

Análise quantitativa da influência de um novo paradigma ecológico: autocorrelação espacial

Miriam Plaza Pinto, Luis Mauricio Bini e José Alexandre Felizola Diniz-Filho

*Departamento de Biologia Geral, ICB, Universidade Federal de Goiás, C. P. 131, 74001-970, Goiânia, Goiás, Brasil.
e-mail: bini@icb1.ufg.br*

RESUMO. O objetivo desse trabalho foi o de avaliar a influência da autocorrelação espacial (ausência de independência estatística de observações obtidas ao longo do espaço geográfico) nos estudos ecológicos. Para tanto, uma avaliação dos trabalhos que empregaram os métodos necessários para a quantificação da autocorrelação espacial foi realizada, utilizando os dados fornecidos pelo "Institute for Scientific Information". Os resultados demonstraram que existe uma tendência crescente da utilização das análises de autocorrelação espacial em estudos ecológicos, e que a presença de autocorrelação espacial significativa foi detectada na maior parte dos estudos. Além disso, esses estudos foram desenvolvidos em vários países, por cientistas de diferentes nacionalidades, com diferentes grupos de organismos e em diferentes tipos de ecossistemas. Dessa forma, pode-se considerar que o reconhecimento explícito da estrutura espacial dos processos naturais, por meio da análise da autocorrelação espacial, é um novo paradigma dos estudos ecológicos.

Palavras-chave: ecologia, paradigma, autocorrelação espacial, bibliometria.

ABSTRACT. Quantitative analysis of the influence of a new ecological paradigm: spatial autocorrelation. The aim of this paper was to evaluate the influence of the spatial autocorrelation (absence of independence among observations gathered along geographical space) in ecological studies. For this task, an evaluation of the studies that used spatial autocorrelation analysis was carried out using the data furnished by the Institute for Scientific Information. There is a positive temporal tendency in the number of studies that used spatial autocorrelation analysis. A significant autocorrelation was detected in most studies. Moreover, scientist of several nationalities carried out these studies in different countries, with different organisms and in different types of ecosystems. In this way, it is possible to consider that the explicit incorporation of the spatial structure of natural processes, through the autocorrelation analysis, is a new ecological paradigm.

Key words: ecology, paradigm, spatial autocorrelation, bibliometry.

Introdução

A ecologia como ciência tem sido alvo de diversas críticas, por exemplo, falta de paradigmas (conjunto de conceitos compartilhados por cientistas, uma coleção de acordos sobre como os problemas devem ser entendidos), falta de rigor científico e fraca capacidade de predição (Peters, 1991). No entanto, alguns avanços importantes no sentido de tornar a ecologia uma ciência mais robusta podem ser observados nos últimos dez anos. Dentre eles, o reconhecimento explícito da dimensão espacial dos fenômenos ecológicos pode ser apontado como um avanço central (Tilman e Kareiva, 1997), já que por muito tempo os modelos ecológicos buscavam compreender apenas a variação temporal dos fenômenos ecológicos (e.g. modelos de crescimento exponencial, logístico e modelos de Lotka-Volterra para predação e competição interespecífica). Em

outras palavras, tais modelos buscavam avaliar como o atributo de interesse (densidade, nos exemplos acima citados) variava ao longo do tempo, sem nenhuma preocupação com a dimensão espacial.

Em um momento inicial, os estudos que consideraram a dimensão espacial enfocavam a descrição dos padrões espaciais (i.e. aleatório, uniforme e agregado), ou seja, como os indivíduos de uma determinada população estavam distribuídos no espaço geográfico, e os possíveis mecanismos responsáveis por esses padrões (Ludwig e Reynolds, 1988). Atualmente, o maior interesse está relacionado à variação contínua de atributos mensurados em diferentes níveis hierárquicos. Além disso, o espaço geográfico tem sido explicitamente incorporado em diversas teorias ecológicas (e.g. metapopulação e sincronia espacial). A incorporação da dimensão espacial nessas teorias tem sido

considerada um novo paradigma em ecologia (Legendre, 1993; Lichstein *et al.*, 2002). De fato, a presença de estrutura espacial em estudos ecológicos pode apresentar profundas implicações na elaboração de delineamentos amostrais (Legendre *et al.*, 1989), na interpretação de resultados obtidos em estudos de campo, experimentais ou não, que buscam encontrar relações causais entre variáveis respostas e variáveis explanatórias (e.g. relação entre a abundância de alguma espécie e algum fator abiótico, concomitantemente mensurados em diferentes localidades; Legendre e Troussellier, 1988) e em estudos que objetivam a estimativa de parâmetros populacionais (Fortin *et al.*, 1989).

A estrutura espacial ou a autocorrelação espacial é uma propriedade geral de variáveis ecológicas. Considera-se que uma variável apresenta estrutura espacial, ou mais especificamente autocorrelação espacial, quando os valores da variável de interesse (e.g. riqueza de espécies) observados em pares de locais, com uma certa distância geográfica entre eles, são mais similares (autocorrelação positiva) ou menos similares (autocorrelação negativa) que o esperado para valores observados em pares de localidades escolhidos ao acaso (Legendre, 1993). De forma mais simples, a autocorrelação pode ser entendida como uma forma de dependência estatística entre as observações coletadas ao longo do espaço (autocorrelação espacial) ou ao longo do tempo (autocorrelação temporal; Box *et al.*, 1978). De acordo com essa definição, é possível reconhecer a principal influência da presença de autocorrelação espacial nos estudos ecológicos: a falta de independência estatística restringe a validade dos testes clássicos de inferência estatística (Legendre, 1993 e suas referências). Assim, mesmo em estudos experimentais, em condições laboratoriais, a falta de independência estatística entre as réplicas (autocorrelação espacial) pode acarretar a interpretação equivocada de análises de inferência estatística, um processo conhecido como pseudoreplicação (Hurlbert, 1984).

Neste trabalho, a importância da autocorrelação espacial, como um novo paradigma em ecologia, foi quantificada por meio de uma abordagem de “bibliometria” (Strehl e Santos, 2002). Posteriormente, procurou-se avaliar se os ecólogos brasileiros estão ou não seguindo esse novo arcabouço teórico que apresenta profundas implicações para a interpretação dos resultados obtidos em estudos de campo ou laboratoriais.

Material e métodos

A importância geral da autocorrelação espacial em estudos ecológicos foi quantificada por meio da

análise dos trabalhos que citaram Legendre e Fortin (1989). Para a seleção desse trabalho foram considerados os seguintes critérios: (i) o artigo deveria ser publicado em uma revista de ecologia com ampla divulgação (o periódico *Plant Ecology*, anteriormente *Vegetatio*, apresenta um fator de impacto igual a 0,822, de acordo com a lista Qualis criada pela Capes em 2000) e (ii) o artigo deveria apresentar um forte cunho metodológico (Legendre e Fortin, 1989 descreveram os diferentes métodos e objetivos da análise de autocorrelação espacial).

Utilizando a rotina “Cited Reference Search” do sítio “Institute for Scientific Information” (ISI, 2002), os resumos dos trabalhos que citaram Legendre e Fortin (1989) foram analisados quanto: (i) ao ano de publicação do artigo; (ii) à revista na qual o artigo foi publicado; (iii) à nacionalidade do autor principal, no caso de artigos com mais de um autor; (iv) à região geográfica onde os dados foram obtidos; (v) ao nível hierárquico (população, comunidade ou ecossistema); (vi) ao grupo taxonômico; (vii) ao tipo de ecossistema (aquático ou terrestre); (viii) ao método de autocorrelação espacial (e.g. correlograma, variograma, teste de Mantel) e (viii) à ocorrência ou não de autocorrelação espacial significativa.

Resultados

De acordo com o levantamento realizado, 425 artigos citaram o trabalho publicado por Legendre e Fortin (1989), desde 1989 até maio de 2002. O coeficiente de correlação linear de Pearson indicou que o número de artigos que citaram esse trabalho aumentou significativamente com o tempo (Figura 1; $r = 0,95$; $n = 12$ anos; $P = 0,0001$). Nesta análise, o ano de 2002 não foi considerado, tendo em vista que o levantamento foi realizado somente até o mês de maio daquele ano.

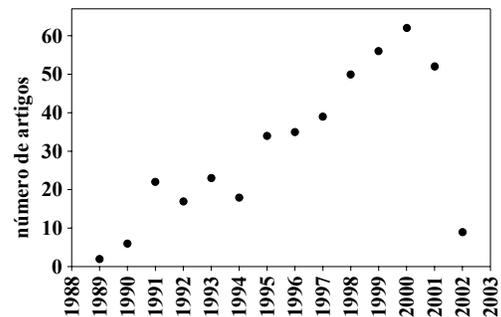


Figura 1. Número de artigos publicados ao longo dos anos (total = 425) que citaram o trabalho de Legendre e Fortin (1989). A pesquisa foi realizada até maio de 2002

Os trabalhos foram publicados por autores de 42 nacionalidades diferentes (Figura 2a). No entanto,

60% dos trabalhos foram desenvolvidos por autores de apenas 3 nacionalidades, a saber, Estados Unidos da América (116 artigos; 27,3%), Canadá (93; 21,9%) e França (40; 9,4%). Apenas 6 (1,4%) artigos foram publicados por brasileiros (Diniz e Bini, 1996; Pillar e Orloci, 1996; Bini *et al.*, 1997; Diniz e Fowler, 1998; Bini *et al.*, 2000; Guimaraens e Coutinho, 2000).

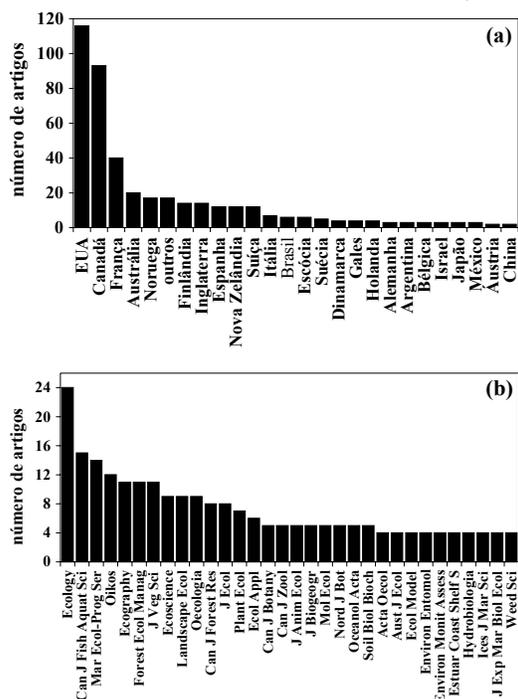


Figura 2. Nacionalidades dos autores (a) e principais revistas (b) que citaram o trabalho de Legendre e Fortin (1989), de 1989 até 05/2002 ($n = 425$ e 234 , respectivamente)

Os artigos analisados foram publicados em 165 revistas diferentes, porém a maior parte (80,6%; 133 revistas) continha menos de 4 artigos publicados. Dentre as 32 revistas com frequência maior ou igual a 4 artigos (Figura 2b), as seguintes podem ser destacadas quanto ao número de artigos que citaram Legendre e Fortin (1989): *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* (15 artigos), *Ecology* (24) e *Marine Ecology - Progress Series* (14).

Os esforços de pesquisa foram concentrados em vegetais superiores, com 169 artigos (praticamente 40% do total; Figura 3a). Estudos de autocorrelação espacial foram realizados predominantemente em ecossistemas terrestres (aproximadamente 62% dos artigos; Figura 3b) localizados na América do Norte (93; 21,9%) e na Europa (72; 17%; Figura 3c). A maioria dos trabalhos enfocou aspectos populacionais (67%), enquanto os estudos de ecologia de comunidades (20%) e de ecossistema foram menos abordados (7%; Figura 3d).

A análise dos trabalhos que citaram Legendre e Fortin (1989) demonstra que 211 (51,2%) trabalhos aplicaram, de fato, algum método de autocorrelação espacial (Figura 4a). No entanto, um grande número (172; 41,7%) apenas citou o trabalho e não apresentou como objetivo principal a mensuração da dependência espacial entre as observações. Vinte e nove trabalhos (7,03%) apresentaram como objetivo principal a discussão sobre a autocorrelação espacial em estudos ecológicos. Considerando apenas aqueles trabalhos cujos resumos apresentavam informações suficientes, foi possível verificar que a estatística I de Moran, o teste de Mantel e o semivariograma foram os métodos mais empregados (Figura 4b).

Em apenas 22,6% dos resumos analisados os autores deixaram claro se existiu ou não autocorrelação espacial. Considerando esses trabalhos, a maior parte apresentou autocorrelação espacial significativa (71%). Alguns trabalhos observaram que a presença ou não da autocorrelação espacial foi dependente da escala analisada (16%) e somente 13% não detectaram autocorrelação espacial significativa (Figura 4c).

Discussão

A análise da importância da autocorrelação espacial para a ecologia, como a realizada neste estudo, apresenta algumas restrições que devem ser destacadas. Por exemplo, somente periódicos que são indexados no *Institute for Scientific Information* foram analisados, e apenas os resumos foram utilizados para a extração dos dados. Desse modo, algumas informações importantes não foram adquiridas (e.g. porcentagem precisa de trabalhos que detectaram ou não autocorrelação espacial e número de unidades amostrais). No entanto, a primeira restrição atua no sentido de subestimar a importância do trabalho de Legendre e Fortin (1989). Em outras palavras, pressupõe-se que a aplicação de métodos de autocorrelação espacial está baseada nesse trabalho especificamente, em virtude do seu teor metodológico. No entanto, as pesquisas sobre autocorrelação espacial em ecologia podem citar outros artigos metodológicos que foram publicados em áreas correlatas à ecologia (e.g. genética; Sokal e Oden, 1978a,b). Com a finalidade de explicar os métodos de autocorrelação utilizados, os autores podem ainda citar os programas computacionais utilizados (e.g. EPA, 1988; Rohlf, 1989, Wartenberg, 1989) ou apenas artigos conceituais (e.g. Legendre, 1993). Desse modo, os resultados obtidos no presente estudo são conservativos (tendem a subestimar a importância do tema nos estudos ecológicos).

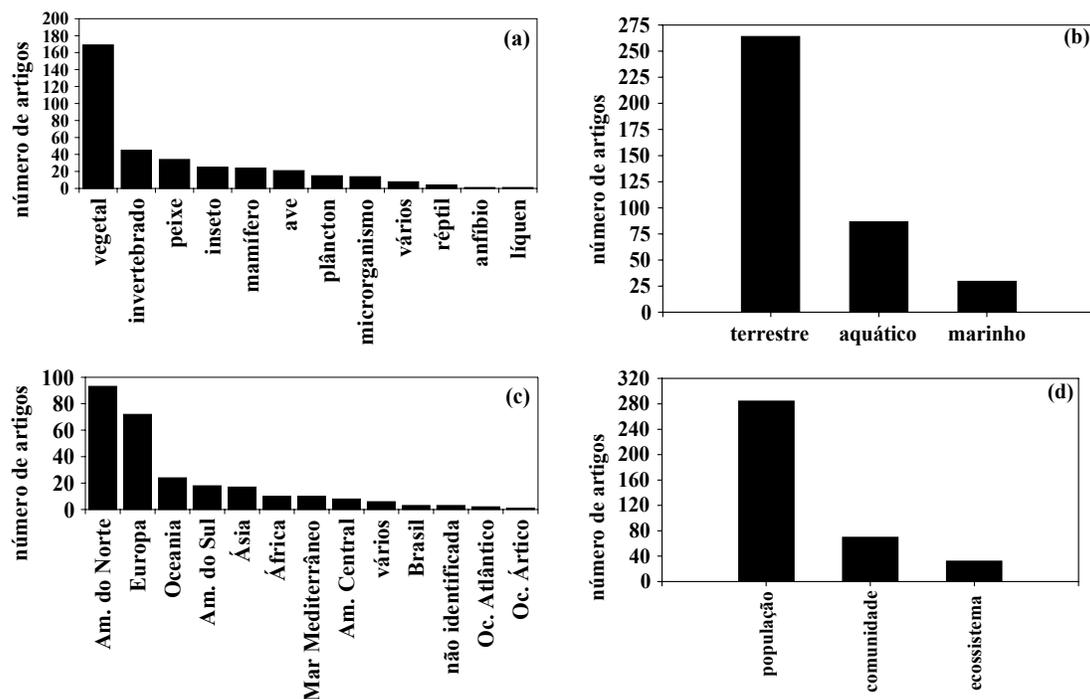


Figura 3. (a) Principais grupos de organismos estudados, (b) tipos de ecossistemas analisados, (c) regiões e (d) níveis hierárquicos utilizados nos trabalhos que citaram Legendre e Fortin (1989), ($n = 361, 381, 267$ e 386 , respectivamente)

O índice de “imediatismo” (II) (*immediacy*) do trabalho de Legendre e Fortin (1989), correspondendo ao número de vezes que um artigo de um periódico específico é citado durante o ano de publicação (ver Peters, 1991 e Strehl e Santos, 2002), foi baixo (2; incluindo uma “auto-citação” em Fortin et al., 1989). O II pode ser criticado, no entanto, tendo em vista que os valores desse índice são fortemente dependentes do mês de publicação do artigo. Em outras palavras, trabalhos publicados em dezembro apresentam, tudo mais sendo igual, um II menor que um trabalho publicado em janeiro. A expansão da janela temporal para o cálculo do II , entretanto, não alterou marcadamente os resultados, sendo que, neste caso, o índice foi igual a 3 (incluindo uma outra autocitação de Ardisson et al., 1990). A falta de programas computacionais para o uso das técnicas de autocorrelação espacial não parece ser uma explicação parcimoniosa para o baixo II do trabalho de Legendre e Fortin (1989), tendo em vista que um programa gratuito, denominado Geo-EAS, já estava disponível desde 1988 (EPA, 1988), e dois outros programas comercializados entraram no mercado no mesmo ano de publicação do artigo de referência usado neste estudo (NTSYS e SAAP, Rohlf, 1989 e Wartenberg, 1989, respectivamente). Desse modo, esses resultados

parecem confirmar que, de fato, os ecólogos apresentam, quando comparados a profissionais de outras áreas, menor rapidez na incorporação de novos arcabouços teóricos ou tecnologias (Peters, 1991).

A tendência de aumento temporal significativa dos trabalhos que citaram Legendre e Fortin (1989) pode ser interpretada de duas maneiras opostas. De acordo com Peters (1991), o uso recorrente de uma literatura antiga denota a “fraqueza” da ecologia. Por outro lado, uma tendência crescente de artigos voltados para um tema específico, nesse caso autocorrelação espacial, pode indicar a formação de um novo paradigma (Legendre, 1993). É necessário ressaltar, no entanto, que a falta de paradigmas em ecologia é a principal crítica feita por Peters (1991). Desse modo, a utilização freqüente do artigo de Legendre e Fortin (1989) pode ser vista como um ponto positivo de amadurecimento da ecologia como ciência.

Muitos estudos ecológicos, principalmente aqueles realizados em campo, são realizados ao longo do espaço geográfico. Um objetivo freqüente desses estudos é o de quantificar e testar a influência relativa de diferentes variáveis ambientais ou abióticas (e.g. variáveis climáticas, edafológicas e limnológicas) sobre algum atributo ecológico de

interesse (e.g. densidade, riqueza e produtividade primária). No entanto, a presença da autocorrelação espacial pode perturbar os testes de significância e, dessa forma, as relações detectadas podem ser, de fato, espúrias. O reconhecimento desse problema estimulou o desenvolvimento e a modificação de vários métodos estatísticos (e.g. Dutilleul, 1993; Diniz e Bini, 1994; Legendre *et al.*, 1990) que são adequados para a análise de dados autocorrelacionados. Esses resultados sugerem que a ecologia básica também pode contribuir para o desenvolvimento de outras áreas do conhecimento. Assim, infere-se que a falta de interesse nos artigos de ecologia, por parte de profissionais de outras áreas (outra crítica feita por Peters, 1991), poderá ser diminuída com a criação e/ou consolidação de paradigmas similares ao discutido neste estudo (e.g. biodiversidade).

Os resultados do presente estudo demonstram que a autocorrelação espacial é frequentemente detectada em estudos ecológicos (Figura 4c). Assim, a preocupação atual com esse problema em estudos ecológicos, realizados em diferentes escalas espaciais (Bini *et al.*, 1997; Lennon, 2000; Lichstein *et al.*, 2002), parece ser justificada. O maior número de estudos que detectaram autocorrelação significativa pode, em parte, ser explicado pelo “file drawer problem” (Hedges e Olkin, 1985), ou seja, existe uma tendência, em diferentes áreas da ciência, de que somente resultados significativos são publicados. No entanto, os resultados parecem robustos a esse problema, tendo em vista o grande número de estudos não-significativos que seria necessário para reduzir a importância da autocorrelação em estudos ecológicos. Outras linhas de evidência também sugerem que a incorporação da estrutura espacial na análise de dados está formando um novo paradigma em ecologia. Pesquisadores de várias nacionalidades (42 países; Figura 2a), trabalhando com diferentes grupos taxonômicos (Figura 3a), e em diferentes tipos de ecossistemas (Figura 3b), têm considerado a autocorrelação espacial em seus estudos, e, de acordo com uma abordagem sociológica (Strehl e Santos, 2002), a relevância de um trabalho científico pode ser indicada pelo número de pesquisadores interessados em um determinado tema (Peters, 1991). Realmente, o fator de impacto médio, considerando os índices de 2000, das três revistas com maior número de artigos que citam o artigo de referência utilizado neste estudo (Figura 2b) foi igual a 2,421.

No entanto, a despeito da grande frequência de estudos espaciais em ecologia em diversas regiões do mundo, as pesquisas que avaliam os efeitos da

autocorrelação espacial estão concentradas em poucos países. No Brasil, por exemplo, apenas 6 estudos citaram o trabalho de Legendre e Fortin (1989), e desses apenas 3 utilizaram, realmente, alguma análise de autocorrelação espacial. Possivelmente, a predominância de estudos com vegetais terrestres (Figuras 3a e 3b) decorre da maior facilidade em estudar organismos sésseis.

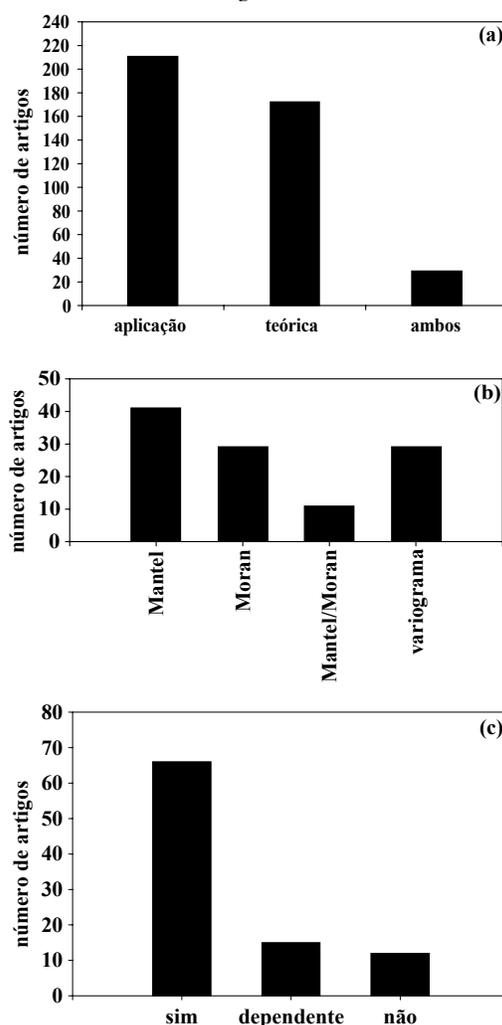


Figura 4. Enfoque principal (a), métodos utilizados (b) e frequência de autocorrelação espacial significativa (c) nos estudos que citaram Legendre e Fortin (1989). Em (c), “dependente”, significa que a presença de autocorrelação significativa foi dependente da escala espacial analisada ($n = 412, 110$ e 93 , respectivamente). Em (b), 23 trabalhos apenas citaram o termo geral “geoestatística” e não foram incluídos na figura

O objetivo principal deste trabalho foi demonstrar a importância de incorporar explicitamente a estrutura espacial em estudos ecológicos, e que esta é, de fato, uma tendência

mundial. Do ponto de vista ecológico, essa necessidade é justificada porque muitos ecossistemas não são espacialmente homogêneos (Dale et al., 2002). Por outro lado, muitos problemas ambientais (e.g. eutrofização de corpos aquáticos, poluição da água) apresentam tanto um componente temporal como espacial, sendo que, via de regra, maior ênfase é dada à variação temporal (e.g. o programa brasileiro de Pesquisa Ecológica de Longa Duração-PELD). No entanto, a predição ao longo do espaço é tão importante quanto a predição ao longo do tempo, como destacado por Cressie (1989): “Nevertheless, spatial prediction is just as important as temporal prediction, since people living in those cities and rural districts without monitoring stations have the same right to know whether their water or their air is polluted”. Assim, os métodos de análise de dados espaciais (denominados geoestatísticos) são importantes não apenas para controlar efeitos espaciais que, como destacado anteriormente, podem perturbar os testes de significância (Legendre et al., 2002), mas também oferecem diversas ferramentas de predição (e.g. krigagem; Rossi et al., 1992).

A falta de estudos em ecossistemas brasileiros com uma análise espacial aprofundada decorre principalmente da escassez de recursos. Desse modo, os estudos não priorizam nenhuma dimensão (espacial ou temporal) em particular. Por exemplo, um delineamento freqüentemente utilizado (e.g. em estudos limnológicos) consiste na coleta de dados em algumas poucas localidades e em duas épocas do ano (e.g. estiagem e chuvoso). A validade de tais estudos é incontestável, no entanto, grandes progressos podem ser alcançados com estudos que priorizam, em uma primeira fase, a dimensão espacial em busca de um delineamento ótimo que posteriormente poderá ser utilizado para estudos temporais. Como salientado por Legendre et al. (1989): “defining a sampling strategy on scientific grounds is a difficult but essential preliminary step of ecological research”.

Em resumo, o presente estudo sugere que a incorporação da estrutura espacial em estudos ecológicos representa um novo paradigma em ecologia. Infere-se também que os trabalhos de ecologia desenvolvidos no Brasil serão mais bem sucedidos em revistas de grande impacto, se considerarem a relevância desse novo paradigma.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, pelas bolsas concedidas (Bolsas de PQ para LMB e JAFD e IC para MPP), e à Funape, pelo auxílio financeiro concedido a LMB e JAFDF. As opiniões de dois

revisores anônimos foram fundamentais para melhorar a qualidade deste trabalho.

Referências

- ARDISSON, P.L. et al. Multivariate approach to study species assemblages at large spatiotemporal scales – The community structure of the epibenthic fauna of the Estuary and Gulf of St-Lawrence. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, Ottawa, v. 47, n. 7, p. 1364-1377, 1990.
- BINI, L.M. et al. Spatial variation of zooplankton groups in a tropical reservoir (Broa Reservoir, São Paulo State-Brazil). *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 357, p. 89-98, 1997.
- BINI, L.M. et al. Local and regional species richness relationships in viperid snake assemblages from South America: Unsaturated patterns at three different spatial scales. *Copeia*, Charleston, v. 3, p. 799-805, 2000.
- BOX, G.E.P. et al. *Statistics for experimenters. An introduction to design, data analysis and model building*. New York: John Wiley & Sons, 1978.
- CRESSIE, N. Geostatistics. *Am. Stat.*, Alexandria, v. 43, n. 4, p. 197-202, 1989.
- DALE, M.R.T., et al. Conceptual and mathematical relationships among methods for spatial analysis. *Ecography*, Copenhagen, v. 25, p. 558-577, 2002.
- DINIZ, J.A.F.; BINI, L.M. Space-free correlation between morphometric and climatic data - a multivariate-analysis of africanized honey-bees (*Apis-melifera* L) in Brazil. *Global Ecol. Biogeogr.*, Oxford, v. 4, n. 6, p. 195-202, 1994.
- DINIZ, J.A.F.; BINI, L.M. Assessing the relationship between multivariate community structure and environmental variables. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.*, Oldendorf Luhe, v. 143, p. 303-306, 1996.
- DINIZ, J.A.F.; FOWLER, H.G. Honey ants (Genus *Myrmecocystus*) macroecology: Effect of spatial patterns on the relationship between worker body size and geographic range size. *Environ. Entomol.*, Lanham, v. 27, n. 5, p. 1094-1101, 1998.
- DUTILLEUL, P. Modifying the T-test for assessing the correlation between 2 spatial processes. *Biometrics*, Washington, DC, v. 49, n. 1, p. 305-314, 1993.
- E. P. A. Environmental Protection Agency. *GEOEAS – Geostatistical Environmental Assessment Software*, 1988.
- FORTIN, M.J. et al. Spatial auto-correlation and sampling design in plant ecology. *Vegetatio*, Dordrecht, v. 83, n. 1-2, p. 209-222, 1989.
- GUIMARAENS, M.A.; COUTINHO, R. Temporal and spatial variation of *Ulva* spp. and water properties in the Cabo Frio upwelling region of Brazil. *Aquat. Bot.*, Amsterdam, v. 66, v. 2, p. 101-114, 2000.
- HEDGES, L.V.; OLKIN, I. *Statistical methods for Meta-Analysis*. San Diego: Academic Press, 1985.
- HURLBERT, S.H. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecol. Monogr.*, Washington, DC, v. 54, n. 2, p. 187-211, 1984

- ISI. Institute for Scientific Information. <<http://isi1.isiknowledge.com/portal.cgi>>. Acesso entre março e maio de 2002.
- LEGENDRE, P.; TROUSSELLIER, M. Aquatic heterotrophic bacteria – Modeling in the presence of spatial auto-correlation. *Limnol. Oceanogr.*, Lawrence, v. 33, n. 5, p. 1055-1067, 1988.
- LEGENDRE, P.; FORTIN, M.J. Spatial pattern and ecological analysis. *Vegetatio*, Dordrecht, v. 80, p. 107-138, 1989.
- LEGENDRE, P. *et al.* Design for simultaneous sampling of ecological variables: from concepts to numerical solutions. *Oikos*, Copenhagen, v. 55, p. 30-42, 1989.
- LEGENDRE, P. *et al.* Approximate analysis of variance of spatially autocorrelated regional data. *J. Classif.*, New York, v. 7, n. 1, p. 53-76, 1990.
- LEGENDRE, P. Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm? *Ecology*, Washington, v. 74, n. 6, p. 1659-1673, 1993.
- LEGENDRE, P. *et al.* The consequences of spatial structure for the design and analysis of ecological field surveys. *Ecography*, Copenhagen, v. 25, p. 601-615, 2002.
- LENNON, J.J. Red-shifts and red herrings in geographical ecology. *Ecography*, Copenhagen, v. 23, p. 101-113, 2000.
- LICHSTEIN, J.W. *et al.* Spatial autocorrelation and autoregressive models in ecology. *Ecol. Monogr.*, Washington, v. 72, p. 445-463, 2002.
- LUDWIG, J.A.; REYNOLDS, J.F. *Statistical ecology. A primer on methods and computing*. New York: John Wiley & Sons, 1988.
- PETERS, R.H. *A critique for ecology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1991.
- PILLAR, V.D.; ORLOCI, L. On randomization testing in vegetation science: Multifactor comparisons of releve groups. *J. Veg. Sci.*, Knivsta, v. 7, v. 4, p. 585-592, 1996.
- ROHLF, F.J. *NTSYS-Pc: Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System*. New York: Exeter publishers, 1989.
- ROSSI, R.E. *et al.* Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecol. Monogr.*, Washington, DC, v. 62, n. 2, p. 277-314, 1992.
- SOKAL, R.R.; ODEN, N.L. Spatial autocorrelation in biology. 1. Methodology. *Biol. J. Linn. Soc.*, London, v. 10, p. 199-228, 1978a.
- SOKAL, R.R.; ODEN, N.L. Spatial autocorrelation in biology. 2. Some biological applications of evolutionary and ecological interest. *Biol. J. Linn. Soc.*, London, v. 10, p. 229-249, 1978b.
- STREHL, L.; SANTOS, C.A. Indicadores de qualidade da atividade científica. *Ciência Hoje*, Rio de Janeiro, v. 31, p. 34-39, 2002.
- TILMAN, D.; KAREIVA, P. *Spatial ecology. The role of space in population dynamics and interspecific interactions*. Princeton: Princeton University Press, 1997.
- WARTENBERG, D. *SAAP: A Spatial Autocorrelation Analysis Program*. New Jersey: D. W., 1989.

Received on November 21, 2002.

Accepted on February 17, 2003.