

Análise do uso de tecnologias em estabelecimentos agropecuários por meio dos índices de Moran global e local¹

Renata Marconato²
Ana Paula C. Larocca³
José Alberto Quintanilha⁴

Resumo – Este artigo apresenta uma aplicação de técnica de análise exploratória de dados espaciais sobre dados de uso de tecnologias por parte de estabelecimentos agropecuários do País, com a finalidade de prospectar e justificar possíveis relações espaciais relacionadas ao uso das tecnologias. Os dados foram obtidos no Censo Agropecuário de 2006, e foram analisados por meio dos índices de Moran global e local. O trabalho apresenta uma breve revisão bibliográfica sobre a análise exploratória de dados espaciais e dos principais índices utilizados. Os resultados, visualizados no BoxMap, do diagrama de espalhamento de Moran e do MoranMap mostram que, para a maioria das características analisadas, há alta correlação espacial no uso de tecnologias nos municípios brasileiros, e que essa concentração está relacionada à produção de commodities do mercado internacional. Os resultados sugerem que, para algumas regiões do País, deve-se elaborar uma análise em escala menor, para identificar possíveis grupos (clusters) dentro dos estados ou de mesorregiões produtoras. O trabalho mostra que, para uma análise preliminar da distribuição espacial do uso de tecnologia na agropecuária, o uso do software TerraView mostrou-se satisfatório, e, por isso, sugere-se que seja adotado em estudos mais profundos com esses indicadores.

Palavras-chave: agricultura, análise espacial exploratória, autocorrelação espacial, índice de uso de tecnologias, LISA.

¹ Original recebido em 6/10/2011 e aprovado em 31/10/2011.

² Mestranda em Informações Espaciais pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. E-mail: remarcona@usp.br

³ Professora do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. E-mail: larocca.ana@usp.br

⁴ Professor do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. E-mail: jaquinta@usp.br

Investigating the use of technology in agricultural establishments using the global and local Moran index

Abstract – This paper presents an exploratory analysis of spatial data for the use of technology in agricultural establishments obtained from the Agricultural Census of 2006, more exactly, by means of the contents of Global and Local Moran Index. The paper presents a brief literature review on the exploratory analysis of spatial data and the main indices used. The results, obtained from BoxMap, diagram of Moran and MoranMap show that for the most traits analyzed, there is high spatial correlation in the use of technology in Brazilian cities, and that concentration is related to the production of commodities in the international market. The results suggest that for some regions of the country, it is interesting to prepare an analysis on a smaller scale, to identify clusters inside the States. The work shows that, for a preliminary analysis of the spatial distribution of the use of technology in agriculture, the use of TerraView software was satisfactory and the use provides the direction to be taken in case of a more elaborate study of these indicators.

Keywords: agriculture, exploratory spatial analysis, spatial autocorrelation, autocorrelation index, technologies use index, LISA.

Introdução

A agricultura brasileira é uma das principais fornecedoras mundiais de alimentos. O Brasil ocupa, de acordo com dados do Departamento de Agricultura Norte-Americano (Usda), o primeiro lugar nas exportações mundiais de suco de laranja, café, açúcar, álcool, carne vermelha, carne de frango, tabaco, soja e derivados, além de ser o terceiro maior exportador de milho e suínos (UNITED STATES, 2010).

Esse desempenho resulta de uma conjunção de fatores, como disponibilidade de solo, de água e de energia, os quais, somados ao desenvolvimento de uma tecnologia apropriada à agricultura tropical, levaram a um robusto crescimento da produtividade agrícola. Vale ressaltar que o ganho de produtividade e a expansão da agricultura no País foram frutos de vários elementos, como: de estudos e pesquisas motivadas a corrigir os baixos índices de fertilidade do solo em regiões como o Cerrado brasileiro, do desenvolvimento de novas técnicas de plantio e do aumento da intensidade do uso de máquinas nas propriedades rurais.

Apesar do histórico de sucesso, o Brasil ainda possui um grande potencial de crescimen-

to da produção agrícola, dada a sua disponibilidade de terras agricultáveis, que lhe garante permanecer na condição de um dos principais fornecedores de alimentos no mundo, suprimindo a crescente demanda por grãos, cereais e carnes, derivada do desenvolvimento econômico de certas nações, como a China e a Índia.

Sabe-se, porém, que, para continuar a obter êxito no crescimento da produção agrícola, o setor necessita não só de uma oferta segura de insumos agrícolas, como também da disseminação dos produtos e das técnicas para suprir o crescimento da demanda de grãos e carnes, sem provocar consideráveis decréscimos na qualidade de seus recursos naturais ou no tamanho de suas reservas florestais.

Analisar a configuração da distribuição geográfica da tecnologia agrícola brasileira, dada a sua dimensão continental, é de extrema importância para identificar áreas de déficit ou de alto desenvolvimento tecnológico, e suas relações com as demais configurações espaciais, como a infraestrutura de transporte ou a distribuição do tamanho das propriedades rurais.

Este artigo apresenta, na forma de um estudo introdutório, uma análise espacial exploratória dos dados de distribuição dos esta-

belecimentos agrícolas por uso de tecnologias, como adubação, defensivos, máquinas agrícolas e técnicas de cultivo específicas, como o plantio direto.

O objetivo do estudo é elaborar uma análise de autocorrelação espacial das variáveis descritas, com base nos índices de Moran e Moran local, e utilizando software de distribuição gratuita.

Para essas análises, foram utilizados dados do Censo Agropecuário 2006 (IBGE, 2006), distribuídos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e o software TerraView (2010), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe).

Metodologia

Tomando por base dados sobre o uso de tecnologias nos estabelecimentos agrícolas, divulgados pelo Censo Agropecuário 2006 (IBGE, 2006), foi calculado um indicador de tecnologia (IT) por município, dividindo-se o número de estabelecimentos que utilizam uma certa tecnologia pelo número total de estabelecimentos agropecuários no País e multiplicando o quociente alcançado por 100.

Sobre o indicador do uso da tecnologia foram calculados o índice de Moran global e o índice de Moran local (LISA). A análise foi feita sobre o resultados do BoxMap, do gráfico de espalhamento de Moran e do MoranMap dos índices calculados.

Em seguida, foi elaborado um mapa que demarcou as regiões onde todos os indicadores haviam mostrado resultados significantes para o valor alto-alto no Moran Map, com o intuito de apresentar um esboço da distribuição dos estabelecimentos que apresentaram um sistema de produção com um maior uso de tecnologia.

Os dados brutos para a pesquisa foram extraídos do Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2006), por meio do Sistema de Recuperação Automática (Sidra), para o âmbito municipal, em todo o território nacional.

As informações consideradas relevantes para analisar a distribuição espacial do nível tecnológico da agricultura por município fazem parte do tópico “Características dos Estabelecimentos Agropecuários do Censo Agropecuário 2006” (IBGE, 2006).

São elas:

- Número de estabelecimentos agropecuários que usaram adubação.
- Número de estabelecimentos agropecuários que utilizaram agrotóxicos.
- Número de estabelecimentos agropecuários que utilizaram plantio direto na palha.
- Número de estabelecimentos agropecuários que possuem tratores com potência até 100 cavalos e com potência maior que 100 cavalos.
- Número de estabelecimentos agropecuários que usaram irrigação.

Também foi analisada a distribuição espacial da agricultura orgânica; aí, o dado analisado foi o número dos estabelecimentos agropecuários por município que fazem uso de agricultura orgânica.

Dada a natureza dos dados divulgados pelo Censo, foi necessário converter os dados brutos em um índice do nível de utilização dessas tecnologias. Para isso, os dados foram normalizados pelo número total de estabelecimentos agropecuários pesquisados para cada município, da seguinte forma:

$$IT = \frac{N_{em}}{N_{ep}} \times 100 \quad (1)$$

em que

IT é o índice por tecnologia por município.

N_{em} é o número de estabelecimentos que usam a tecnologia num dado município.

N_{ep} é o número total de estabelecimentos agrícolas do País.

O software usado, o TerraView (2010), é desenvolvido e distribuído gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). É um aplicativo construído sobre a biblioteca de geoprocessamento TerraLib (2010), que tem como principal objetivo, segundo seus desenvolvedores, o de apresentar à comunidade um fácil visualizador de dados geográficos com recursos de consulta à análise desses dados, além de exemplificar a utilização da biblioteca TerraLib.

O TerraLib é uma biblioteca de classes e funções para Sistemas de Informação Geográfica (SIG), disponíveis na internet como *open source*, que oferece um ambiente colaborativo para o desenvolvimento de várias ferramentas SIG. Seu principal objetivo é permitir o desenvolvimento de uma nova geração de aplicações de SIG, com base nos avanços tecnológicos em bancos de dados espaciais (TERRALIB, 2010).

O TerraView (2010) manipula dados vetoriais (pontos, linhas e polígonos) e matriciais (grades e imagens), armazenados em Sistemas de Bancos de Dados relacionais ou georrelacionais de mercado, incluindo Access, PostgreSQL, MySQL e Oracle.

O software possui um módulo de estatística espacial, que calcula o índice de Moran global e local, a estatística G e G^* e a média local, além de avaliar a significância do índice. Uma breve descrição dessas estatísticas é apresentada a seguir.

Revisão de literatura

Análise exploratória de dados espaciais

De acordo com Anselin (1993), a análise exploratória de dados espaciais (Exploratory Spatial Data Analysis – Esda) deve centrar-se explicitamente nos aspectos espaciais dos dados, no sentido de dependência espacial (associação espacial) e heterogeneidade espacial. Ou seja, essas técnicas devem ter por objetivo descrever distribuições espaciais, descobrir padrões

de associação espacial (*clusters* espaciais), sugerir vários regimes espaciais ou outras formas de instabilidade espacial (não estacionariedade) e identificar observações atípicas (*outliers*).

Anselin (1998) apresentou quatro grandes classes de técnicas de análise exploratória de dados espaciais: a visualização espacial das distribuições, a visualização espacial das associações, os indicadores locais de associação espacial e os indicadores multivariados de associação espacial.

A dependência espacial pode ser analisada tanto em termos globais, utilizando-se o índice de Moran, quanto em termos locais, empregando-se o índice de Moran local (Local Indicators of Spatial Association – Lisa). Na análise global, ter-se-á um resultado da associação espacial dos dados de uma região como um todo. Na local, serão obtidas estatísticas que indicam a dependência de cada localidade em relação à situação média de uma vizinhança definida a priori (ANSELIN, 1995).

A análise exploratória de dados espaciais vem sendo utilizada em estudos econômicos focados na concentração geográfica de uma determinada variável econômica.

Almeida et al. (2008) detectaram, por meio de uma análise exploratória de dados espaciais, pelo índice de Moran e pelo diagrama de dispersão de Moran, a presença de autocorrelação espacial para a produtividade da terra.

Neves e Luiz (2006) utilizaram as mesmas técnicas para analisar a distribuição da produção de café nos municípios do Estado de São Paulo.

Índice de Moran (I)

O índice de Moran nos fornece a medida geral da associação espacial existente no conjunto dos dados. O índice varia de -1 a 1, sendo que valores próximos de zero indicam a inexistência de autocorrelação espacial. Valores positivos indicam a existência de autocorrelação positiva. Isso indica que o valor do atributo correspondente a uma determinada localização no espa-

ço tende a ser semelhante ao dos seus vizinhos. Quando o índice exibe valores negativos, isso significa que existe uma autocorrelação negativa (inversa).

O índice de Moran pode ser descrito por:

$$I = \frac{Z^t \cdot W_z}{Z^t \cdot Z} \quad (2)$$

em que

W_z é o vetor das médias ponderadas.

Z é o vetor dos desvios.

Z^t é o transposto do vetor de desvios.

No caso, W_z é o vetor das médias dos ITs ponderadas pela distância entre os centróides dos polígonos que representam os municípios.

Para o cálculo do índice de Moran, uma primeira matriz, a matriz W de proximidade espacial, é calculada. Essa matriz é uma ferramenta geral, que descreve o arranjo espacial dos objetos (BAILEY; GATRELL, 1995).

Trata-se de uma matriz quadrada, com n^2 elementos, em que n indica o número total de objetos, e cada elemento w_{ij} que compõe a matriz representa uma medida de proximidade/distância entre o polígono i e o polígono j .

em que

w_{ij} é a distância entre o centróide do polígono que representa o município i e o centróide do polígono que representa o município j .

$ybarra$ = média dos y_i nos n municípios = média dos ITs nos n municípios y_i = média dos ITs no município i .

$z_i = y_i - ybarra$ = desvio das médias dos ITs de cada município em relação à média geral dos ITs.

Para o cálculo do vetor Z , dos desvios, primeiramente é calculada a média ($ybarra$) dos valores dos atributos (no caso, os valores de IT), considerando os n objetos (neste caso, os contornos dos municípios, doravante denominados

apenas de municípios). Cada elemento i de Z , z_i é obtido subtraindo-se o valor da média, do valor do atributo correspondente ($z_i = y_i - ybarra$).

O vetor de médias ponderadas (W_z) é obtido pela multiplicação do vetor transposto dos desvios (Z^t) pela matriz de proximidade espacial (W), com linhas normalizadas.

De uma forma geral, o índice de Moran presta-se a um teste cuja hipótese nula é de independência espacial. Nesse caso, seu valor seria zero. Significaria que os valores de IT variam aleatoriamente no espaço, sem nenhuma estruturação espacial.

Depois de calculado o índice de Moran, é importante estabelecer sua validade estatística. Ou seja, é necessário medir se os valores aferidos possuem uma correlação espacial significativa. Para tanto, é preciso associar ao índice uma distribuição estatística, sendo comum relacionar a estatística do teste à distribuição normal.

Outra possibilidade, sem pressupostos em relação à distribuição, e que é a abordagem mais comum, é um teste de pseudossignificância. Conforme Almeida et al. (2006), no teste de pseudossignificância, são geradas várias permutações dos atributos associados às regiões analisadas, e cada uma das permutações cria um novo arranjo espacial, redistribuindo os valores entre as áreas. Como apenas um dos arranjos corresponde à situação observada, pode-se construir uma distribuição empírica de I e, se o valor do índice I , medido originalmente, corresponder a um "extremo" da distribuição simulada, então, tratar-se-á de um valor com significância estatística.

Índice local de associação espacial (LISA)

Os indicadores globais de autocorrelação espacial, como é o caso do índice de Moran, fornecem um único valor como medida da associação espacial para todo o conjunto de dados. A hipótese testada é a de que não existe correlação espacial.

Esse índice é útil na caracterização da região de estudo como um todo, mas, quando se trata de um grande número de áreas, é possível que ocorram vários regimes de associação espacial e que apareçam máximos locais de autocorrelação espacial, em que a dependência espacial é ainda mais pronunciada (DRUCK et al., 2004).

Sendo assim, convém examinar esses padrões detalhadamente. Uma maneira de fazê-lo é utilizar indicadores de associação espacial que possam ser associados a diferentes localizações de uma variável distribuída espacialmente (DRUCK et al., 2004).

Esses indicadores locais produzem um valor específico para cada área, permitindo a identificação de agrupamentos de objetos com valores de atributos semelhantes (*clusters*), objetos anômalos (*outliers*) e de mais de um regime espacial.

Para Anselin (1995), um indicador local de associação espacial (LISA) é qualquer estatística que satisfaça dois requisitos: o LISA fornece uma indicação da extensão dos agrupamentos espaciais significativos de valores semelhantes em torno de uma observação, e a soma dos LISAs para todas as observações é proporcional a um indicador global de associação espacial.

Uma maneira de interpretar o índice local de Moran é considerar a existência de quatro quadrantes num gráfico W_z por Z (Figura 1), a partir da origem. Pontos localizados nos quadrantes $Q1$ e $Q2$ ($Z > 0$) indicam que o valor do atributo de uma zona específica é semelhante ao valor médio do mesmo atributo na sua vizinhança. Pontos localizados no $Q1$ significam que o índice é positivo para o valor de IT, tanto num dado município específico quanto nos vizinhos, e, em $Q2$ é o índice é negativo para o valor de IT naquele município específico e em relação aos valores de IT dos seus municípios vizinhos.

Pontos que estão localizados nos quadrantes $Q3$ e $Q4$ ($Z < 0$) indicam que o valor do IT de uma determinada região é muito diferente do valor médio dos ITs das regiões contíguas (valor positivo para o ponto e valor médio negativo

para os seus vizinhos no $Q4$, e valor negativo para o ponto e valor médio positivo para vizinhos na $Q3$). Essa é uma indicação de autocorrelação espacial negativa.

Segundo esses autores, regiões localizadas nos quadrantes $Q3$ e $Q4$ podem ser vistas como casos extremos, em relação à variável considerada, já que o valor do atributo não segue o padrão dos seus vizinhos.

Segundo Anselin (1994 citado por NEVES et al., 2000), um LISA tem de atender a dois objetivos: permitir a identificação de padrões de associação espacial significativos e ser uma decomposição do índice global de associação espacial.

O índice local de Moran é um LISA, sendo uma das formas de sua representação a expressão:

$$I_i = \frac{z_i \cdot W_{zi}}{\sigma^2} \quad (3)$$

em que

I_i é o índice local para o município i .

z_i é o valor do desvio do município i .

W_{zi} é o valor médio dos desvios dos municípios vizinhos de i .

σ^2 é a variância da distribuição dos valores dos desvios.

A significância estatística do uso do índice de Moran local pode ser computada da mesma forma como se fez para o índice global. Para cada área, calcula-se o índice local e permuta-se aleatoriamente o valor das demais áreas, até se obter uma pseudodistribuição para a qual se possam computar os parâmetros de significância. Uma vez determinada a significância estatística do índice local de Moran, é útil gerar um mapa que indique as regiões que apresentam correlação local significativamente diferente daquela do resto dos dados. Essas regiões podem ser vistas como “bolsões” de não estacionariedade, pois são áreas com dinâmica espacial própria

e que merecem análise detalhada (QUEIROZ et al., 2009).

Gráfico de espalhamento de Moran

O índice de Moran global I descrito em (2) é formalmente equivalente ao coeficiente de regressão linear. Esse coeficiente indica a inclinação da reta de regressão (β_0) de Wz em Z (NETER; WASSERMAN, 1974).

A interpretação do índice de Moran como um coeficiente de regressão linear indica como construir um gráfico, para que se possa visualizar a associação espacial entre o valor do atributo de cada elemento (z_i) e a média dos valores dos atributos dos seus vizinhos (W_{zi}). Tal gráfico é denominado de gráfico de espalhamento de Moran. A Figura 1 apresenta sua construção.

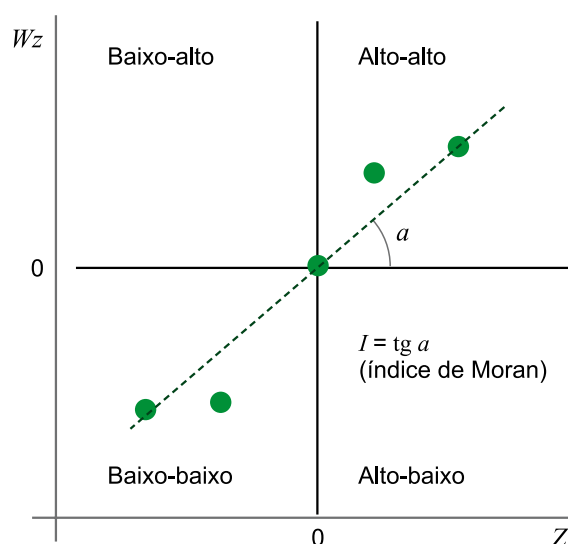


Figura 1. Gráfico de espalhamento de Moran.

Fonte: Druck et al. (2004).

Box Map, Lisa Map e Moran Map

Box Map, Lisa Map e Moran Map são três dispositivos gráficos de visualização baseados nos resultados obtidos para os indicadores locais e do gráfico de espalhamento de Moran.

No Box Map, cada município é classificado conforme sua posição em relação aos quadrantes do gráfico de espalhamento. Os valores apresentados variam de 1 a 4, e cada um representa a relação entre os valores de Z e Wz , como apresentados no gráfico de espalhamento de Moran. O valor 1 representa o quadrante $Q1$ (valores altos de Z e valores altos de Wz); o valor 2 representa $Q2$ (baixo baixo); o valor 3 representa $Q3$ (alto-baixo); e o valor 4, o quadrante $Q4$ (baixo-alto).

Na geração do Lisa Map, é avaliada a significância dos valores do índice de Moran local obtido para cada município, em relação à hipótese nula de não existência de autocorrelação espacial. Na avaliação da significância, é utilizada a abordagem de permutação dos atributos dos vizinhos. Nesse dispositivo, os índices locais são classificados como: a) não significantes (valor 0), com confiança de 95% ($p = 0,05$), representado pelo valor 1; b) com confiança de 99% ($p = 0,01$), representado pelo valor 2; e c) com confiança de 99,9% ($p = 0,001$), representado pelo valor 3.

No Moran Map, somente os municípios para os quais os valores de LISA foram considerados significantes ($p > 0,05$) são destacados, mas aparecem classificados em quatro grupos, conforme sua localização no quadrante do gráfico de espalhamento. Os demais municípios ficam classificados como sem significância.

No TerraView (2010), os valores apresentados pelo Moran Map são os seguintes: 0 – não significante, 1 – alto-alto, 2 – baixo-baixo, 3 – alto-baixo e 4 – baixo-alto.

Resultados e discussões

Em um primeiro momento, foi estimado o índice de Moran global para os oito grupos de dados acima mencionados, para obter-se um resultado preliminar dos indicadores (os valores estão listados na Tabela 1).

Em geral, foram encontrados altos índices para os dados analisados, ou seja, eles apresentaram elevada correlação espacial. O dado de estabelecimentos com uso de irrigação apresentou

Tabela 1. Valores do índice de Moran.

Característica analisada	Moran
Uso de adubo	0,78184
Uso de agrotóxico	0,745146
Uso de calcário	0,737114
Uso de irrigação	0,482502
Uso de plantio direto na palha	0,843714
Uso de tratores menores que 100 cv	0,773417
Uso de tratores maiores que 100 cv	0,591025
Uso de agricultura orgânica	0,048669

o menor índice ($I = 0,4825$), e o uso de plantio direto nos estabelecimentos também apresentou o maior índice ($I = 0,8437$). Os estabelecimentos que fazem uso de produção orgânica não apresentaram correlação espacial ($I = 0,048669$).

Além de mostrar a correlação espacial de cada tecnologia por meio do índice de Moran, foi calculada uma matriz de correlação linear (não espacial) entre os valores de IT para essas tecnologias (Tabela 2). Pela matriz de correlação, nota-se que os estabelecimentos que utilizam

adubação possuem maior correlação com os que utilizam agrotóxicos e calcário. Ao mesmo tempo, esses estabelecimentos não apresentam correlação com os que praticam a irrigação e a cultura orgânica. Estes últimos, por sua vez, não possuem correlação com o uso de agrotóxico, calcário, plantio direto ou uso de tratores. Uma correlação maior é apresentada pelos estabelecimentos que fazem uso de plantio direto e agroquímicos.

Para a apresentação dos resultados do índice local de Moran, foram escolhidos o Box-Map e o Moran Map, porque são duas formas de representação que sintetizam diversas informações dos resultados estimados.

A seguir, serão apresentados os BoxMap junto ao gráfico de espalhamento de Moran e MoranMap dos dados do estudo. Como já comentado, no BoxMap, cada município é classificado conforme sua posição em relação aos quadrantes do gráfico de espalhamento de Moran. O valor 1 representa o quadrante $Q1$ (alto-alto), o valor 2 representa $Q2$ (baixo-baixo), o valor 3 representa $Q3$ (alto-baixo) e o valor 4, o quadrante $Q4$ (baixo-alto).

Tabela 2. Matriz de correlação, via IT, entre o uso de tecnologia pelos estabelecimentos agrícolas.

	Adubo	Agro-tóxico	Calcário	Irrigação	Orgânica	Plantio direto na palha	Tratores menores que 100 cv	Tratores maiores que 100 cv
Adubo	1,00	0,65	0,82	0,02	0,01	0,48	0,28	0,18
Agrotóxico		1,00	0,59	-0,05	-0,14	0,64	0,24	0,15
Calcário			1,00	0,06	0,04	0,43	0,34	0,24
Irrigação				1,00	0,02	-0,05	0,07	0,05
Orgânica					1,00	-0,07	-0,02	-0,03
Plantio direto na palha						1,00	0,22	0,15
Tratores menores que 100 cv							1,00	0,64
Tratores maiores que 100 cv								1,00

O primeiro mapa apresenta o BoxMap para o dados de estabelecimentos que utilizam adubos. Nele, as áreas em cinza-escuro (1) correspondem ao valor 1, em que regiões com um alto indicador de estabelecimentos que usam adubos cercam-se de regiões com a mesma característica, evidenciando uma concentração dessa característica nas regiões Sudeste e Sul.

Isso faz sentido se considerarmos que as regiões de valores alto-alto, evidenciadas no mapa na cor cinza-escuro (1), são onde se concentram as maiores produções de soja e milho, no Sul, em Goiás e em Mato Grosso, de cana-de-açúcar, em São Paulo e no Nordeste, e de café, em Minas Gerais e no Espírito Santo. Essas culturas são commodities comercializadas no mercado internacional, cuja produção é feita principalmente por produtores mais profissionalizados. O índice de Moran global para esse dado é 0,7818.

O diagrama de espalhamento de Moran entre o desvio do município (Wz) e a média dos desvios dos municípios vizinhos (Z), no que se refere ao IT do uso de adubação, é apresentado na Figura 2. É possível ver, na equação dentro do gráfico, o índice global de Moran, que corresponde ao “Beta” de uma equação linear e é alto – nesse caso, de 0,7818. Na mesma figura, o BoxMap mostra as regiões onde há uso mais

intensivo de tecnologias, a saber: o sul-sudoeste do País e as regiões agrícolas do norte da Bahia e a porção central de Mato Grosso.

A Figura 3 apresenta o BoxMap e o gráfico de espalhamento de Moran, em que é indicado um alto índice de correlação, de 0,745, para os dados sobre o uso de agrotóxicos nos estabelecimentos agropecuários. Nota-se uma concentração geográfica dos estabelecimentos que usam agrotóxicos na região Sul do País. Também há concentração em Mato Grosso, São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo e Rondônia.

De acordo com dados do Sindicato da Indústria de Defensivos Agrícolas (SINDAG, 2010), as culturas que mais utilizam agrotóxicos são as culturas da soja, do milho e do algodão. Isso explica a concentração de valores alto-alto nas regiões Sul e Sudeste e em Mato Grosso. No Nordeste, a produção de frutas, que apresenta um maior nível tecnológico, explica a mancha de altos valores na região. Mas duas regiões – a mancha alto-alto em Rondônia e a existente entre o sul da Bahia e o norte de Minas – mostram características peculiares. A primeira corresponde à produção de café no Norte do Brasil, enquanto a segunda, à produção de frutas e feijão.

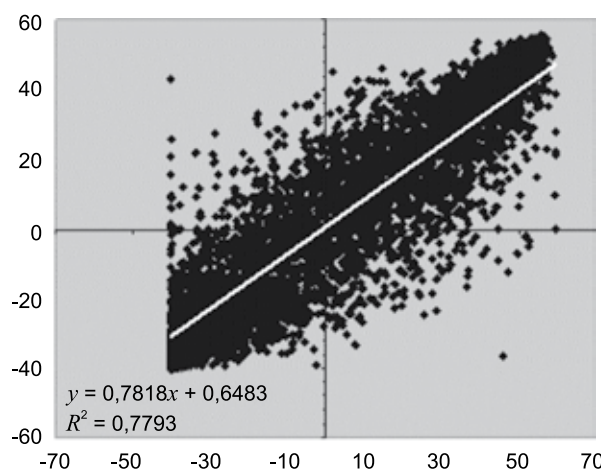


Figura 2. BoxMap e diagrama de espalhamento de Moran para o indicador de estabelecimentos que utilizam adubos.

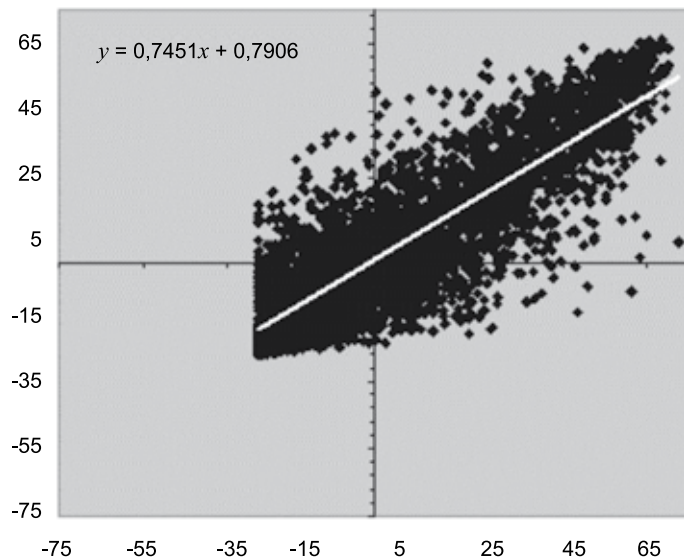
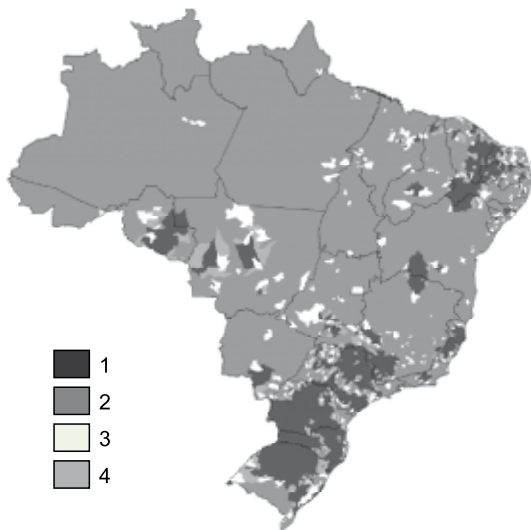


Figura 3. BoxMap e diagrama de espalhamento de Moran para o indicador de estabelecimentos que utilizam agro-tóxicos.

A Figura 4 apresenta os resultados para o dado de estabelecimentos que utilizam calcário como corretivo da acidez do solo. Novamente se sobressai a concentração de alta taxa de estabelecimentos que usam calcário nas regiões produtoras de commodities internacionais – ou seja, Sudeste e Sul do País e norte de Mato Grosso.

Nesse mapa, é possível visualizar, claramente, as regiões de transição entre os *clusters*

(valor 1) e as regiões de baixo uso da tecnologia (valor 2), como o entorno dos *clusters* de Mato Grosso, o qual apresenta municípios com um alto índice de estabelecimentos que utilizam tecnologia, cercados por municípios com baixo índice de utilização dela, e vice-versa (valores 3 e 4, respectivamente). O diagrama de espalhamento de Moran sobre o índice de uso de calcário também é apresentado na Figura 4, a seguir.

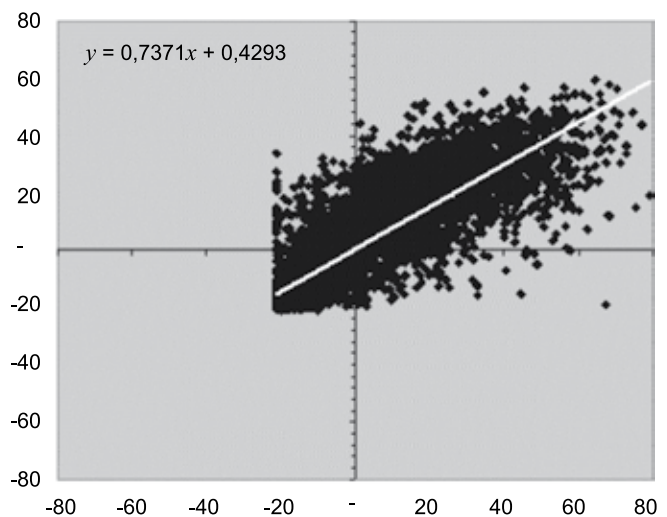


Figura 4. BoxMap e diagrama de espalhamento de Moran para o indicador de estabelecimentos que utilizam calcário.

Nota-se no gráfico que o índice global de Moran encontrado foi de 0,737 para essa variável.

O comportamento espacial observado nas Figuras 2 e 4, referente a adubo e a calcário, justificam o valor de 0,82 encontrado para a correlação linear não espacial dessas tecnologias.

O indicador de estabelecimentos que usam o plantio direto na palha é apresentado no BoxMap e no gráfico de espalhamento de Moran, na Figura 5. São visíveis dois *clusters* mais significativos nesse mapa: o do Sul brasileiro e o de Mato Grosso.

O sistema plantio direto (SPD) consiste num tipo de manejo do solo no qual a palha e os restos vegetais são deixados na superfície do solo, que é revolvido apenas no sulco onde são depositadas as sementes e os fertilizantes. Assim, as plantas infestantes são controladas por herbicidas, e o preparo do solo consiste exclusivamente na mobilização no sulco de plantio.

O maior agrupamento do indicador de estabelecimentos que usam o plantio direto no Sul do País reflete a consolidação dessa técnica nessa região, por ser ela a pioneira no seu uso. Com efeito, os primeiros experimentos com o plantio direto ocorreram no Rio Grande do Sul e no Paraná, no final da década de 1960.

Em Mato Grosso, a concentração do uso da técnica se dá por dois motivos: o fato de a região ter sido ocupada por produtores originários do Sul do Brasil, que levaram as técnicas agrícolas para essa nova fronteira, e por ela apresentar as culturas de soja e milho, nas quais a técnica é mais difundida.

Outra característica notável no BoxMap do uso do plantio direto é a disseminação de áreas de transição, de valor 3, alto-baixo, evidenciando a propagação do sistema pelas regiões produtoras do País, principalmente na área que hoje é considerada a fronteira agrícola do Brasil, na região que abrange o Maranhão, o Piauí, a Bahia e o Tocantins.

O índice de Moran global para o indicador de estabelecimentos que usam o plantio direto no município foi de 0,84, o maior encontrado nos dados analisados. O gráfico abaixo (Figura 5) mostra o espalhamento de Moran.

O BoxMap e o gráfico de espalhamento de Moran apresentam, a seguir, os dados sobre estabelecimentos que utilizam tratores com menos de 100 cavalos. Nota-se praticamente um único *cluster* sobre esse dado, e em regiões de transição no Centro-Norte brasileiro.

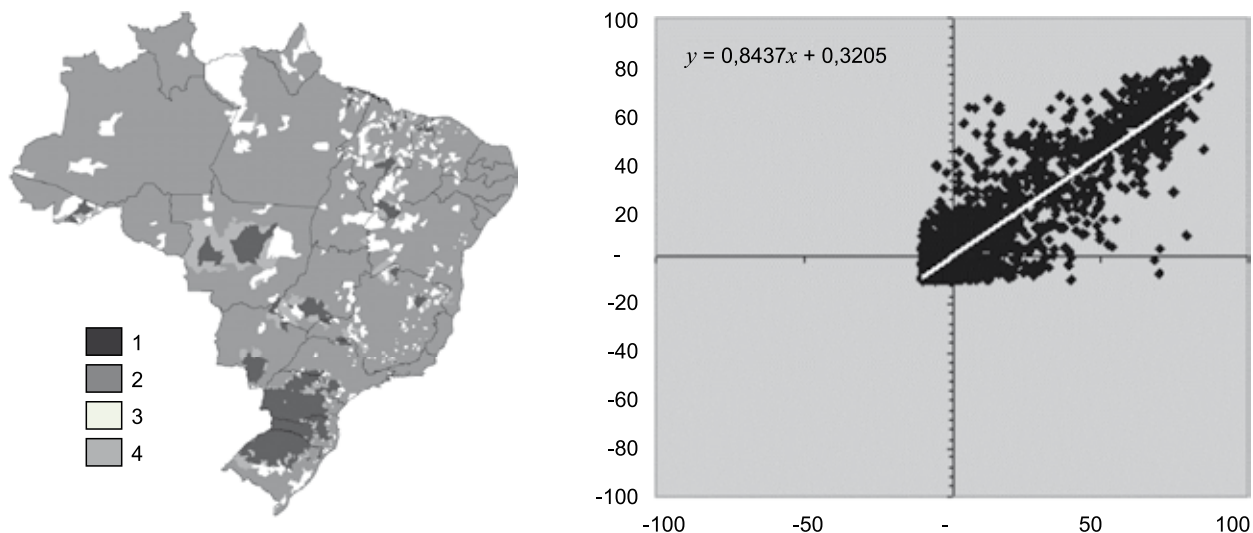


Figura 5. BoxMap e diagrama de espalhamento de Moran para o indicador de estabelecimentos que utilizam plantio direto.

Na Figura 6, nota-se que grande parte dos dados está no quadrante 1 do gráfico, o qual apresenta um índice global de Moran de 0,77. Isso indica que existe uma alta correlação espacial positiva dos dados, ou seja, os municípios que possuem alto indicador para uso de tratores é cercado por vizinhos com a mesma característica.

No BoxMap dos dados de estabelecimentos com uso de tratores de mais de 100 cavalos, de grande porte, verifica-se que praticamente todo o Estado de Mato Grosso configura parte do *cluster* de altos valores entre os vizinhos. Regiões de transição também se apresentam no entorno da Amazônia e na nova fronteira agrícola (Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia).

As regiões de valor 3 na Amazônia podem estar relacionadas com a extração de madeira e com a cultura da soja.

O índice global de Moran mostrado no gráfico de espalhamento de Moran para esse dado é de 0,59, mais baixo que para o dado de tratores de menos de 100 cavalos, o que indica uma menor concentração espacial para esta variável (Figura 7).

Para o dado do indicador de estabelecimentos que usam irrigação, o BoxMap e o gráfi-

co de espalhamento de Moran refletem o índice Moran mais baixo encontrado entre os dados analisados (0,48). As áreas com valor 1 (alto-alto) estão nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Bahia, no sul do Estado do Rio Grande do Sul e no interior do Nordeste.

Não há clara definição dos grupos (*clusters*) nesse mapa.

Na Bahia, o *cluster* relaciona-se com a cultura de algodão, e, no Nordeste, com a produção de frutas e feijão. Em São Paulo, a citricultura e a produção cana-de-açúcar são culturas que utilizam irrigação em algumas regiões específicas. No Estado de Minas Gerais, a cultura do café do Cerrado explica as manchas de valor 1 (alto-alto) para a irrigação. No extremo Sul do País, a região de concentração de valor 1 está relacionada à produção de arroz.

O BoxMap para o indicador estabelecimentos que utilizam irrigação (Figura 8) evidencia que uma análise em outra escala, que considerasse apenas os municípios dentro do estado, poderia trazer mais informações que na escala nacional, como ocorre nos demais.

Nota-se no gráfico de espalhamento de Moran que há uma grande dispersão dos dados em relação ao eixo de tendência e apenas no Q1.

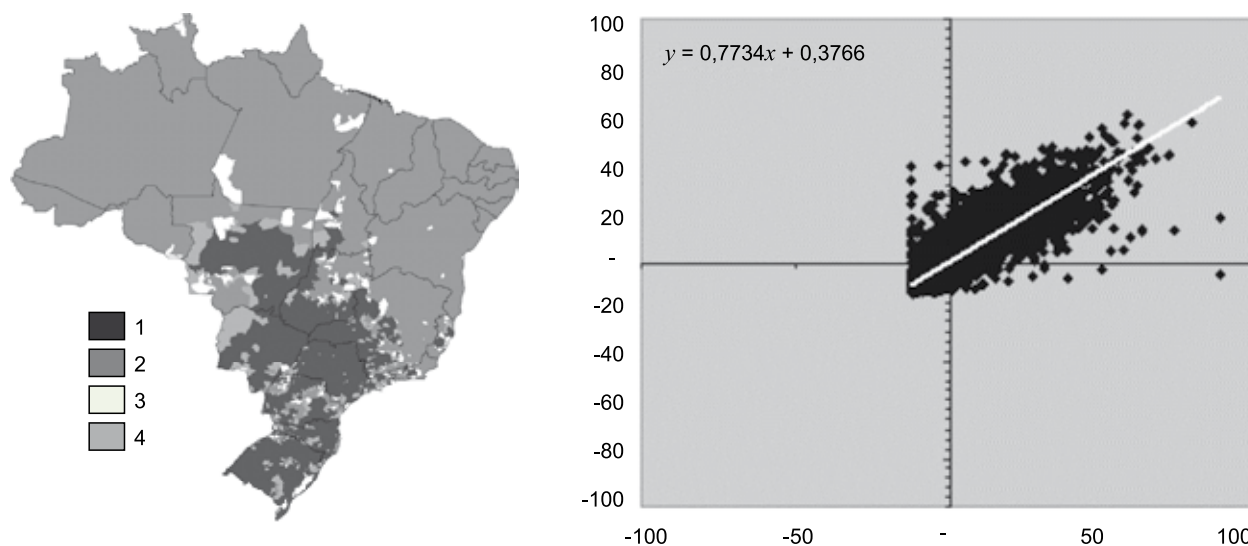


Figura 6. BoxMap e diagrama de espalhamento de Moran para o indicador de estabelecimentos que utilizam tratores com menos de 100 cavalos.

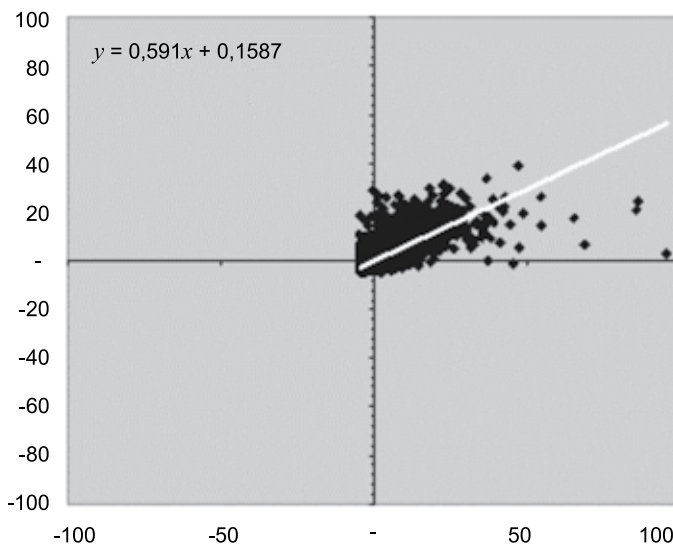


Figura 7. BoxMap e diagrama de espalhamento de Moran para o indicador de estabelecimentos que utilizam tratores com mais de 100 cavalos.

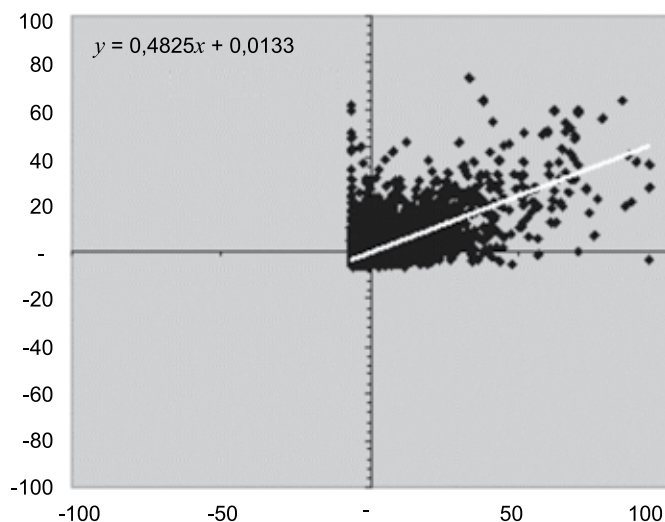


Figura 8. BoxMap e diagrama de espalhamento de Moran para o indicador de estabelecimentos que utilizam irrigação.

Na sequência, são apresentados o Box-Map e o gráfico de espalhamento de Moran para o indicador de estabelecimentos que praticam a cultura orgânica (Figura 9). Esse dado não apresentou correlação espacial (índice de Moran global de 0,04). Isso pode ser claramente visualizado no mapa. Ainda sim, vale notar que, no Estado de Minas Gerais, há um pequeno *cluster* de valor (alto-alto), assim como no sul do Rio Grande do Sul.

O diagrama de espalhamento de Moran apresenta ausência de correlação espacial dos dados ($I = 0,04$).

Na sequência, são apresentados os MoranMap para todas as características analisadas (Figura 10).

Como comentado no início do artigo, no Moran Map, somente os municípios para os quais

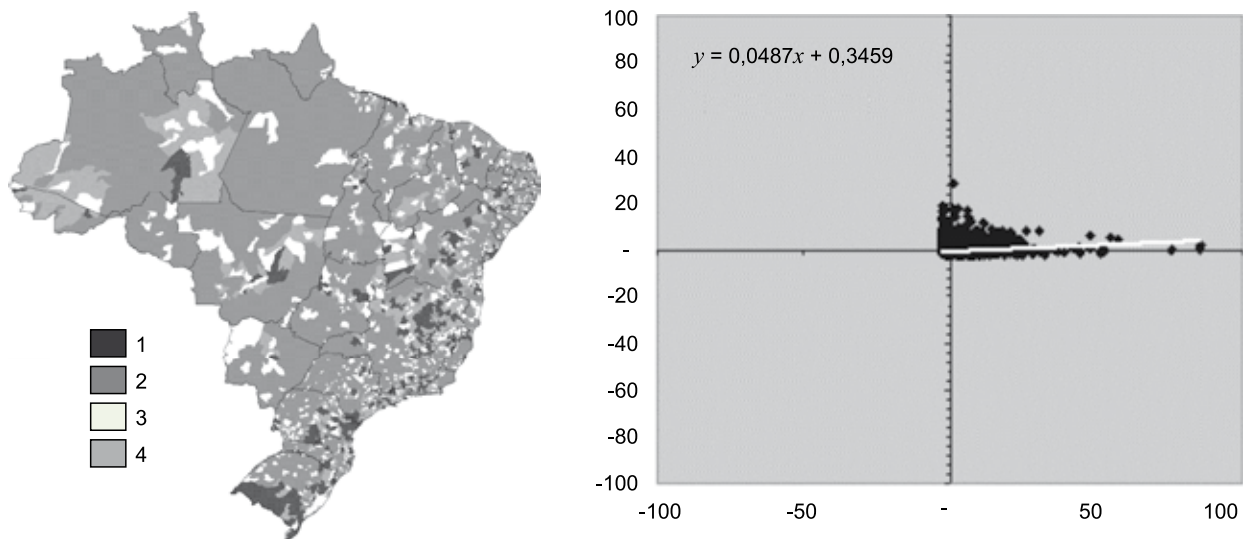


Figura 9. BoxMap e diagrama de espalhamento de Moran para o indicador de estabelecimentos que utilizam agricultura orgânica.

os valores LISA foram considerados significantes ($p > 0,05$) são destacados, mas aparecem classificados em quatro grupos, conforme sua localização no quadrante do gráfico de espalhamento. Nos mapas a seguir, os demais municípios, sem significância, ficam classificados em branco.

A cor cinza-escuro apresenta os municípios classificados no quadrante $Q1$ (alto-alto), e a cinza, no $Q2$ (baixo-baixo). Os tons de cinza-claro referem-se aos quadrantes $Q3$ e $Q4$.

O mapa a seguir (Figura 11) apresenta uma sobreposição dos MoranMap de todas as indicadores analisados, com exceção do indicador de uso de agricultura orgânica.

O procedimento utilizado para a confecção do mapa foi selecionar somente as regiões de valor alto-alto significativas de todos os MoranMap criados, e sobrepor essas regiões com o uso de um software SIG (Sistema de Informações Geográficas).

As regiões mais escuras indicam os municípios onde todos os MoranMap apresentaram valor alto-alto significativos. As regiões mais claras indicam municípios onde apenas um dos MoranMap sobrepostos apresentou valor alto-alto significativo.

O mapa foi criado para dar uma indicação das regiões com maior concentração de estabe-

lecimentos agropecuários tecnificados, considerando-se as tecnologias avaliadas no estudo.

Nota-se que as regiões mais tecnificadas do Brasil concentram-se no Sul e no Sudeste (estados de São Paulo e Minas Gerais). Verifica-se, nesse mapa, um aspecto bastante peculiar: a existência de um “corredor tecnológico” ligando o noroeste de São Paulo ao oeste do Paraná.

Mato Grosso apresenta um foco de tecnologia mais concentrada, cercado por regiões de usos diversos de várias tecnologias, área que pode ser considerada de transição ou de dispersão da tecnologia originada na região central.

Conclusões

O presente estudo mostrou que, com o uso de ferramentas simples de análise de correlação espacial, é possível obter informações que não seriam tão facilmente observadas pelo simples mapeamento dos dados.

Aplicando-se a análise exploratória aos indicadores de uso de tecnologia pelos estabelecimentos agropecuários, por meio do índice global de Moran e do índice local de Moran, observou-se a existência de conglomerados (*clusters*) de uso de tecnologia, associados, na

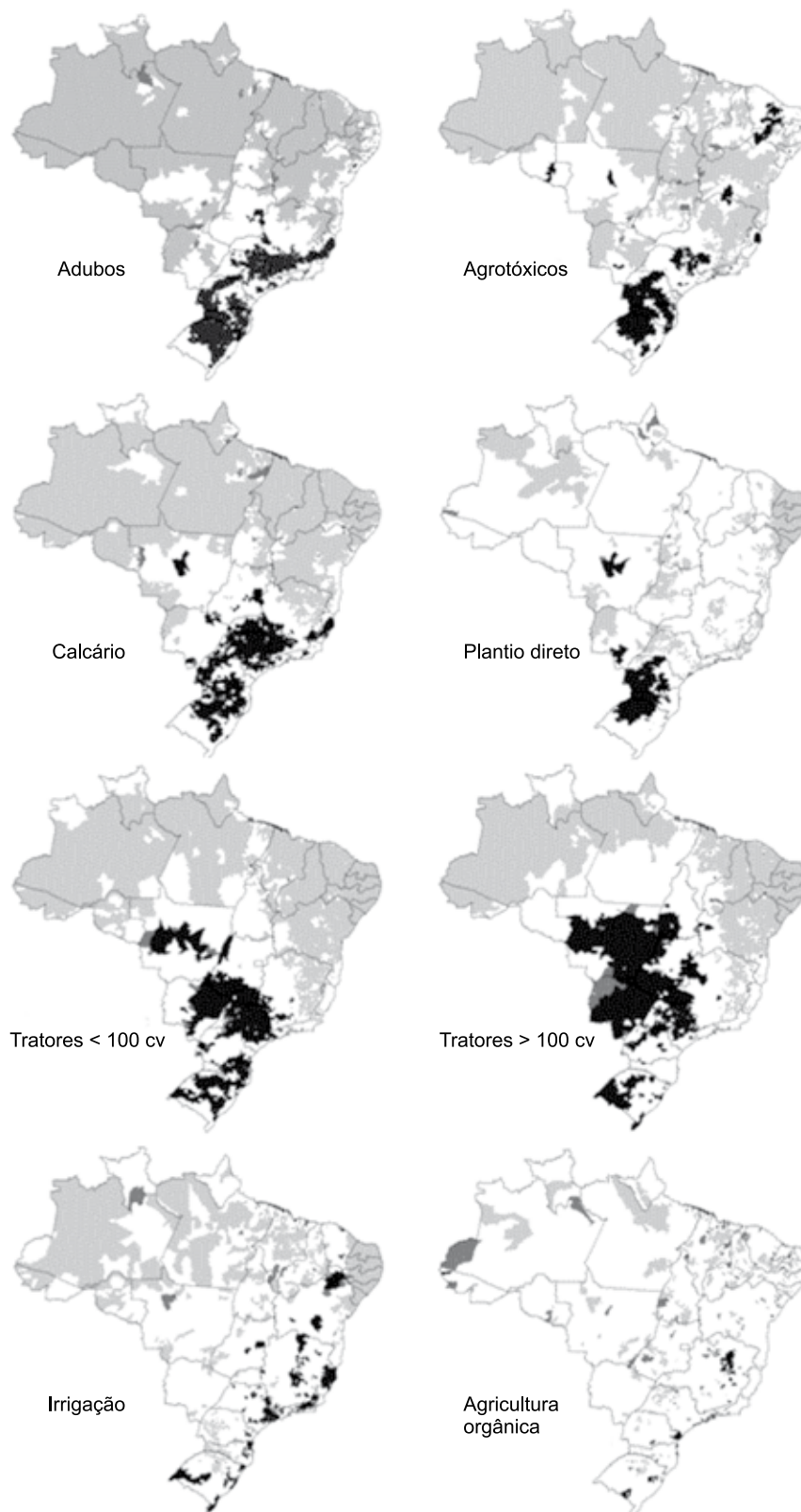


Figura 10. MoranMap dos indicadores de uso de tecnologia pelos estabelecimentos.

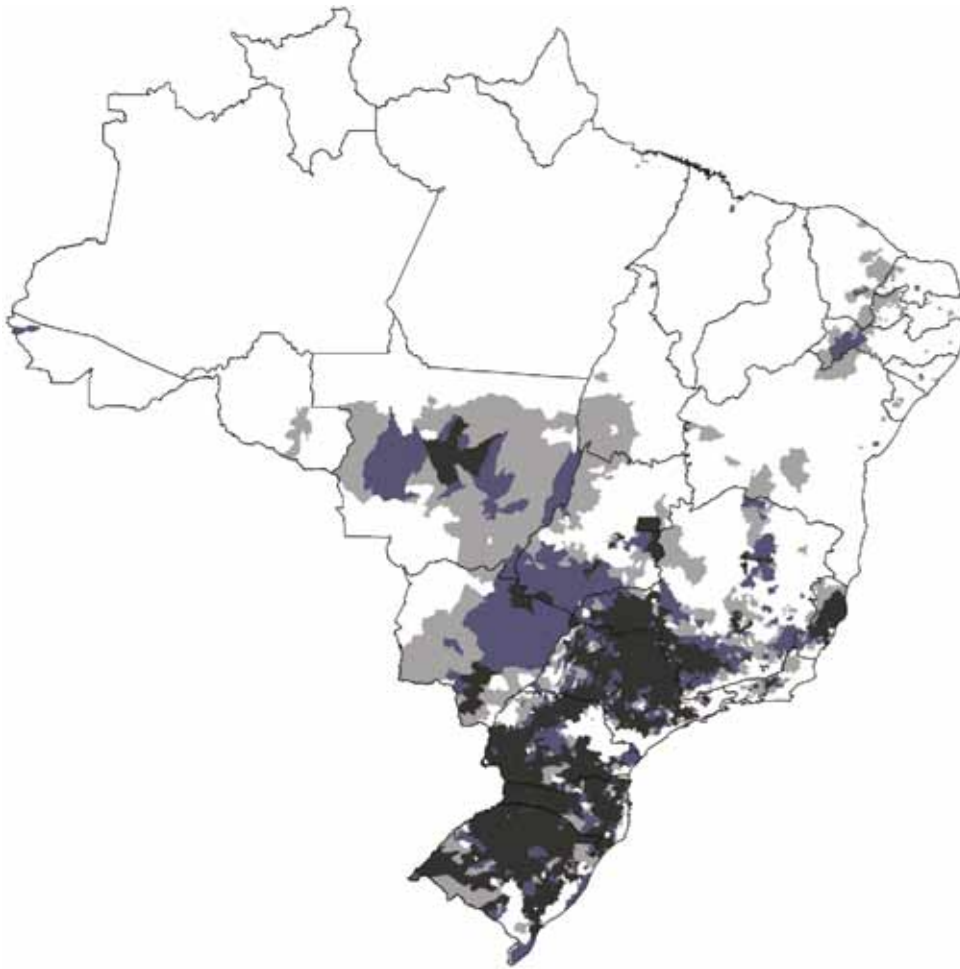


Figura 11. Sobreposição das regiões de valor alto-alto significantes dos dados analisados, exceto a agricultura orgânica.

maioria dos casos, a regiões agrícolas consolidadas, como foi o caso do Sul do País, ou em expansão, a exemplo do Estado de Mato Grosso.

Analisando-se os dados de escala nacional, foram destacados padrões em regiões específicas, os quais, se for feita uma observação mais detalhada – por exemplo, com dados municipais ou com dados das microrregiões somente de dentro do Estado –, mostram-se bastante significativos, como é o caso da região situada entre Minas Gerais e Bahia.

Notou-se também áreas de transição, como é o caso da região compreendida entre Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia, onde um estudo do comportamento da distribuição dos

dados no tempo pode auxiliar na modelagem do comportamento da expansão agrícola.

O uso do software TerraView (2010) para uma análise introdutória dos dados espaciais atendeu plenamente aos interesses deste estudo, além de ser de fácil compreensão, até mesmo para o usuário que não esteja habituado com a análise exploratória de dados espaciais.

Referências

ALMEIDA, E. S.; PEROBELLI, F. S.; FERREIRA, P. G. C. Existe convergência espacial da produtividade agrícola no Brasil? **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, DF, v. 46, n. 1, p. 31-52, 2008.

- ALMEIDA, M. A. S.; ALMEIDA, E. S.; SARTORIS NETO, A. **Criminalidade no Estado de São Paulo: uma análise espacial**. In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS REGIONAIS E URBANOS, 4., 2006, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos, 2006.
- ANSELIN, L. **Exploratory spatial data analysis in a geocomputational environment**. Morgantown: Regional Research Institute and Department of Economics, 1998. Disponível em: <<http://www.rri.wvu.edu/pdffiles/geocomp.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2011.
- ANSELIN, L. Local indicators of spatial association – LISA. **Geographical Analysis**, [Columbu], v. 27, n. 2, p. 93-115, 1995.
- ANSELIN, L. The Moran scatterplot as an ESDA tool to assess local instability in spatial association. In: GISDATA SPECIALIST MEETING ON GIS AND SPATIAL ANALYSIS, 1993, [Amsterdam, NL. **Proceedings...**] Morgantown: Regional Research Institute; Santa Barbara: National Center for Geographic Information and Analysis, [1993]. (Research Paper, 9330).
- BAILEY, T. C.; GATRELL, A. C. **Interactive spatial data analysis**. Harlow: Longman, 1995. 413 p.
- DRUCK, M. S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. (Ed.). **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 208 p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 2006: Brasil, grandes regiões e unidades da federação**. Rio de Janeiro, 2006. 777 p.
- NETER, J.; WASSERMAN, W. **Applied linear statistical models**. Homewood: Richard D. Irwin, 1974. 842 p.
- NEVES, M. C.; LUIZ, A. J. B. **Distribuição espacial da cultura de café no Estado de São Paulo**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 22 p. (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 40).
- NEVES, M.; RAMOS, F.; CAMARGO, E.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. **Análise exploratória espacial de dados sócio-econômicos de São Paulo**. 2000. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/geopro/trabalhos/marcos_gisbrasil2000.pdf>. Acesso em: 6 dez. 2009.
- QUEIROZ, M. P.; SILVA, F. G. F. da; ARAÚJO, C. E. F. Análise espacial exploratória de roubos de cargas em rodovias federais no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Risco e Seguro**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 8, p. 129-144, out. 2008/mar. 2009.
- RAMOS, R. A. R.; SILVA, A. N. R. da. A spatial analysis approach for the definition of metropolitan regions: the case of Portugal. **Environment and Planning B: Planning and Design**, London, GB, v. 34, n. 1, p. 171-185, 2007.
- SINDAG. Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola. **Dados de mercado**. Disponível em: <http://www.sindag.com.br/dados_mercado.php>. Acesso em: 20 ago. 2010.
- TERRALIB. **What is TerraLib?** Disponível em: <<http://www.terralib.org/php/about.php?body=AboutTL>>. Acesso em: 20 dez. 2010.
- TERRAVIEW. Versão 4.1.0. São José dos Campos: INPE, 2010. Disponível em: <www.dpi.inpe.br/terraview>. Acesso em: 20 dez. 2010.
- UNITED STATES. Department of Agriculture. **Foreign Agricultural Service's Production, Supply and Distribution Online (PSD Online)**. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdQuery.aspx>>. Acesso em: 20 dez. 2010.
-