 311 das 1.000 amostras simuladas, sendo que em 255 com 1 indivíduo, 55 com 2 indivíduos e 1 com 3 indivíduos. Na parcela permanente sua densidade é de $0,4 \text{ ha}^{-1}$.

3.3.3 Espécies comuns

As espécies comuns escolhidas foram: *Matayba elaeagnoides* e *Piptocarpha axillaris*, sendo que a primeira possui distribuição espacial agrupada e a segunda distribuição espacial aleatória (Figura 3.4). A espécie com distribuição espacial agrupada (*M. elaeagnoides*) apresenta viés de superestimação e a espécie com distribuição espacial aleatória (*P. axillaris*) apresenta viés de subestimação (Figura 3.5 e Tabela 3.2). O viés observado aqui, entretanto, é bem menor em termos relativos que o observado nas espécies ocasionais e não pode mais ser atribuído ao efeito da baixa densidade. Nesse grupo existem 32 espécies, que correspondem a 27% das espécies da área.

A espécie *M. elaeagnoides* foi incluída em 999 das 1.000 amostras simuladas e a espécie *P. axillaris* foi incluída em todas as 1.000 amostras. A Figura 3.5 mostra os gráficos de densidade probabilística para as estimativas de densidade dessas espécies. A espécie *P. axillaris* apresenta assimetria na distribuição das estimativas, mas essa assimetria é bem menos acentuada do que aquela presente na distribuição das estimativas para *M. elaeagnoides*, uma característica esperada, pelo fato de que *M. elaeagnoides* possui uma distribuição espacial agrupada, confirmando a hipótese de que a distribuição espacial tem influência na qualidade da estimativa.

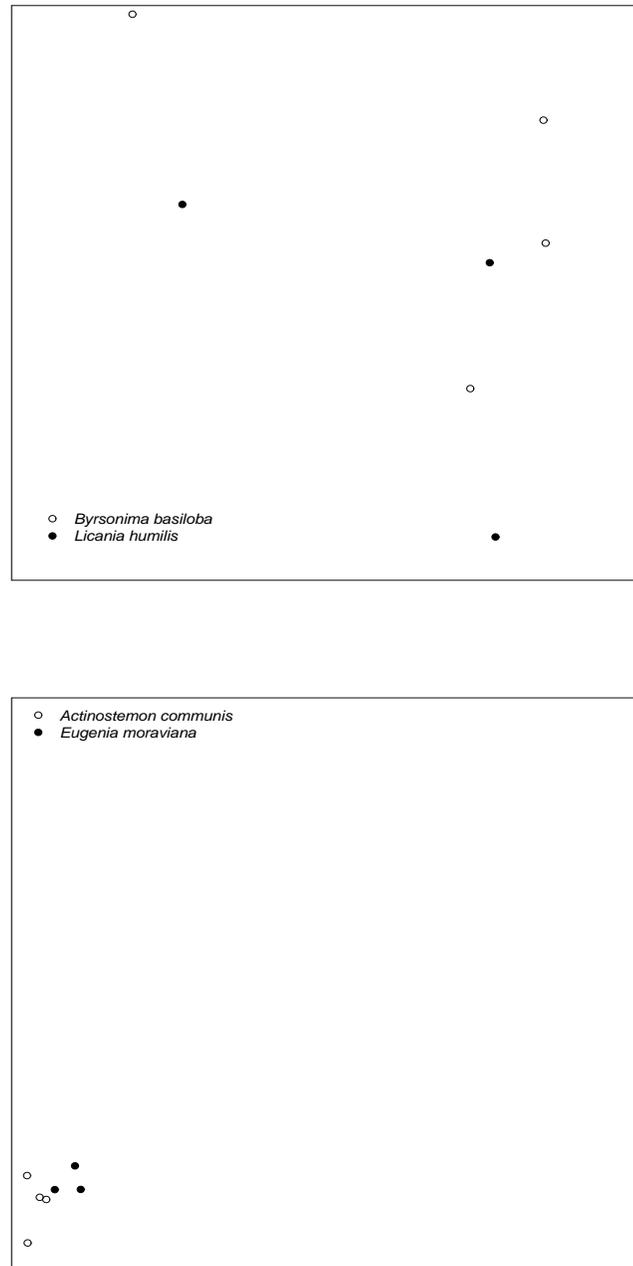


Figura 3.2 – Mapas de distribuição, na parcela permanente, das quatro espécies ocasionais avaliadas, sendo que os indivíduos das duas espécies com distribuição espacial aleatória foram plotados em uma mapa e aqueles das duas espécies com distribuição espacial agrupada foram plotadas em outro

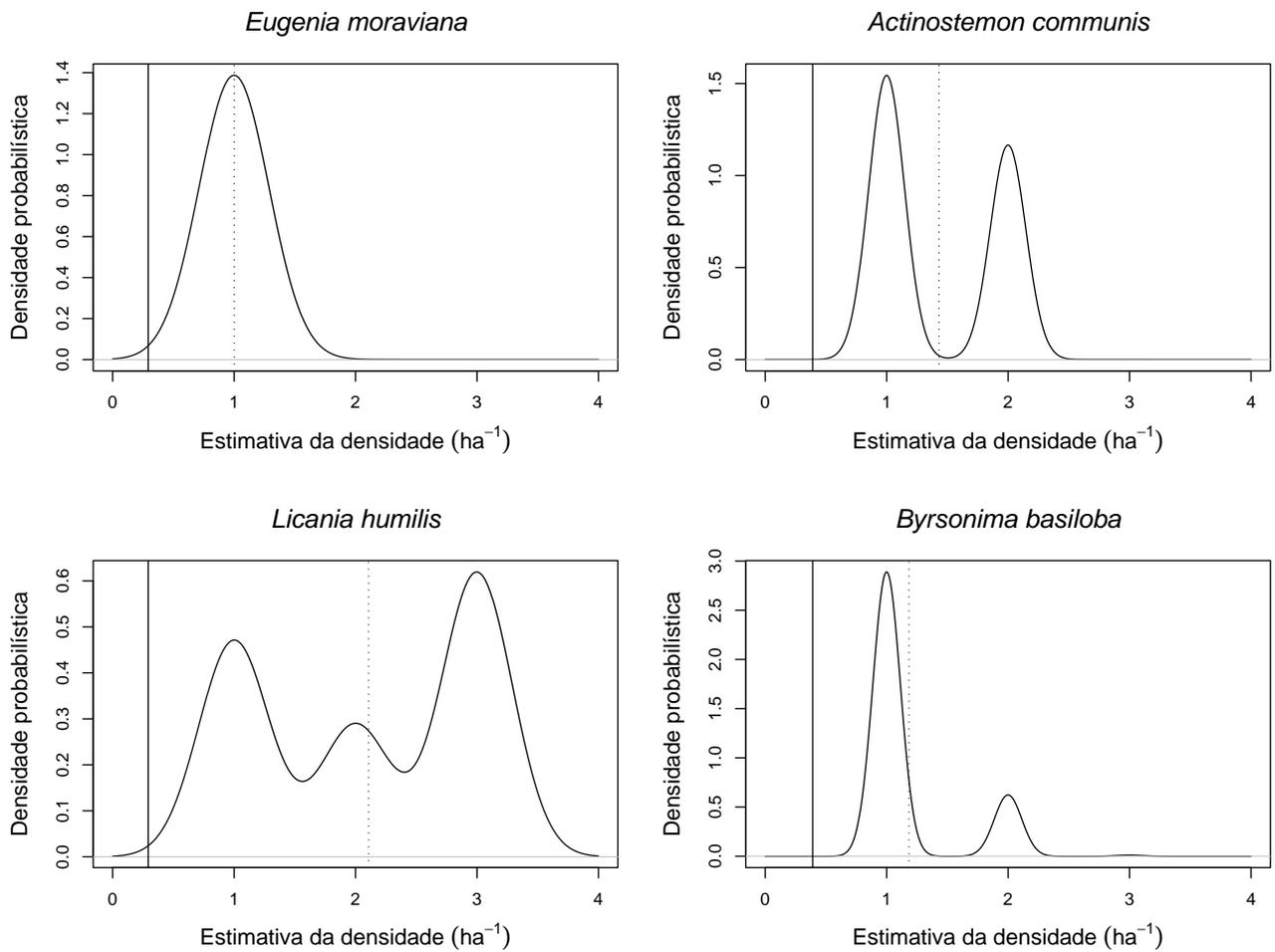


Figura 3.3 – Gráficos de densidade probabilística das estimativas de densidade para as espécies ocasionais avaliadas. A linha contínua marca o valor paramétrico e a linha tracejada marca a média de densidade nas 1.000 simulações

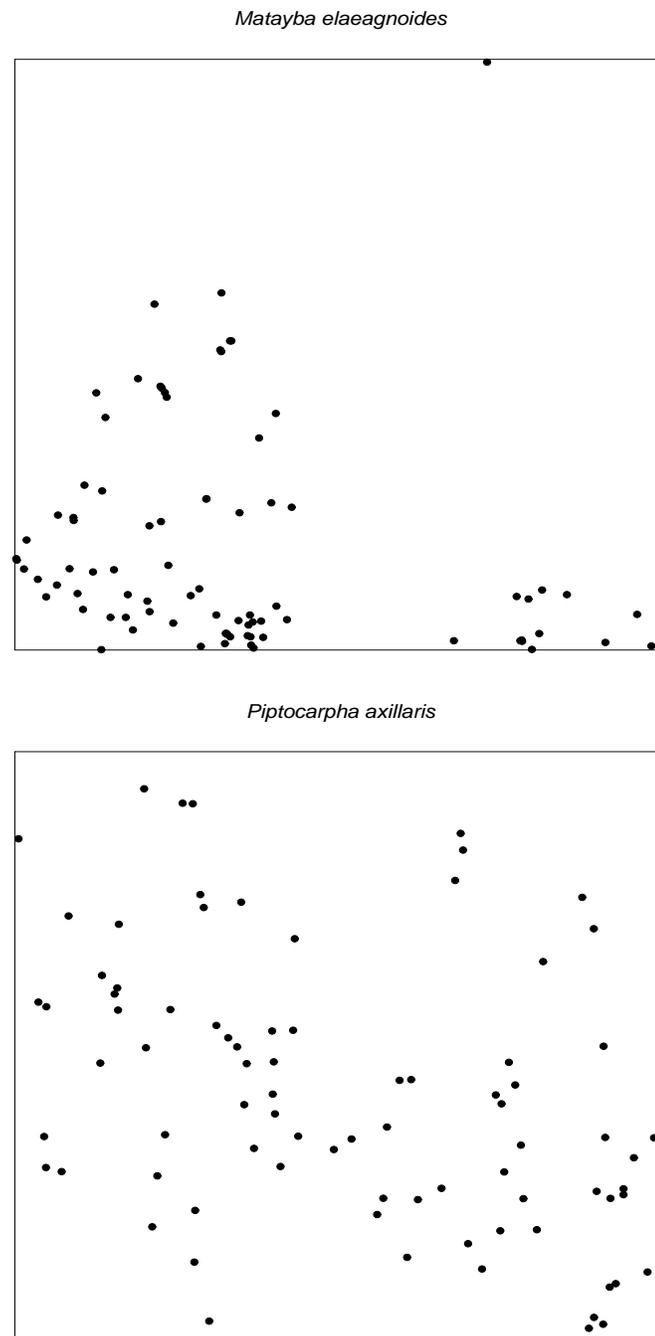


Figura 3.4 – Mapas de distribuição, na parcela permanente, das duas espécies comuns avaliadas. Os indivíduos de cada espécie foram plotados em mapas separados para facilitar sua visualização

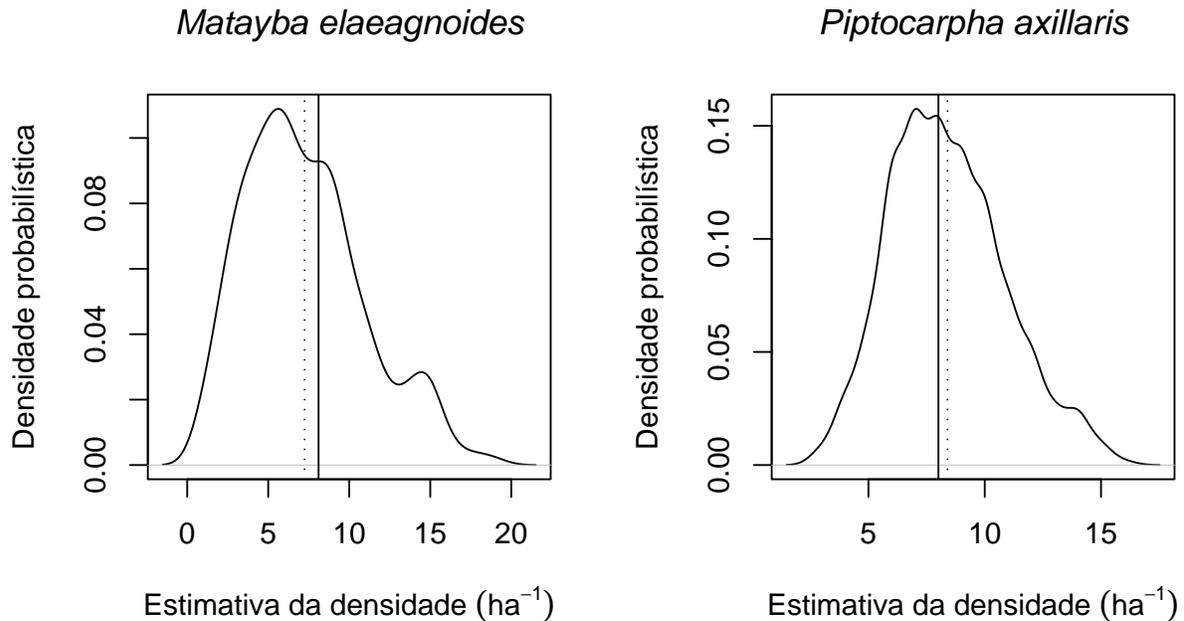


Figura 3.5 – Gráficos de densidade probabilística das estimativas de densidade para as espécies comuns avaliadas. A linha contínua marca o valor paramétrico e a linha tracejada marca a média de densidade nas 1.000 simulações

3.3.4 Espécies constantes

As espécies constantes escolhidas foram: *Rapanea lancifolia*, *Siparuna guianensis* e *Syagrus romanzoffiana*, sendo que a primeira possui distribuição espacial fortemente agrupada, a segunda também distribuição espacial agrupada e a terceira distribuição espacial aleatória (Figura 3.6). Nesse grupo existem 29 espécies, que correspondem a 24% das espécies da parcela permanente. Foram escolhidas duas espécies com distribuição espacial agrupada devido à diferença do viés nas estimativas de densidade dessas espécies, sendo que *R. lancifolia* possui alto viés de subestimação e *S. guianensis* possui viés menor, mas de superestimação; a espécie *S. romanzoffiana*, como esperado, não apresentou viés, pois trata-se de uma espécie com muitos indivíduos amostrados e distribuição espacial aleatória (Tabela 3.2).

A Figura 3.7 mostra os gráficos de densidade probabilística para as estimativas de densidade das espécies. As três espécies foram incluídas nas 1.000 amostras simuladas. As espécies com distribuição espacial agrupada (*R. lancifolia* e *S. guianensis*) apresentaram maior assimetria na distribuição das estimativas que, no entanto, é bem menor que a assimetria presente nas espécies ocasionais e não difere muito da assimetria encontrada para as espécies comuns, sendo inclusive mais acentuada, como observado para *S. guianensis*.

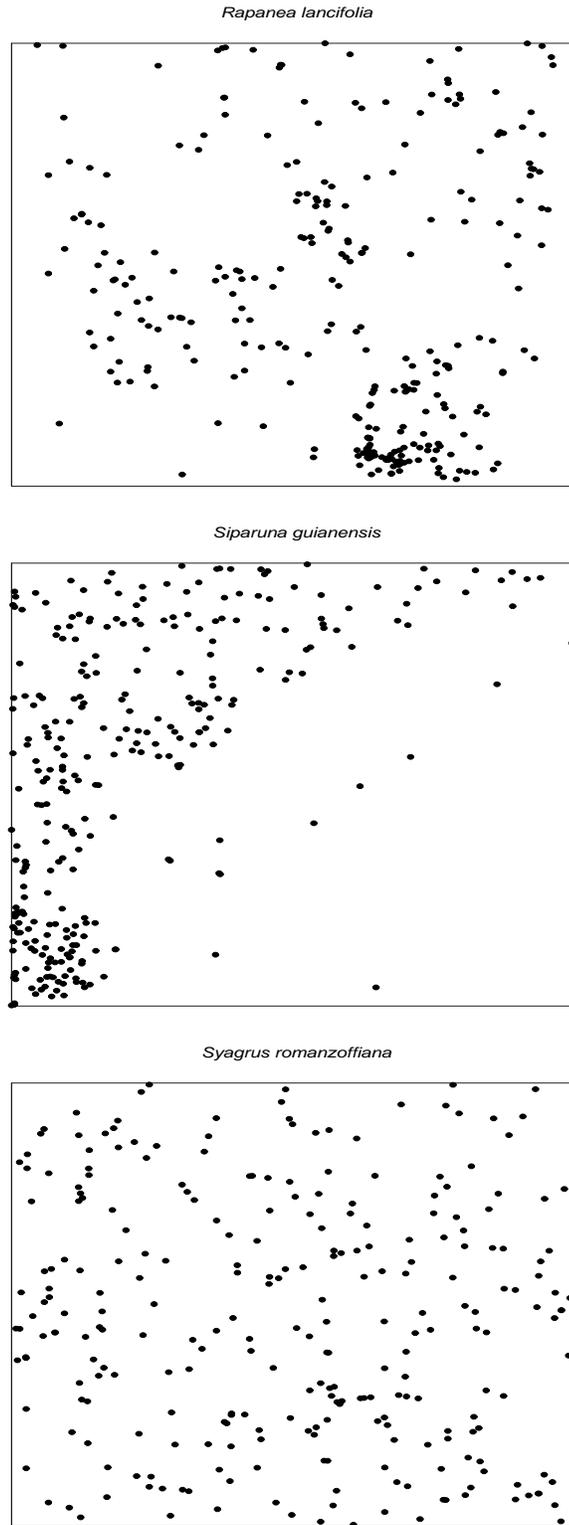


Figura 3.6 – Mapas de distribuição, na parcela permanente, das três espécies constantes avaliadas. Os indivíduos de cada espécie foram plotados em mapas separados para facilitar sua visualização

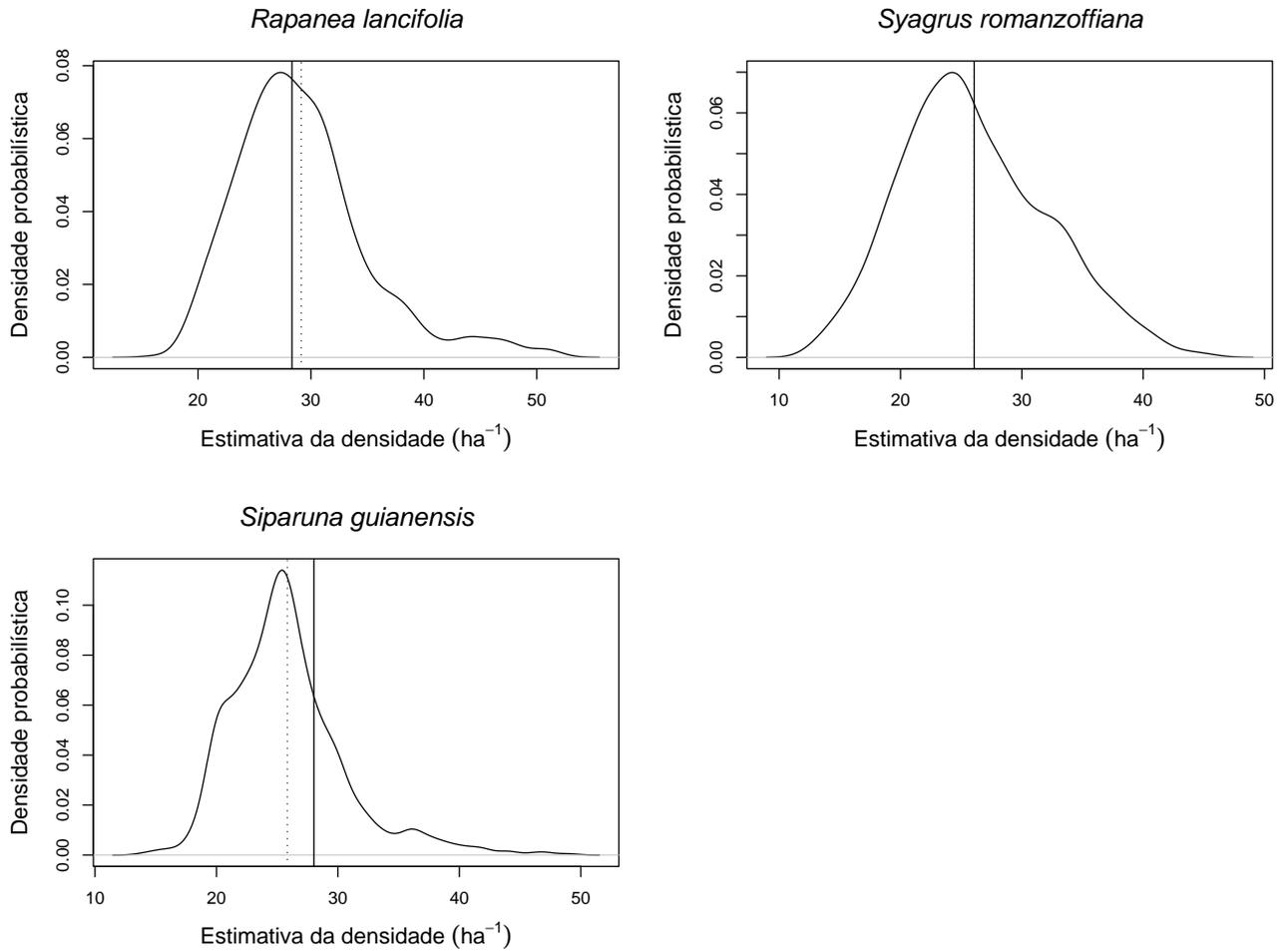


Figura 3.7 – Gráficos de densidade probabilística das estimativas de densidade para as espécies constantes avaliadas.

A linha contínua marca o valor paramétrico e a linha tracejada marca a média de densidade nas 1.000 simulações. Para a espécie *S. romanzoffiana* os valores são coincidentes

3.3.5 Espécies abundantes

As espécies abundantes na parcela permanente são *Copaifera langsdorffii*, *Vochysia tucanorum*, *Xylopia aromatica* e *Ocotea corymbosa*. Juntas, essas quatro espécies representam 42% dos indivíduos da parcela permanente.

Nenhuma das espécies desse grupo pode ser considerada com distribuição espacial totalmente aleatória, mas existe um gradiente de agrupamento entre elas (Figura 3.8). Mesmo sendo espécies abundantes, ou seja, que são amostradas sempre com muitos indivíduos, a distribuição da estimativa de densidade apresenta assimetria para todas as espécies, sendo que no caso de *X. aromatica* a distribuição é bimodal.

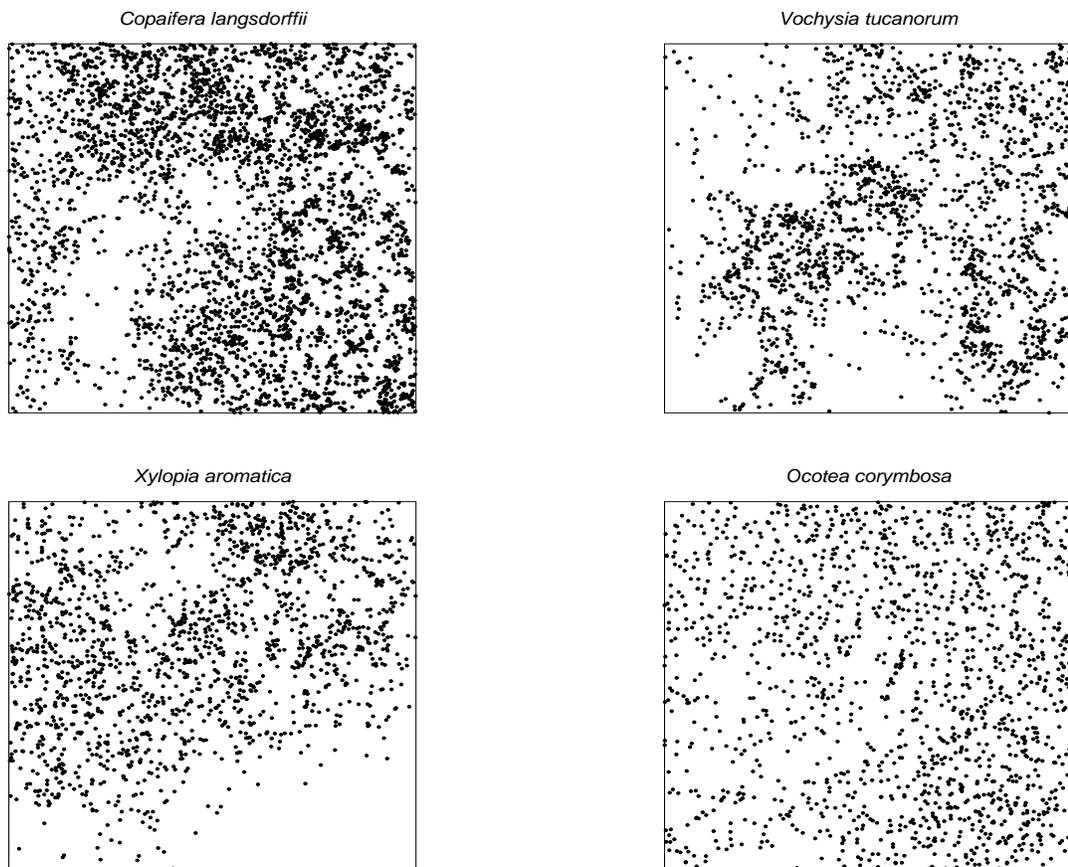


Figura 3.8 – Mapas de distribuição, na parcela permanente, das quatro espécies abundantes. Os indivíduos de cada espécie foram plotados em mapas separados para facilitar sua visualização

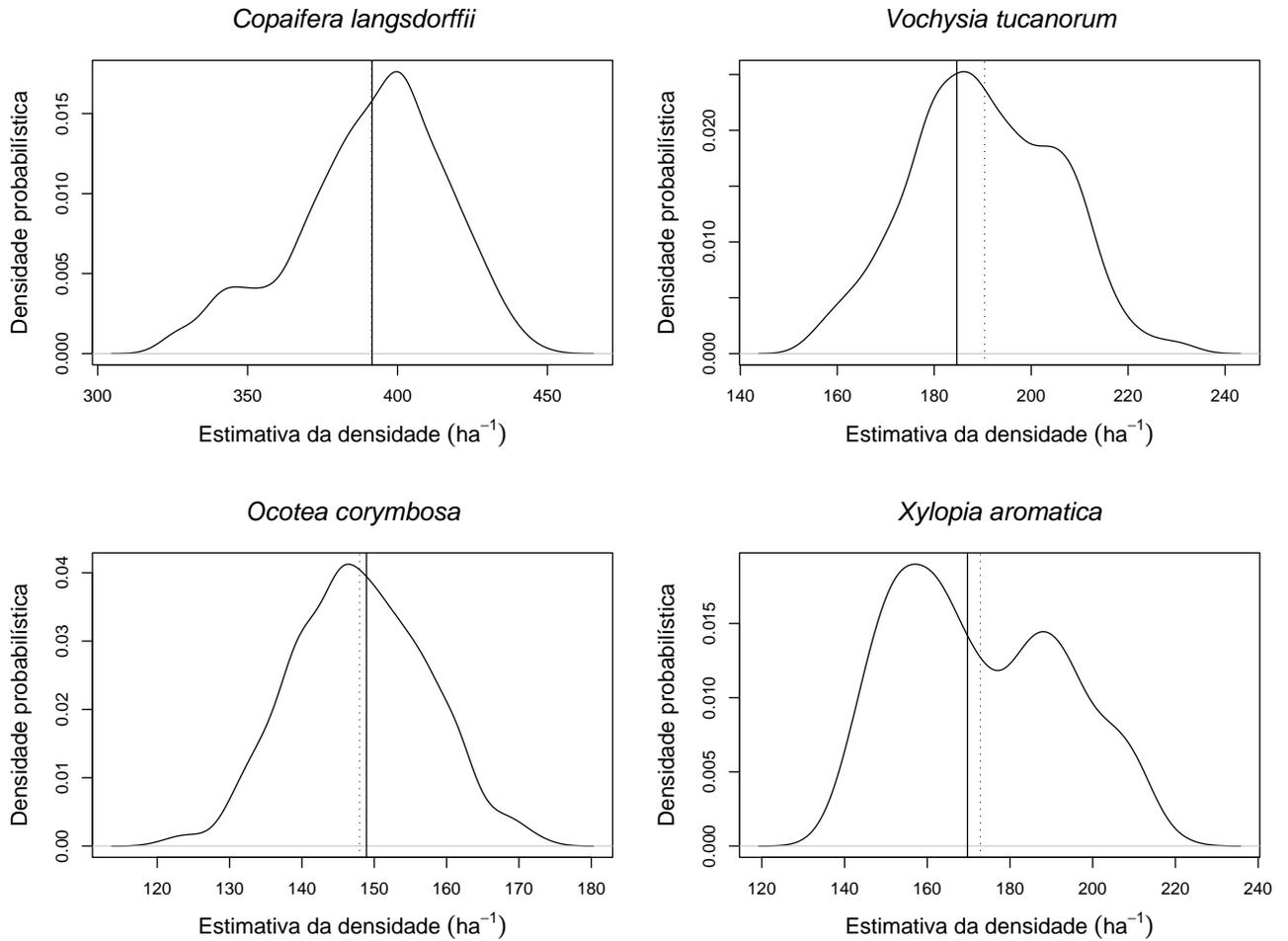


Figura 3.9 – Gráficos de densidade probabilística das estimativas de densidade para as espécies abundantes avaliadas. A linha contínua marca o valor paramétrico e a linha tracejada marca a média de densidade nas 1.000 simulações. Para a espécie *C. langsdorffii* os valores são coincidentes

3.4 Discussão

O efeito das espécies ocasionais e muito agrupadas serem amostradas com menos indivíduos que as com distribuição mais aleatória é, provavelmente, resultado do delineamento amostral sistemático. Como o desenho de amostragem é uma grade, a distância fixa entre parcelas não permite que um segundo indivíduo seja amostrado, se sua distância do primeiro for menor que a distância entre parcelas. Isso pode ser corrigido com um delineamento amostral aleatório, mas esse tipo de delineamento exige um esforço de campo muito maior, e é raramente utilizado em fitossociologia. Dessa forma, é preciso lidar com as limitações que o delineamento sistemático impõe.

Além disso, como a área total de amostragem nas simulações foi de 1 ha e essas espécies têm densidades menores que 1 ha^{-1} , o viés seria inevitável. A questão mais importante, no entanto, é o comportamento errático das estimativas. Para *L. humilis*, por exemplo, a distribuição é trimodal, pois essa espécie possui apenas 3 indivíduos na parcela permanente, e sua estimativa de densidade oscila em função da amostra selecionar 1, 2 ou 3 indivíduos. Da mesma forma, *A. communis* e *B. basiloba* apresentam distribuições bimodais.

Para as espécies ocasionais, além do viés, o comportamento errático das estimativas em função da baixa densidade e da distribuição espacial resulta em valores de densidade com baixíssima confiabilidade, indicando mais uma vez que abordagens quantitativas dessas espécies de baixa ocorrência são problemáticas e, portanto, o padrão de raridade tem muito mais influência na presença do viés do que qualquer outro. Em trabalhos que analisaram padrões de distribuição espacial em espécies tropicais (CONDIT et al., 2000; PLOTKIN et al., 2000), as espécies com densidades inferiores a 1 ha^{-1} foram retiradas das análises, por serem de difícil tratamento estatístico.

Na pesquisa realizada por Condit et al. (2000), foi constatado que a maioria das espécies apresenta padrão espacial agrupado e que a relação entre abundância e agrupamento é inversa. Essa pesquisa foi desenvolvida em seis parcelas permanentes de 25 a 52 ha, em diversos tipos de florestas tropicais, e incluídos todos os indivíduos com $\text{DAP} \geq 1 \text{ cm}$. As análises foram refeitas incluindo apenas os indivíduos com $\text{DAP} \geq 10 \text{ cm}$ e os resultados foram semelhantes. Em outro trabalho sobre padrão espacial, realizado por Plotkin et al. (2000), também foi encontrada uma relação inversa entre abundância e agregação, mas essa relação foi muito sutil e os autores afirmam que não é significativa. Esse estudo foi realizado em uma parcela permanente de 50 ha na Malásia, e também foram incluídos todos os indivíduos com $\text{DAP} \geq 1 \text{ cm}$ e refeitas as análises para indivíduos com $\text{DAP} \geq 5 \text{ cm}$, encontrando resultados semelhantes.

Nesse trabalho não se procurou estabelecer uma relação entre abundância e padrão espacial, mas simplesmente distinguir o tipo de distribuição espacial de espécies com densidade semelhante e comparar as distribuições geradas pelo estimador de densidade para os diferentes grupos.

A visualização da distribuição gerada pelo estimador de densidade, através dos gráficos de den-

sidade probabilística, mostra distribuições assimétricas e muito distantes da distribuição Normal, que é a base para a maioria dos tratamentos estatísticos (GOODALL, 1970). Em florestas com alta diversidade e, conseqüentemente, com muitas espécies raras, o comportamento dos estimadores é tão distante de qualquer distribuição estatística conhecida, que inviabiliza associar medidas de incerteza ao valor estimado, como por exemplo um intervalo de confiança.

As espécies abundantes, apesar de terem distribuição espacial agrupada, não apresentaram viés na estimativa da densidade. Essa ausência de viés se deve à sua altíssima densidade, e esse fator se torna mais importante, já que a característica de agrupamento dessas espécies não é de ocorrência e não-ocorrência, mas sim de adensamentos, o que não influencia a estimativa, pois sempre haverá indivíduos na amostra. A ausência de viés, no entanto, não implica em distribuições simétricas, mostrando que o problema em se associar medidas de incerteza aos dados não se resume às espécies ocasionais, estando presente também nas mais abundantes.

Vale lembrar que os resultados desse trabalho foram obtidos à partir de um levantamento em cerradão, que é a formação menos diversa das quatro estudadas no Projeto Parcelas Permanentes (RODRIGUES, 2005), e mesmo assim já apresenta grandes problemas nas estimativas das espécies ocasionais. Para formações mais diversas a tendência é que uma proporção maior de espécies apresentem problemas nas estimativas de suas densidades.

A densidade é uma informação básica das espécies arbóreas. Nas espécies ocasionais, os resultados de densidade obtidos à partir de levantamentos voltados à comunidade vegetal - levantamentos fitossociológicos - não são confiáveis, pois essas espécies não são adequadamente amostradas. Os levantamentos voltados à comunidade devem ser analisados em termos de atributos da comunidade, e não de espécies individualmente. Certamente que as espécies abundantes, constantes e até mesmo as comuns terão muitos indivíduos na amostra, podendo contribuir com atributos de espécies mais confiáveis, mas essas espécies juntas representam pouco mais da metade das espécies da comunidade, sendo que a outra metade, as espécies ocasionais, será mal amostrada.

O conhecimento de atributos quantitativos das espécies ocasionais em florestas tropicais exige estudos e levantamentos voltados para cada espécie individualmente, de modo que se a espécie permanece rara na floresta ela não o seja na amostra.

3.5 Conclusão

O padrão de raridade das espécies tem mais influência na qualidade das estimativas do que a distribuição espacial, tanto para espécies ocasionais quanto para espécies abundantes. Para espécies comuns e constantes, aquelas que ocorrem com distribuição espacial agrupada têm estimativas com maior viés e distribuições mais assimétricas do que aquelas que ocorrem com distribuição espacial aleatória.

Referências

- CONDIT, R.; ASHTON, P. S.; BAKER, P.; BUNYAVEJCHEWIN, S.; GUNATILLEKE, S.; GUNATILLEKE, N.; HUBBELL, S. P.; FOSTER, R. B.; ITOH, A.; LAFRANKIE, J. V.; LEE, H. S.; LOSOS, E.; MANOKARAN, N.; SUKUMAR, R.; YAMAKURA, T. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. **Science**, Washington, v.288, p.1414-1418, May 2000.
- CURTIS, J.T.; McINTOSH, R.P. The interrelations of certain analytic and synthetic phytosociological characters. **Ecology**, Brooklyn, v.31, p.434-455, Jul. 1950.
- GOODALL, D.W. Statistical plant ecology. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v.1, p.99-124, Nov. 1970.
- GOSLEE, S.C. Behavior of vegetation sampling methods in the presence of spatial autocorrelation. **Plant Ecology**, Dordrecht, v.187, n.2, p.203-212, Dez. 2006.
- GREIG-SMITH, P. Pattern in Vegetation. **The Journal of Ecology**, Oxford, v.67, p.755-779, Nov. 1979.
- HUBBELL, S.P. Tree dispersion, abundance and diversity in a tropical dry forest. **Science**, Washington, v.203, p.1299-1309, Mar. 1979.
- KREBS, C.J. **Ecological methodology**. 2nd ed. Menlo Park: Benjamin Cummings, 1999. 620p.
- PLOTKIN, J.B.; POTTS, M. D.; LESLIE, N.; MANOKARAN, N.; LAFRANKIE, J.; ASHTON, P. S. Species-area curves, spatial aggregation, and habitat specialization in tropical forests. **Journal of Theoretical Biology**, London, v.207, n.1, p.81-99, Nov. 2000.
- R Development Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, 2006. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 20 jul. 2006.
- RODRIGUES, R.R. **Relatório Temático do Projeto Parcelas Permanentes**. Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal, ESALQ/USP. Piracicaba, 2005. Disponível em: < <http://www.lerf.esalq.usp.br/parrel2005.php>>. Acesso em: 19 out. 2005.
- VENABLES, N.N.; RIPLEY, B.D. **Modern applied statistics with S-Plus**. New York: Springer, 1994. 512p.

4 ANALISANDO ATRIBUTOS DA COMUNIDADE

Resumo

Nesse capítulo foram abordados os atributos referentes à comunidade, que podem ser obtidos com confiabilidade em levantamentos fitossociológicos. Deixando de lado a tabela de fitossociologia, que visa obter os atributos por espécie, foram analisadas as estimativas de densidade e dominância (área basal) para toda a comunidade. Os métodos avaliados foram parcelas de 10 x 10 m, 20 x 20 m, 50 x 50 m e 100 x 100 m, com delineamento sistemático e área amostrada de 1 ha em todos os métodos. Também foram analisadas mais três intensidades amostrais de parcelas de 10 x 10 m, sendo 75, 50 e 25 parcelas. Para cada situação foram geradas 1.000 simulações de amostragens. Foram construídas curvas de acumulação de espécies, com o objetivo de avaliar como é estimada a riqueza da comunidade pelos diferentes métodos. Além disso, foi analisada a estimativa do número de espécies e a proporção de espécies e de indivíduos por classe de densidade, obtidas em cada método. A estimativa de densidade apresenta maior simetria na distribuição para parcelas de 20 x 20 m, que parecem incluir melhor a heterogeneidade espacial da floresta. Para as intensidades amostrais, uma menor quantidade de parcelas gerou distribuições mais simétricas, como consequência, provavelmente, do maior espaçamento entre as unidades amostrais. Para a estimativa de área basal, as distribuições seguiram o esperado, de que mais parcelas geram distribuições mais simétricas e mais próximas da distribuição Normal, já que essa medida é mais contínua no espaço, e não sofre tanta influência da distribuição espacial das árvores. As curvas de acumulação de espécies mostram que, para as parcelas de 50 x 50 m e para a parcela única de 100 x 100 m, a curva paramétrica, gerada para toda a parcela permanente, não está incluída no intervalo de confiança da curva média de cada método. E para as intensidades amostrais, apenas o número de espécies amostrado diminuiu, mas a forma da curva permanece semelhante. Para a proporção de espécies por classe de densidade, entre os métodos as proporções seguem a mesma tendência, sendo que o grupo das espécies ocasionais é subamostrado. A proporção de indivíduos também segue a mesma tendência entre os métodos e entre as intensidades amostrais, mas uma maior proporção de espécies constantes é amostrada, em relação aos valores paramétricos. Com os resultados dessas análises é possível concluir que, com alguns cuidados referentes ao tamanho e quantidade das unidades amostrais e ao espaçamento entre elas, os atributos de comunidade, à partir de levantamentos fitossociológicos, podem ser bem estimados.

Palavras-chave: Área basal; Cerradão; Densidade de árvores; Fitossociologia; Riqueza de espécies

Abstract

This chapter goal is to study communities attributes that can be reliably obtained using phytosociological surveys. The estimates of density and dominance (basal area) had been analysed for the entire community, not intending to obtain the attributes for each species. The evaluated

methods were 10 x 10 m, 20 x 20 m, 50 x 50 m, and 100 x 100 m plots by systematic sampling and 1 ha sample area for all methods. Additionally, three sampling intensities of 10 x 10 m plots had been analysed (75, 50, and 25 plots). One thousand simulated surveys were performed for each sampling situation. Species accumulation curves were built to evaluate how the community richness is estimated using different methods. Moreover, the number of species and the proportion of species and individuals per density class obtained in each method were analysed. The density estimates showed distributions more symmetric in the 20 x 20 m plots, which seem to better include the spatial heterogeneity. Sample schemes with less sample units showed better distributions for the density estimates, probably due to the fact that sampling units are more distant from each other. The basal area estimates had followed the expected: larger number of plots yields more symmetry and closer to Gaussian distributions. The parametric species accumulation curve has not been included in the confidence interval built for the mean species accumulation curves in the 50 x 50 m and 100 x 100 m plots. However, for 10 x 10 m plots, it was noticed that as the sample area decreases, the number of sampled species also decreases, but the curve shape is kept. The proportion of species per density class is similar among the methods, but the occasional species class is always underestimated. The proportion of individuals per density class also is similar among the methods and the sample intensities, but a greater proportion of constant species is sampled, when the results are compared to the parametric proportions. We conclude that the community attributes analysed can be well estimated by phytosociological measures, just taking into account some usual methodological details, such as sampling size and plot distributions within the study area.

Keywords: Basal area; Forested savannah; Trees density; Phytosociology; Species richness

4.1 Introdução

Nos capítulos anteriores foi demonstrado que usar dados de fitossociologia para estimar atributos de espécies individualmente é muito problemático, principalmente para espécies de baixa densidade. Tanto os atributos absolutos como densidade e dominância, quanto os relativos, expressos pela ordem das espécies na tabela de fitossociologia, apresentaram grandes variações dentre as amostragens analisadas, demonstrando que as estimativas são pouco confiáveis.

Os mesmos atributos calculados por espécies - densidade e dominância (ou área basal) - podem ser calculados para a comunidade como um todo, fornecendo informações importantes sobre sua estrutura. Existem muitos outros atributos quantitativos referentes à comunidade, como estrutura de formas de vida ou parâmetros fisiológicos, mas esses atributos são mais empregados em caráter experimental do que descritivo, sendo que para essa finalidade, densidade e área basal são mais recomendados (MUELLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 1974).

A área basal tem relação direta com a biomassa da floresta e essa, por sua vez, tem influência no micro-clima, afetando regimes de luz e temperatura, interceptação da água da chuva e disponibilidade de alimento e abrigo para a fauna (MUELLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 1974). Os valores de área basal juntamente com os de densidade, interpretadas por uma pessoa minimamente

experiente, podem fornecer uma “fotografia” da área estudada, informando a quantidade média de árvores e seu tamanho médio.

Em se tratando de florestas compostas por muitas espécies, informações relativas a essa diversidade também são de grande importância no estudo da comunidade. Existem muitas formas de medir a diversidade, cada uma com suas vantagens e desvantagens (MAGURRAN, 2004). Para o presente estudo foi escolhido analisar a curva de acumulação de espécies, que baseia-se na relação espécie-área, que pode ser brevemente descrita da seguinte forma: conforme a área amostrada é ampliada, novas espécies são adicionadas à amostra, mas com taxa decrescente (KILBURN, 1966).

A taxa com que novas espécies são adicionadas à amostra dá informações importantes sobre a riqueza de espécies, sobre a distribuição da abundância e sobre toda a comunidade. As curvas de acumulação de espécies são um meio de estimar a riqueza de espécies, que pode ser obtida por extrapolações da curva obtida com os dados de campo (MAGURRAN, 2004). Não foi objetivo desse estudo analisar os diversos métodos para extrapolar a curva de acumulação de espécies, mas sim analisar seu comportamento frente a diversos métodos de amostragem, já que qualquer extrapolação depende da curva original.

Gaston (1996) afirma que o número de espécies é a medida de biodiversidade mais frequente e amplamente aplicada, mas o próprio autor faz a ressalva de que analisar apenas o número de espécies é uma medida incompleta de biodiversidade, uma vez que as espécies podem ser mais ou menos próximas, e uma análise mais acurada da relação entre as espécies informa mais sobre a biodiversidade. Mas embora refletindo apenas um dos aspectos da biodiversidade, o número de espécies é de fácil entendimento e não precisa de índices complexos para ser expresso (GASTON, 1996).

Foram desenvolvidos muitos índices para quantificar a diversidade, levando em consideração não apenas o número de espécies (riqueza) mas também sua abundância e distinção taxonômica. Magurran (2004) apresenta todo um capítulo sobre esses índices, mostrando os mais usados e os que não são tão populares mas que a autora considera particularmente efetivos. Uma das principais ressalvas do capítulo é que o próprio número de espécies, se for bem estimado, é uma informação bastante relevante. De qualquer forma, o número de espécies é o principal componente de qualquer índice, e deve ser bem estimado. Assim, outro atributo da comunidade analisado no presente estudo foi simplesmente o número de espécies que cada método amostrou.

Além dos atributos citados acima, que são amplamente utilizados, foi estudada também a proporção de espécies e indivíduos por classe de densidade, sendo que essas classes foram definidas de acordo com a área amostrada. Essas proporções mostram como a riqueza de espécies está distribuída na comunidade. Em florestas tropicais é comum que muitas espécies tenham poucos indivíduos e que poucas espécies representem a maior parte dos indivíduos (KAGEYAMA; GANDARA, 2004), mas essa característica pode ser mais detalhada, estabelecendo-se classes de densi-

dade.

O objetivo do presente capítulo foi ressaltar algumas análises de atributos de comunidade que são viáveis à partir de levantamentos fitossociológicos, e estudar sua confiabilidade, do ponto de vista estatístico.

4.2 Material e Método

4.2.1 Conjunto de dados

Os dados são provenientes de simulações de levantamentos fitossociológicos, em uma parcela permanente de 10,24 ha (320 x 320 m). A parcela permanente está instalada em uma área de cerrado, na Estação Ecológica de Assis, SP e faz parte do projeto temático “Diversidade, dinâmica e conservação em florestas do Estado de São Paulo: 40 ha de parcelas permanentes” (BIOTA/FAPESP 1999/09635-0). Todos os indivíduos arbustivo-arbóreos com $CAP \geq 15$ cm foram marcados, georreferenciados, medidos e identificados, totalizando 21.861 indivíduos, pertencentes a 118 espécies.

Foram geradas simulações de levantamentos fitossociológicos com delineamento amostral sistemático com início aleatório, utilizando parcelas quadradas de 100 x 100 m, 50 x 50 m, 20 x 20 m e 10 x 10 m, sendo que para cada um dos métodos a área amostrada foi a mesma (1 ha), ou seja, uma parcela de 100 x 100 m, 4 parcelas de 50 x 50 m, 25 parcelas de 20 x 20 m e 100 parcelas de 10 x 10 m. Foram simuladas mais três intensidades amostrais para o método de parcelas de 10 x 10 m, sendo 75, 50 e 25 parcelas. Cada situação de amostragem foi simulada 1.000 vezes.

4.2.2 Atributos analisados

Os atributos da comunidade analisados foram: densidade, área basal, curva de acumulação de espécies, número médio de espécies amostradas, proporção de espécies por classe de densidade e proporção de indivíduos por classe de densidade.

Todos esses atributos tiveram seus valores paramétricos definidos à partir dos dados do censo da parcela permanente, e foram calculados para cada tamanho de parcela e cada intensidade amostral descritos no item anterior. A distribuição das estimativas de densidade, área basal e número de espécies por amostra foi analisada por gráficos de densidade probabilística, que são gráficos construídos através de estimativa de densidade de kernel, onde uma estimativa de frequência contínua é gerada de forma análoga a um histograma e as classes são substituídas por uma classe que se move continuamente (VENABLES; RIPLEY, 1994). Esses gráficos mostram curvas de densidade probabilística baseadas em dados, possibilitando visualizar a distribuição gerada pelo estimador. Nesses mesmos gráficos foram plotados o valor paramétrico e a média das 1.000 simulações, sendo que a diferença entre esses valores é o viés absoluto da estimativa.

As curvas de acumulação de espécies foram contruídas em função dos indivíduos, para as 1.000 amostras geradas em cada situação de amostragem. Para cada curva foram geradas 100 permutações da ordem de coleta e construída uma curva média, como um meio de diminuir o efeito da arbitrariedade da ordem das unidades amostrais (COLEMAN et al., 1982). Das 1.000 curvas médias de cada situação foi construída uma nova curva média, que representa a curva estimada pelo método. Foram calculados os intervalos de confiança empíricos utilizando-se os quantis 2,5% e 97,5% para essa curva média, e também para a curva gerada com todos os indivíduos da parcela permanente. As curvas médias e os intervalos de confiança empíricos foram obtidos através das matrizes de indivíduos por espécie, conforme Batista e Schilling (2006).

A proporção de espécies e de indivíduos foi calculada com base em classes de densidades definidas de acordo com a área amostrada. Para os diferentes tamanhos de parcela a área amostrada foi a mesma (1 ha) e as classes de densidade foram iguais. Para as diferentes intensidades amostrais os limites das classes são diferentes. Na Tabela 4.1 os limites de classe estão expressos em números de indivíduos incluídos na amostra, e não em número de indivíduos por hectare. Foram calculadas, para cada simulação as proporções do número de espécies e do número de indivíduos por classe de densidade. Para as espécies os valores estão expressos em porcentagem do total de espécies na parcela permanente, e para os indivíduos os valores estão em número absoluto de indivíduos amostrados em cada situação. Foram calculadas as médias dentre as 1.000 simulações, para cada situação, e os desvios padrão.

Todas as análises, inclusive as simulações, foram feitas utilizando o programa computacional R (R Development Core Team, 2006).

Tabela 4.1 – Número de indivíduos amostrados que definem as classes de densidade, estabelecidas de acordo com a área amostrada, para as diferentes intensidades amostrais de parcelas de 10 x 10 m

| Classe | Área amostrada | | | |
|---------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|
| | 1 ha | 0,75 ha | 0,5 ha | 0,25 ha |
| Espécies ocasionais | até 1 | até 1 | até 1 | até 1 |
| Espécies comuns | de 1 a 10 | de 1 a 7 | de 1 a 5 | de 1 a 3 |
| Espécies constantes | de 10 a 100 | de 7 a 75 | de 5 a 50 | de 3 a 25 |
| Espécies abundantes | >100 | >75 | >50 | >25 |

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Estimativas de densidade e área basal

A parcela permanente possui densidade de $2.134,86 \text{ ha}^{-1}$ e área basal de $22,01 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$. Esses números mostram uma floresta com uma alta densidade e uma área basal relativamente baixa, indicando que existem muitos indivíduos pequenos, ou com baixo DAP. Essas estimativas se referem a todos os indivíduos, independente das espécies.

Para a estimativa de densidade, as parcelas maiores apresentaram as distribuições mais assimétricas (Figura 4.1a). Essa assimetria se deve ao menor tamanho de amostra, que no caso da parcela de $50 \times 50 \text{ m}$ é igual a quatro e a parcela de $100 \times 100 \text{ m}$ é uma parcela única. Mesmo a área amostrada sendo a mesma (1 ha), o baixo número de unidades amostrais não permite a aplicação do Teorema Central do Limite (COCHRAN, 1977), que diz que numa amostra “suficientemente grande” podemos assumir que a média amostral se comporta como uma variável Gaussiana com média μ e variância σ^2/n . A definição de “suficientemente grande” é subjetiva e depende da variável que estamos estudando, mas certamente $n = 4$ e $n = 1$ são tamanhos de amostra que não são “suficientemente grandes”, para a situação estudada.

Por outro lado, o tamanho de parcela que apresentou distribuição mais simétrica foi o de parcelas de $20 \times 20 \text{ m}$, numa amostragem com 25 parcelas ($n = 25$). O esperado seria que a amostragem com parcelas de $10 \times 10 \text{ m}$, com $n = 100$, gerasse distribuição simétrica, mas essas parcelas podem ter sido mais heterogêneas devido à não aleatoriedade da distribuição das árvores, que tendem a se distribuir de forma agrupada, conforme resultados encontrados por Capretz (2004) ao estudar essa mesma parcela permanente. Já as parcelas de $20 \times 20 \text{ m}$ podem ter incluído melhor esses agrupamentos, resultando em uma amostragem com menor variação entre unidades amostrais.

Com relação à diminuição da intensidade amostral das parcelas de $10 \times 10 \text{ m}$, nota-se que a distribuição vai ficando mais simétrica à medida que o tamanho da amostra diminui (Figura 4.1b). Essa característica, inicialmente inesperada, pode ocorrer não pela diminuição do número de unidades amostrais, mas pelo aumento da distância entre elas que, por se tratar de amostragens sistemáticas, quanto menor o número de parcelas, maior é a distância entre elas para que a grade cubra toda a área a ser amostrada, no caso a parcela permanente. As parcelas muito próximas podem ter captado alguma periodicidade na distribuição espacial das árvores, que a maiores distâncias não ocorre.

Para as estimativas de área basal, o comportamento das distribuições é mais próximo do esperado de que um número maior de parcelas gera distribuições mais simétricas (Figura 4.2a). Como a área basal é uma medida mais contínua no espaço do que densidade, a distribuição espacial das árvores não tem tanta interferência na sua estimativa. Para ilustrar essa continuidade espacial, se uma parcela é composta por uma árvore grande e algumas pequenas, sua densidade é baixa, mas

sua área basal nem tanto, e se outra parcela é composta por várias árvores pequenas, sua densidade é alta, mas novamente a área basal nem tanto, sendo que sua variação entre parcelas é menor que a variação de densidade.

O comportamento da estimativa de área basal frente à diminuição da área amostrada também não foge do esperado, gerando distribuições simétricas, mas que aumentam sua variabilidade conforme o número de parcelas diminui (Figura 4.2b).

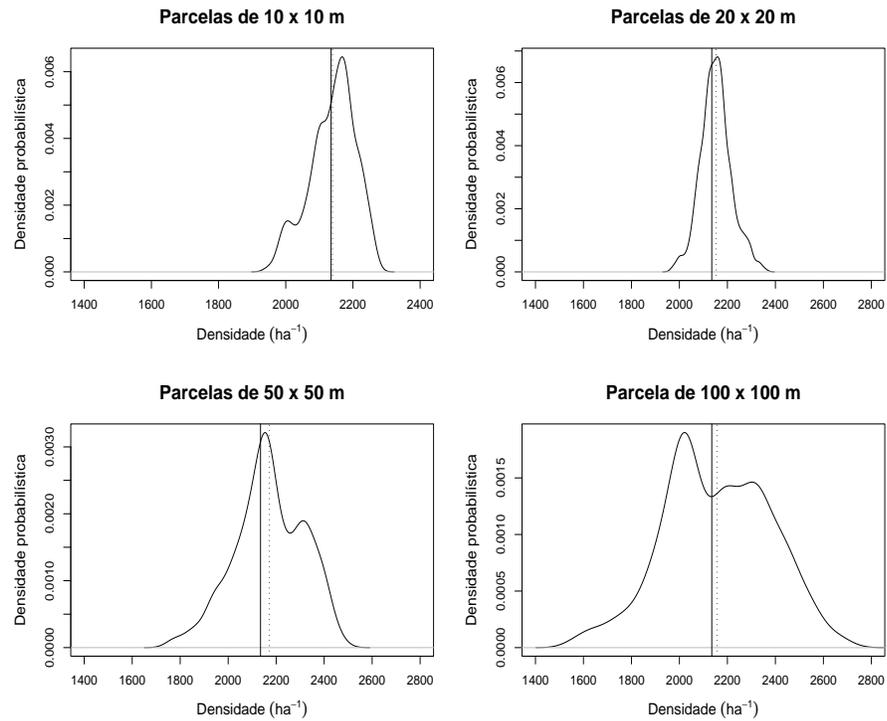
4.3.2 Curvas de acumulação de espécies

Na Figura 4.3 estão plotadas as curvas médias obtidas em cada conjunto de 1.000 simulações, com cada intervalo de confiança e na Figura 4.4 estão as curvas médias para cada intensidade amostral de parcelas de 10 x 10 m e seus respectivos intervalos de confiança, juntamente com a curva de acumulação de espécies construída para toda a parcela permanente.

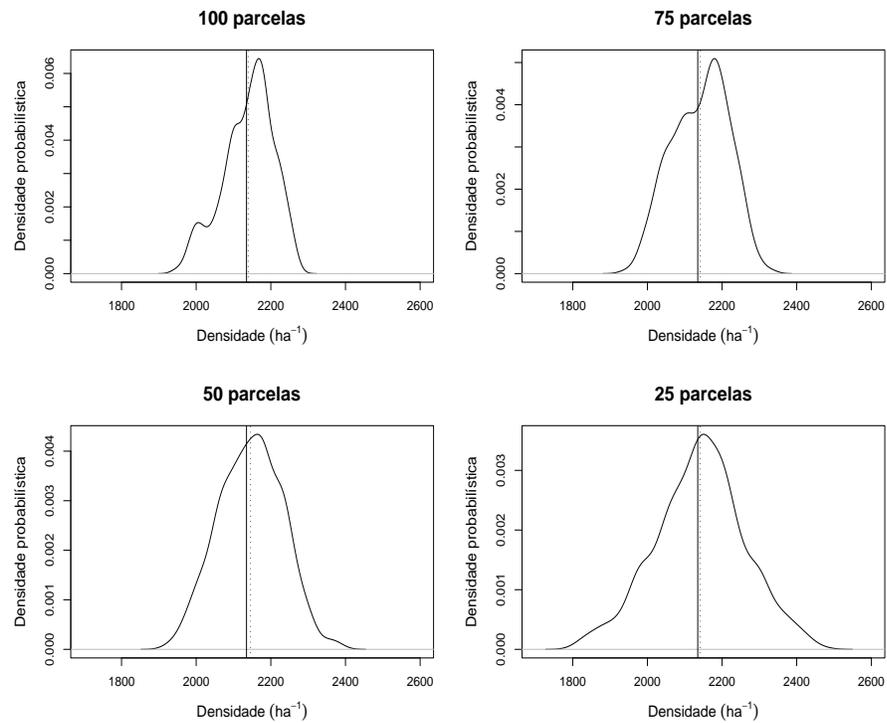
Os intervalos para as curvas médias obtidas das 1.000 simulações de cada situação de amostragem são abertos, pois cada simulação amostrou um número diferente de indivíduos e de espécies, ao contrário dos intervalos que são obtido com permutações da mesma amostra.

Juntamente com cada curva média para cada situação de amostragem foi plotada a curva obtida para toda a parcela permanente (curva paramétrica), dessa forma, fica clara a visualização da diferença com que cada método estima a acumulação de espécies na parcela permanente. Para as parcelas de 10 x 10 m e de 20 x 20 m o intervalo de sua curva média contém a curva paramétrica. Para a parcela de 50 x 50 m o intervalo também contém a curva média, mas em seu limite superior, e para a parcela de 100 x 100 m, a curva paramétrica fica totalmente fora do intervalo de confiança da curva média obtida com o método. Além disso, os intervalos obtidos com a parcelas maiores são mais amplos do que aqueles obtidos com as parcelas menores, indicando uma maior variabilidade do método em estimar a acumulação de espécies (Figura 4.3).

As diferentes intensidades amostrais da parcela de 10 x 10 m foram plotadas com os eixos na mesma escala, e é possível observar que o número de espécies amostradas diminui com a diminuição da área amostrada, mas a forma da curva se mantém. A curva paramétrica está bem próxima à curva média de cada intensidade, em todas as situações. O intervalo de confiança fica maior com tamanhos de amostra menores, indicando que quanto menor a amostra, maior a variação na estimativa da acumulação de espécies (Figura 4.4).

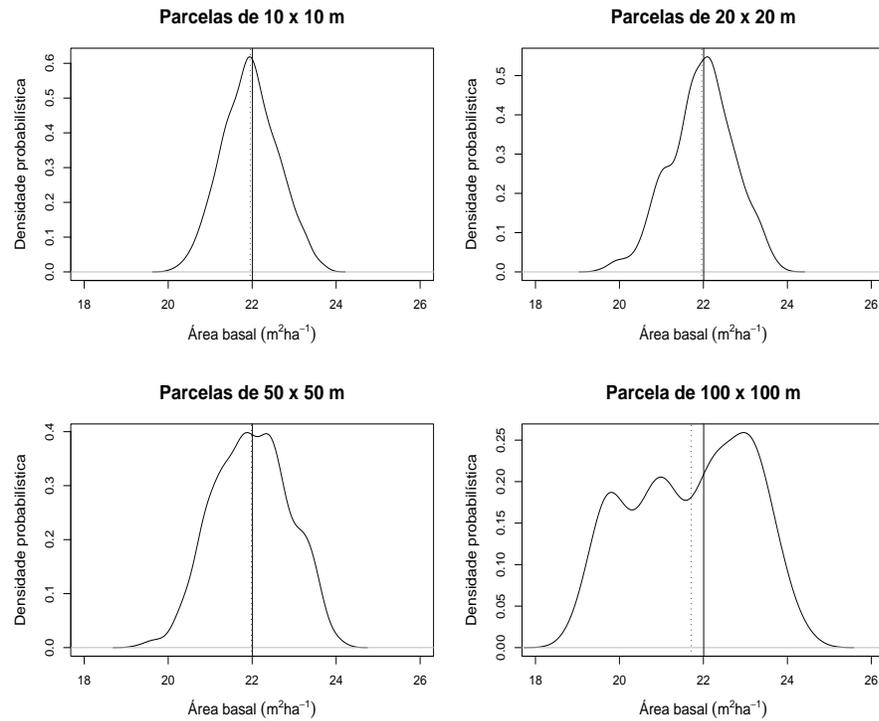


(a)

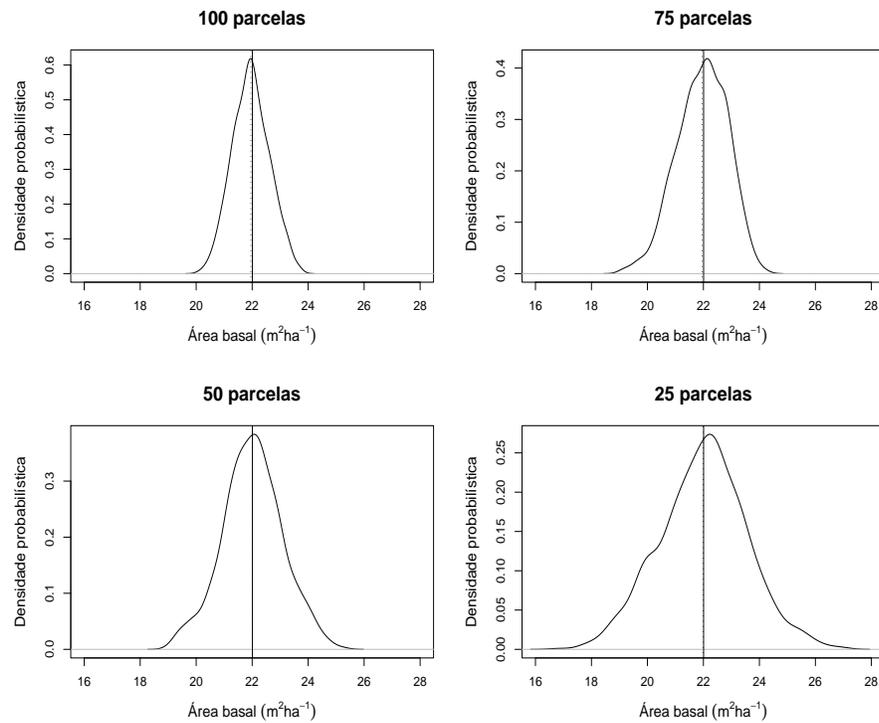


(b)

Figura 4.1 – Gráficos de densidade probabilística para a estimativa de densidade da floresta, (a) para os tamanhos de parcela e (b) para as intensidades amostrais. As linhas verticais contínuas são os valores paramétricos e as linhas tracejadas são as médias das 1.000 simulações, em cada situação de amostragem, sendo que em alguns casos esses valores se sobrepõem



(a)



(b)

Figura 4.2 – Gráficos de densidade probabilística para a estimativa de área basal da floresta, (a) para os tamanhos de parcelas e (b) para as intensidades amostrais. As linhas verticais contínuas marcam os valores paramétricos e as linhas tracejadas marcam as médias das 1.000 simulações, em cada situação de amostragem, sendo que em alguns casos esses valores se sobrepõem

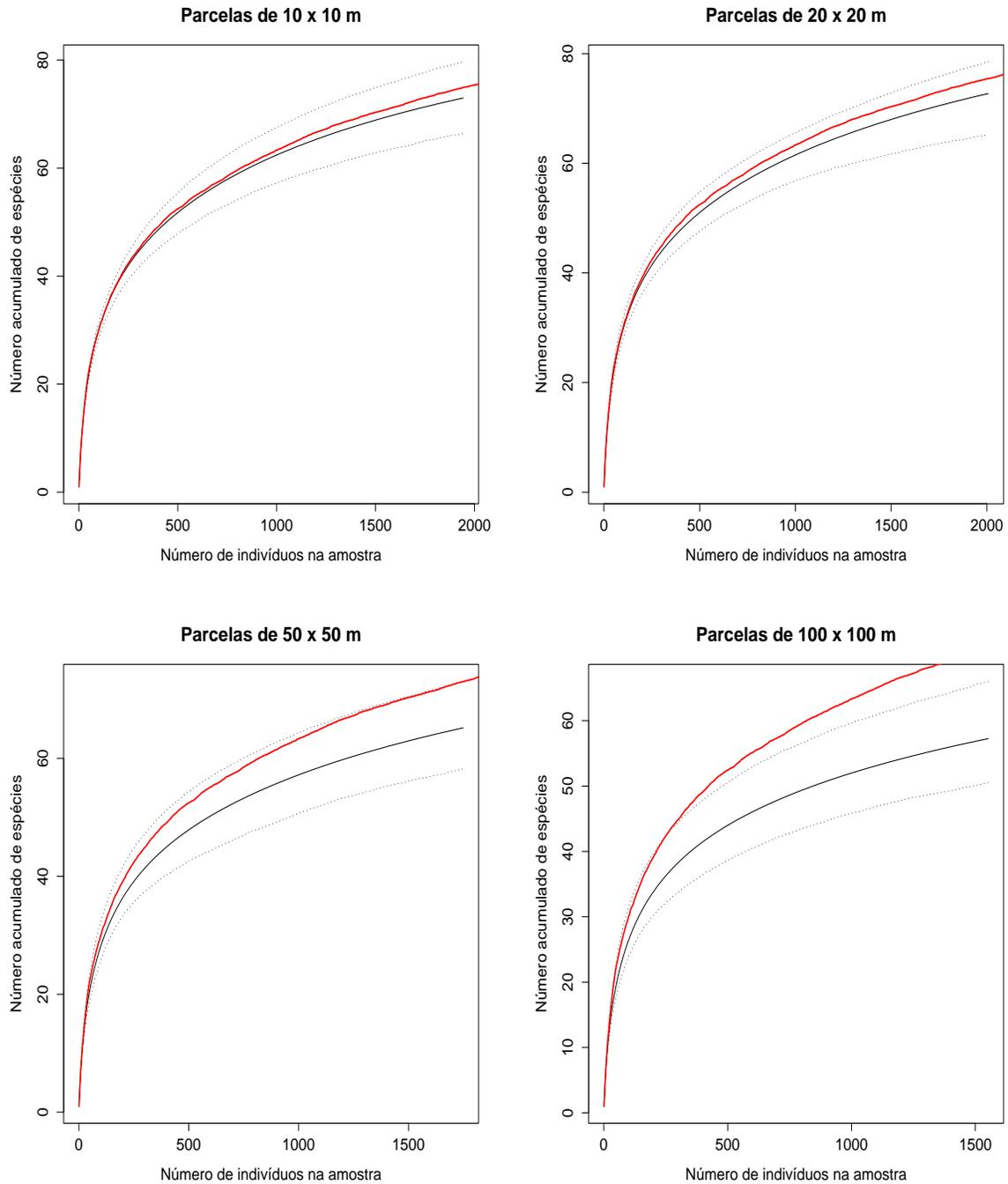


Figura 4.3 – Curvas médias de acumulação de espécies para mesma área amostrada (1 ha) e diferentes tamanhos de parcela. Linhas tracejadas indicam o intervalo de confiança e a linha vermelha é a curva média para toda a parcela permanente

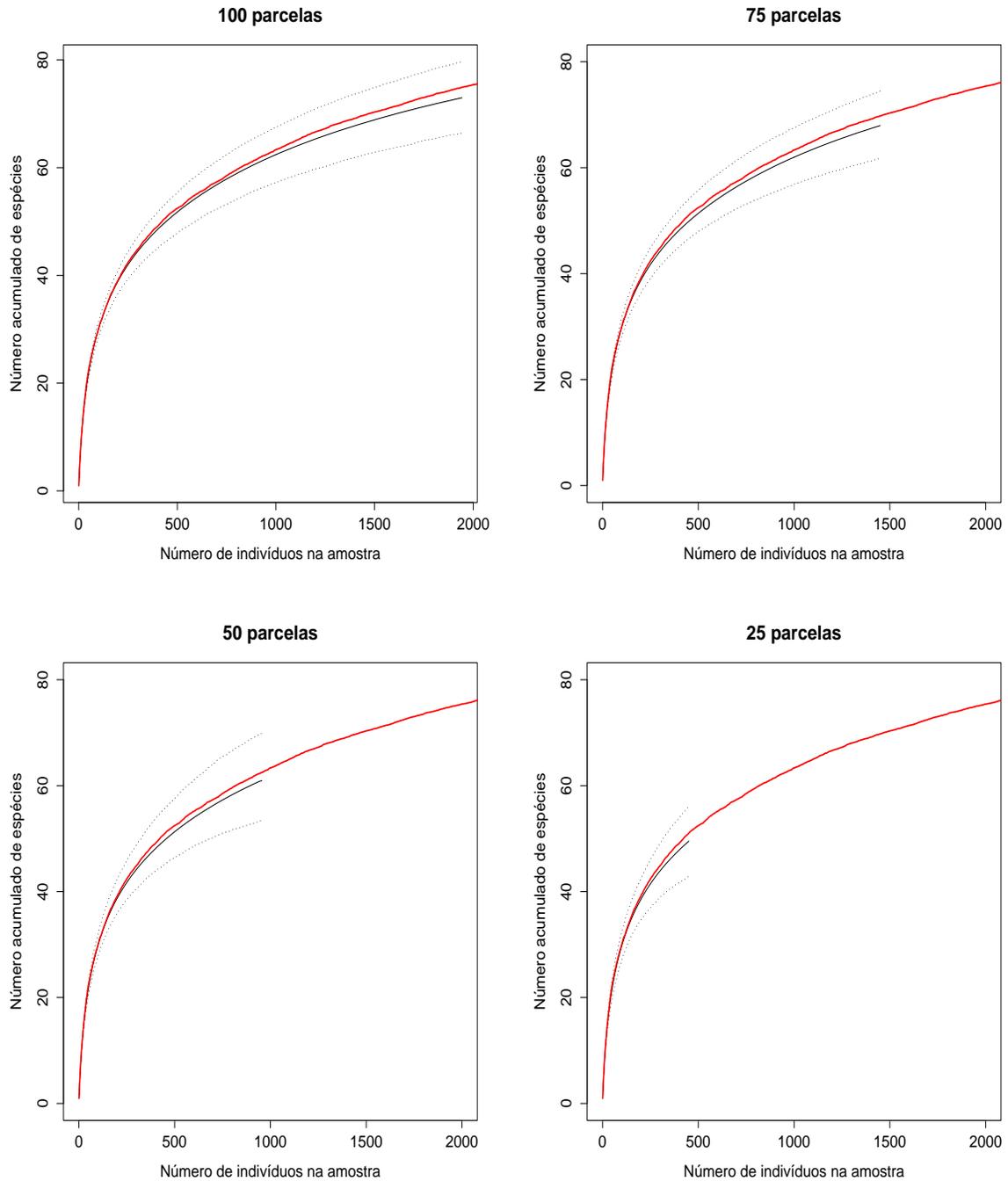


Figura 4.4 – Curvas médias de acumulação de espécies para diferentes tamanhos de amostra de parcelas de 10 x 10 m. Linhas tracejadas indicam o intervalo de confiança e a linha vermelha é a curva média para toda a parcela permanente

4.3.3 Número de espécies amostradas

Os gráficos de densidade probabilística gerados para as estimativas de cada método mostram que o único método que apresentou distribuição mais próxima da Normal foi o de parcelas de 10 x 10 m, e foi também o método que amostrou o maior número de espécies (em média, 75 espécies), mesmo a área amostral sendo a mesma em todos eles (Figura 4.5a). Para as diferentes intensidades amostrais, conforme a área amostrada foi diminuída, a distribuição apresentou alguma assimetria e certamente o número de espécies diminuiu, mas com 50 parcelas de 10 x 10 m o número médio de espécies amostradas ainda é superior àquele obtido com uma parcela de 100 x 100 m, ou seja, o dobro da área amostrada (Figura 4.5b).

Como as parcelas menores abrangem mais a área de estudo, elas são capazes de captar melhor as diferenças nos ambientes que compõem a floresta e também amostram melhor as espécies que se distribuem de forma agrupada, incluindo mais espécies na amostra, do que uma única parcela grande.

4.3.4 Proporções de espécies e indivíduos por classes de densidade

Nos valores paramétricos, a maior quantidade de espécies está na classe das espécies ocasionais, em seguida nas classes das espécies comuns e constantes, e a classe das espécies abundantes é a que possui menor número de espécies.

A proporção do número de espécies por classe de densidade seguiu a mesma tendência em todos os métodos analisados, mas diferiu das proporções encontradas nos valores paramétricos, sendo que a maior quantidade de espécies está nas classes das espécies comuns e constantes (Figura 4.6). A classe das espécies ocasionais apresentou menor número de espécies porque esse é o grupo que tem mais problemas para ser amostrado, devido à baixa densidade das espécies que o compõem, resultando numa subamostragem dessas espécies. As parcelas de 10 x 10 m e de 20 x 20 m geraram os menores desvios padrão, mas sem grandes diferenças com relação aos outros tamanhos de parcela. Com relação às intensidades amostrais, nota-se que com a diminuição da área amostrada menos espécies da classe das comuns são amostradas, mas as proporções entre as outras classes são semelhantes, bem como os desvios padrão (Figura 4.7).

Para o número de indivíduos, as maiores quantidades encontram-se nas classes constante e abundante, ao contrário do encontrado nos valores paramétricos, já que a classe constante não apresentou valores próximos à classe abundante, que é marcadamente a que possui mais indivíduos. É possível observar que quanto maior a parcela, menos indivíduos da classe das espécies constantes são amostrados (Figura 4.8). Nas intensidades amostrais a proporção entre as classes não é tão afetada com a diminuição da área amostrada (Figura 4.9).

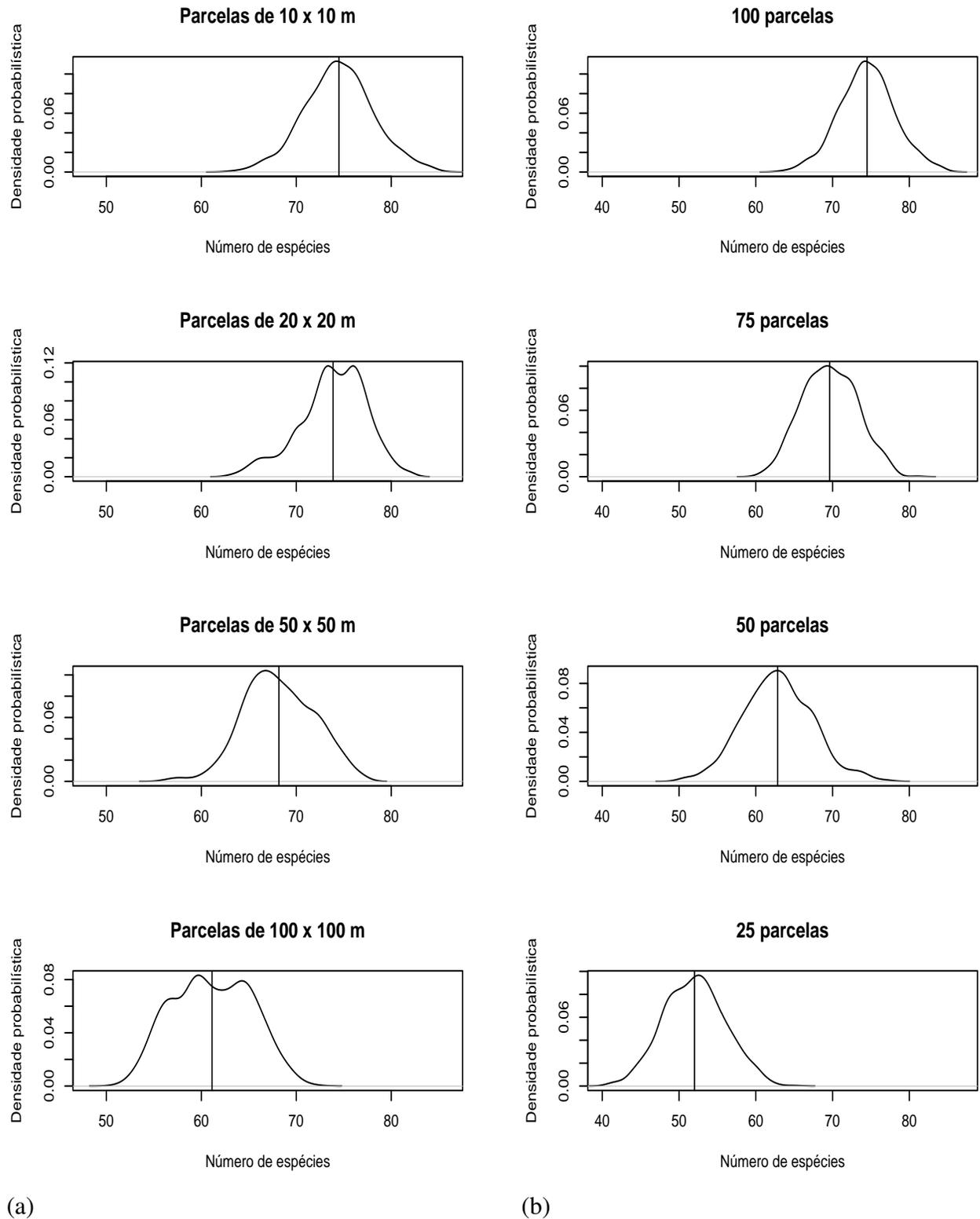


Figura 4.5 – Gráficos de densidade probabilística para o número de espécies amostradas (a) em cada método e (b) em cada intensidade amostral. Os gráficos foram plotados com mesmos eixos entre os métodos e entre as intensidades, para melhor visualização das diferenças em cada situação. A linha vertical marca o número médio amostrado em cada situação

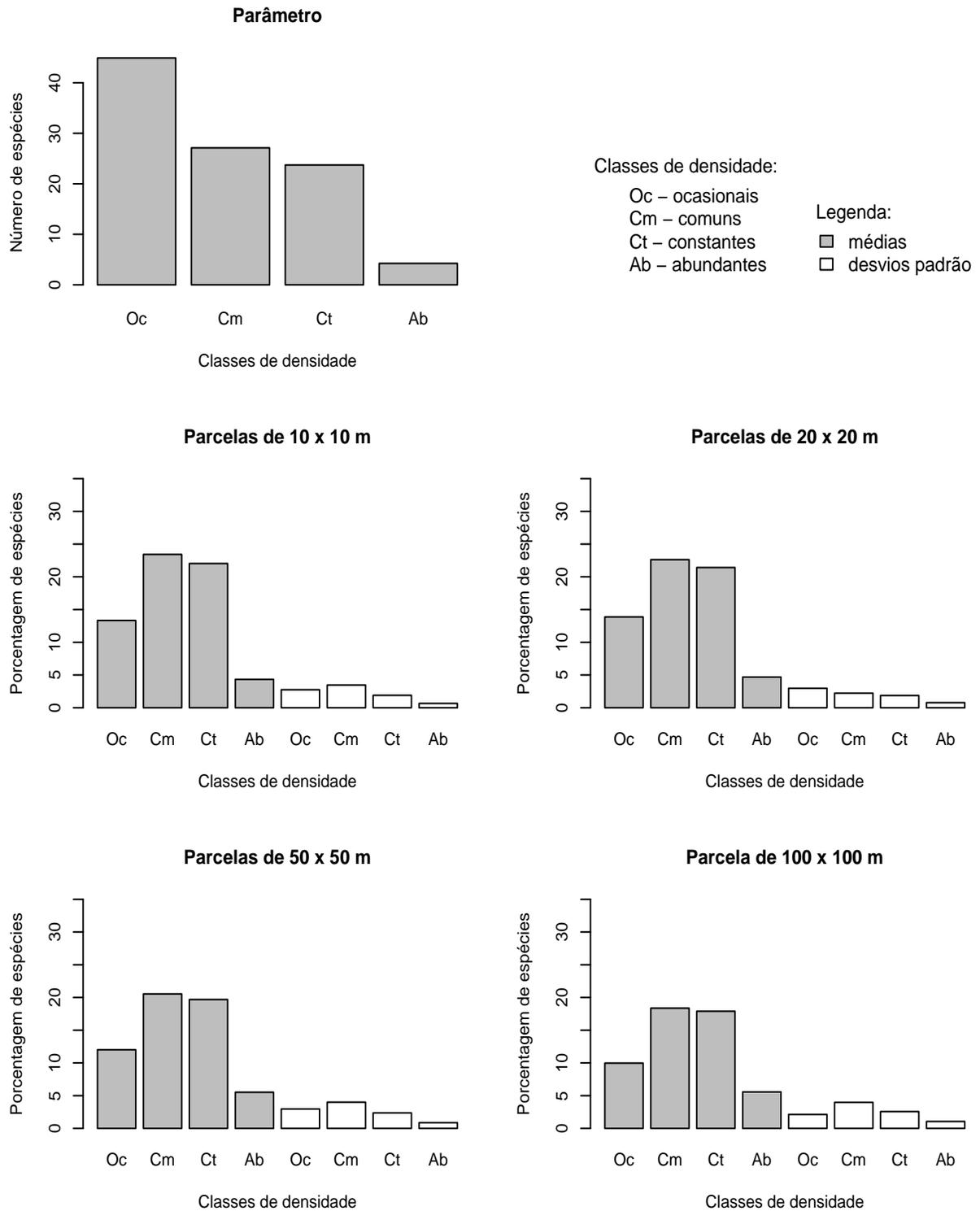


Figura 4.6 – Proporção de espécies por classe de densidade, para toda a parcela permanente (parâmetro) e para cada tamanho de parcela analisado

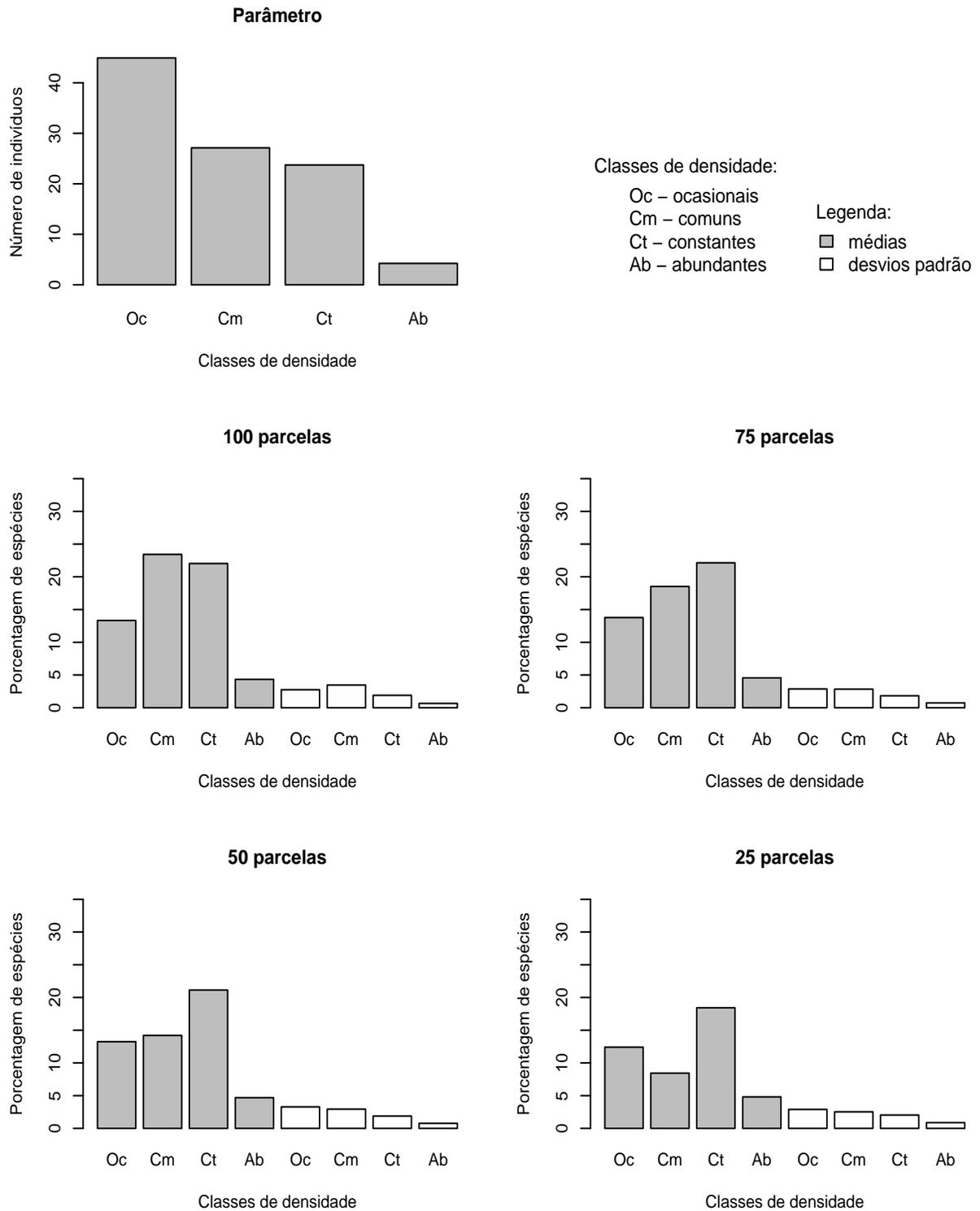


Figura 4.7 – Proporção de espécies por classe de densidade, para toda a parcela permanente (parâmetro) e para cada intensidade amostral de parcela de 10 x 10 m analisada

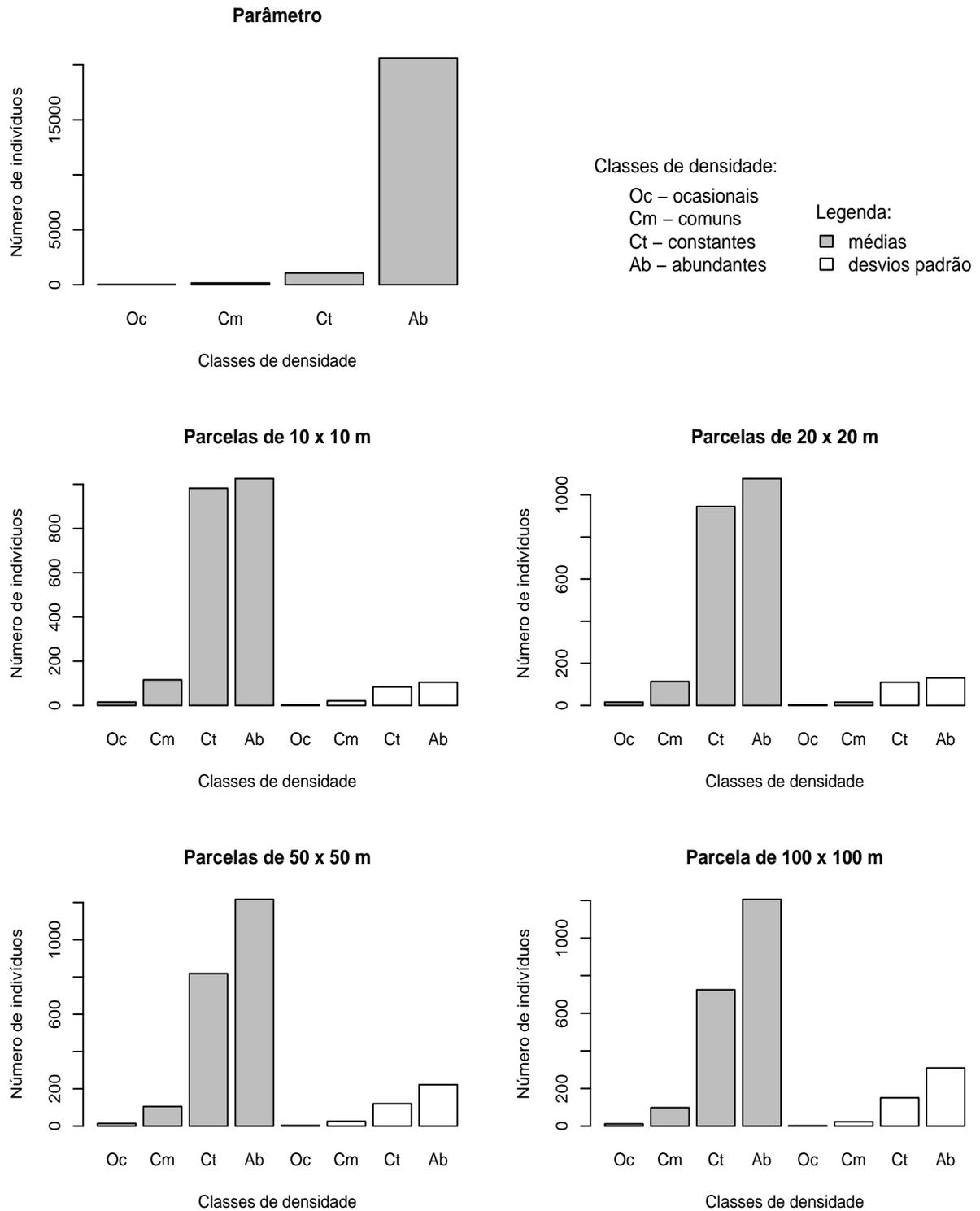


Figura 4.8 – Proporção de indivíduos por classe de densidade, para toda a parcela permanente (parâmetro) e para cada tamanho de parcela analisado

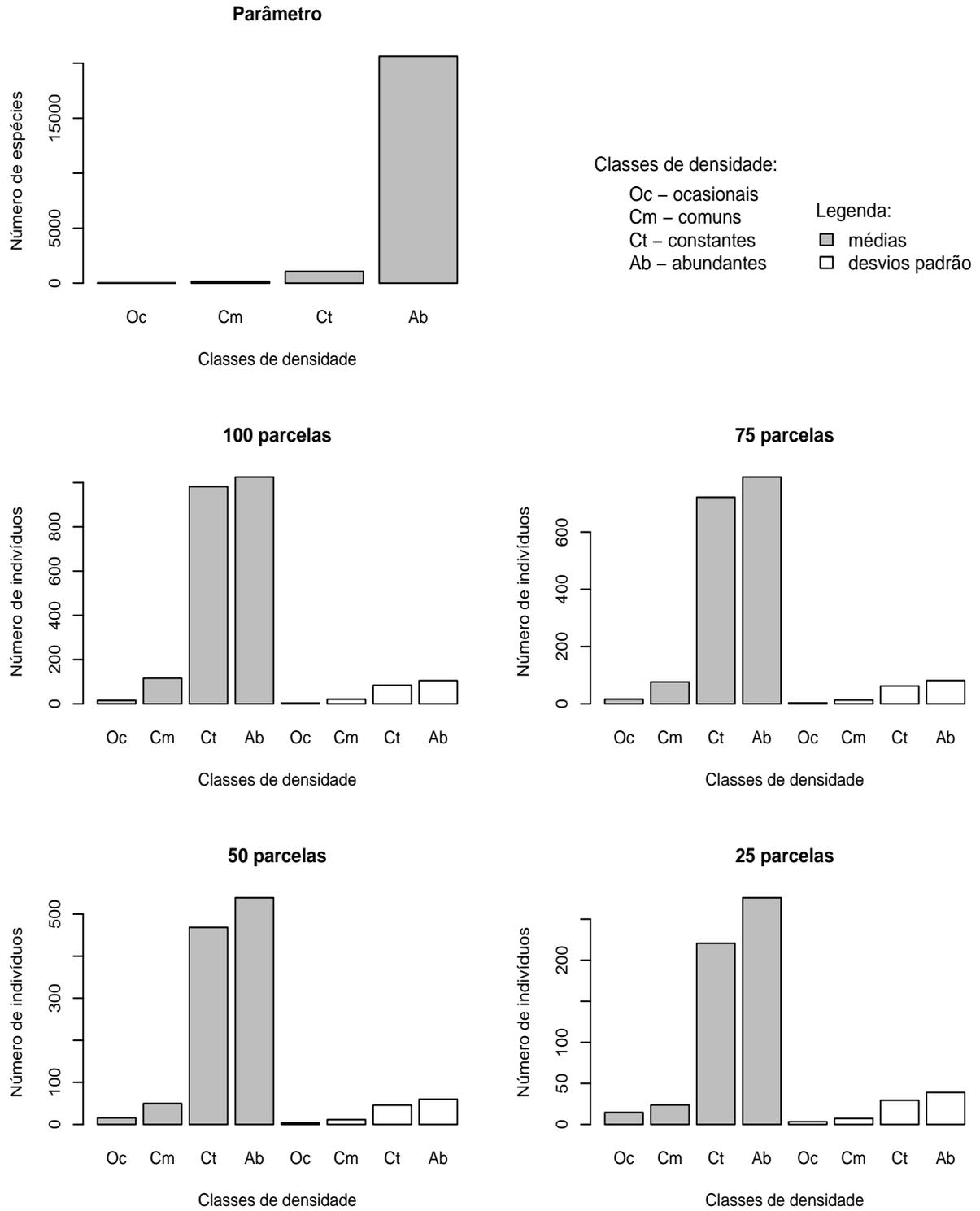


Figura 4.9 – Proporção de indivíduos por classe de densidade, para toda a parcela permanente (parâmetro) e para cada intensidade amostral de parcela de 10 x 10 m analisada

4.4 Conclusão

Os atributos referentes à comunidade como um todo, sem levar em consideração as espécies individualmente, podem ser bem estimados com dados de levantamentos fitossociológicos. Para isso é preciso escolher com cuidado o tamanho das parcelas empregadas no levantamento, bem como sua quantidade e o espaçamento entre elas, procedimentos usuais na escolha de método para qualquer amostragem.

Parcelas pequenas demais podem incluir apenas manchas ou “vazios” decorrentes de distribuições espaciais mais agrupadas dos indivíduos, tornando a heterogeneidade entre parcelas maior do que dentro das parcelas e resultando em estimativas com distribuições assimétricas. Uma boa cobertura espacial da área estudada também é fundamental.

Referências

- BATISTA, J.L.F.; SCHILLING, A.C. Um algoritmo matricial para construção da curva de acumulação de espécies. **METRVM**, Piracicaba, n.3, 12p., 2006. Disponível em <<http://lmq.esalq.usp.br/METRVM/>>. Acesso em: 18 jan. 2007.
- CAPRETZ, R.L. **Análise dos padrões espaciais de árvores de 4 formações florestais do Estado de São Paulo, através de análises de segunda ordem (Função K de Ripley)**. 2004. 79p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- COCHRAN, W.G. **Sampling Techniques**. New York: John Wiley, 1977. 448p.
- COLEMAN, B.D.; MARES, M.A.; WILLIG, M.R.; HSIEH, Y. Randomness, area and species richness. **Ecology**, Washington, v.63, p.1121-1133, Aug. 1982.
- GASTON, K.J. Species richness: measure and measurement. In: **Biodiversity, a biology of numbers and difference**. Oxford: Blackwell Science, 1996. chap. 4, p. 77-113.
- KAGEYAMA, P; GANDARA, F.B. Recuperação de áreas ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO-FILHO, H.F. (Ed.). **Matas ciliares**. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2004. cap. 15.2, p.249-269.
- KILBURN, P.D. Analysis of the species-area relation. **Ecology**, Washington, v.47, p.831-843, Sept. 1966.
- MAGURRAN, A.E. **Measuring biological diversity**. Oxford:Blackwell Publishing, 2004. 256p.
- MÜELLER-DOMBOIS, D.; ELLEMBERG, H. **Aims and methods of vegetation analysis**. New York:Wiley, 1974. 574p.

R Development Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, 2006. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 20 Jul. 2006.

VENABLES, N.N.; RIPLEY, B.D. **Modern applied statistics with S-Plus**. New York: Springer, 1994. 512p.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A principal contribuição desse trabalho seja, talvez, no sentido de alertar em como a metodologia empregada determina o resultado que teremos. E a metodologia envolve, antes de mais nada, a definição do objeto de estudo. Para qualquer estudo fitossociológico realizado no Brasil, o objeto de estudo será porções menores ou maiores de florestas altamente diversas. E não é novidade para nenhum pesquisador que essa alta diversidade se deve à alta quantidade de espécies que ocorrem com pouquíssimos indivíduos, as espécies raras. Ao amostrar essas florestas com métodos de fitossociologia a tendência é que a proporção de espécies na amostra seja semelhante à proporção de espécies na floresta, ou seja, que tenham muitas espécies com pouquíssimos indivíduos, e mesmo assim o grupo das espécies raras, chamado ao longo desse trabalho de “espécies ocasionais”, já é subamostrado, enquanto proporção de número de espécies por classe de densidade (conforme resultados apresentados no Capítulo 4).

Embora o esforço de amostragem fique “mascarado” pelo número total de parcelas, quando estimamos os valores por espécie, é como se só tivéssemos amostrado aquelas parcelas em que a espécie ocorre, e assim, não é raro que estimemos a densidade (e dominância) de uma espécie com base em apenas uma unidade amostral, já que muitas espécies são incluídas na amostra com apenas um indivíduo. Dessa forma, estimar atributos por espécie com base em levantamentos que visam a comunidade, só funciona para aquelas espécies que são incluídas com muitos indivíduos na amostra. Mas mesmo essas espécies que têm seus atributos absolutos bem estimados, quando esses atributos são transformados em valores relativos e usados para ranquear essas espécies, de forma a identificar aquelas mais “importantes” da comunidade, outro problema surge. Essa ordenação é muito instável entre diferentes amostras e, portanto, não deve ser usada para “descrever” a comunidade (Capítulo 2).

Um dos motivos que pode levar espécies abundantes a apresentar valores de importância distintos entre amostras é sua distribuição espacial, que faz com que em diferentes amostras sua abundância varie. Sabe-se que a distribuição espacial das árvores não segue um padrão totalmente aleatório, e as espécies que ocorrem de forma agrupada tendem a ter estimativas com distribuições mais assimétricas. Mesmo as espécies abundantes, que não apresentam viés em suas estimativas por terem muitos indivíduos, por apresentarem distribuição espacial agrupada, possuem distribuições assimétricas da estimativa de densidade, e essa característica inviabiliza a associação de medidas de incerteza, como intervalos de confiança (Capítulo 3).

Mas, sendo a comunidade o objeto de estudo da fitossociologia, alguns atributos de comunidade podem ser bem estimados com dados desse tipo de levantamento, sem que para isso seja necessário construir uma tabela onde os atributos são expressos por espécie (Capítulo 4).