

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA CULTURA DA SOJA NO ESTADO DO MATO GROSSO

MOISÉS PEREIRA GALVÃO SALGADO

Divisão de Sensoriamento Remoto - DSR
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
salgado@dsr.inpe.br

Resumo: Este trabalho analisou a distribuição espacial da cultura da soja no estado do Mato Grosso, durante o período de 1990 a 2008, com base nos dados PAM/IBGE da área colhida de soja. Procurou-se identificar possíveis conglomerados espaciais e avaliar a relação espacial de adjacência entre os municípios com as maiores áreas de soja. Os resultados indicaram que, a região central (meio-norte) do estado do Mato Grosso apresentou maior probabilidade de aglomeração espacial da cultura da soja. Concluiu-se que a cultura da soja, apesar de amplamente distribuída no estado, esta concentrada na região central, com nível de significância de 5%.

1. Introdução

A produção de soja do estado do Mato Grosso se destaca no cenário agrícola nacional. Isto se deve ao desenvolvimento das atividades agrícolas nas últimas décadas, apoiado pelo governo federal brasileiro visando estimular o desenvolvimento das regiões norte e centro-oeste do país, por meio de incentivos fiscais que impulsionaram os fluxos migratórios e a ocupação de terras para projetos agropecuários (Alves, 2002).

De acordo com Figueiredo (2003), a evolução da agricultura nos últimos 30 anos consiste no eixo do desenvolvimento econômico da região centro-oeste. Após um período de rápida expansão nos anos 70, a taxa de crescimento da área total colhida de grãos no Brasil foi reduzida durante a década de 80. Como consequência, observa-se um aumento da produtividade durante todo período, principalmente na década de 90.

Segundo os dados do IBGE referentes à Produção Agrícola Municipal (PAM), a área total de soja colhida no estado do Mato Grosso, no ano de 1990, era estimada em 1.527.754 ha, passando para 5.470.149 ha no ano de 2008. O conhecimento da distribuição espacial das áreas de concentração da cultura da soja pode contribuir para o planejamento das atividades do setor agrícola, pois permite estabelecer prioridades na alocação de recursos e na estratégia de promoções industriais (Figueiredo, 2003).

Neste contexto, o presente trabalho objetivou analisar a distribuição espacial da cultura da soja no estado do Mato Grosso durante o período de 1990 a 2008, baseando-se nos dados da Produção Agrícola Municipal PAM/IBGE de área colhida para a cultura da soja. Procurou-

se avaliar a relação espacial de adjacência entre os municípios que apresentam os maiores valores de área colhida de soja e identificar regiões que potencialmente violam a hipótese nula de não aglomeração, indicando a formação de conglomerado espacial.

2. Material e Métodos

Para realizar a análise da distribuição espacial das áreas de cultivo da soja e verificar a dependência espacial entre os valores de área colhida observados entre os municípios mato-grossenses, os dados foram estruturados em um banco de dados geográficos utilizando-se o aplicativo *TerraView* (DPI/INPE) e o plugin *TerraCluster* (LESTE/UFMG). Utilizou-se a malha municipal digital de 2007 do estado do Mato Grosso para a indexação dos dados tabulares da PAM às áreas geográficas (polígonos) dos municípios.

2.1 Métodos de análise exploratória de dados espaciais

Técnicas de análise exploratória de dados espaciais foram aplicadas de modo a auxiliar a visualização prévia da distribuição espacial dos valores dos atributos: área colhida (hectares) de soja por município e razão área colhida de soja por área total do município, para cada ano durante o período de 1990 a 2008 e para a média deste período, por meio do agrupamento em cinco classes de passos iguais.

Visando explorar a dependência espacial e verificar como os valores estão correlacionados no espaço, foi calculado o indicador global de autocorrelação espacial denominado Índice Global de Moran, descrito segundo Bailey & Gatrell (1995) pela Equação 01,

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad \text{Eq. 01}$$

A autocorrelação espacial é uma medida de quanto o valor observado de um atributo em uma região é independente dos valores nas localizações vizinhas. Desta forma, n corresponde ao número de áreas, y_i é o valor do atributo considerado na área i , representa o valor médio do atributo na região de estudo, w_{ij} são os pesos atribuídos conforme a conexão entre as áreas i e j .

Para examinar a autocorrelação espacial em escala local, foi utilizado o indicador de autocorrelação espacial “*Local Indicators of Spatial Association*” (LISA) ou Índice Local de Moran (Equação 02), apresentado por Anselin (1995). A utilização deste indicador local em conjunto com o indicador global, possibilita um refinamento do conhecimento sobre os processos que dão origem a dependência espacial.

$$I_i = \frac{(y_i - \bar{y}) \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_j - \bar{y})}{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}} \quad \text{Eq. 02}$$

A significância para os resultados dos indicadores global e local foi avaliada utilizando uma simulação de distribuição por permutação aleatória (*i.e.* 999 permutações) nos valores dos atributos (Anselin, 1995).

2.2 Métodos de detecção de conglomerados espaciais

O método de Grimson (1989) foi empregado para verificar se os municípios com os maiores valores de área colhida de soja (*i.e.* valor maior do que um quinto do valor máximo do atributo analisado) apresentam relações de adjacência espacial não aleatória e podem ser considerados como agragados. A estatística de teste do método de Grimson corresponde à contagem do número de municípios com os maiores valores de área colhida considerados adjacente (Equação 03), onde n é o número de objetos indexados como de valor alto para o atributo analisado, x é o número total de objetos (indexados e não indexados) e y é o número médio de vizinhos (objetos adjacentes) por objeto.

$$E(A) = \frac{yn(n-1)}{2(x-1)} \quad \text{Eq. 03}$$

A hipótese nula representa a aleatoriedade da distribuição espacial dos municípios, ou seja, não há relação de adjacência entre os municípios de maior área colhida de soja. A hipótese alternativa corresponde à adjacência não aleatória destes municípios. A variância da estatística é dada pela soma do componente de regularidade e o componente de variação. Para avaliar a significância assume-se que sob a hipótese nula a distribuição é Poisson ou Normal (GRIMSON, 1989). A probabilidade de se obter um

valor da estatística maior ou igual ao observado, sob a hipótese nula, é dada pelo p-valor calculado.

Visando identificar uma região com maior probabilidade de aglomeração espacial, empregou-se o método de varredura espacial *Spatial Scan* (Kulldorff & Nagarwalla, 1995; Kulldorff, 1997), utilizado para identificar o conglomerado espacial que provavelmente viola a hipótese nula de não aglomeração. O método avalia um conjunto Z de círculos distintos, correspondentes aos círculos posicionados nos centróides das diferentes áreas do mapa e com raios arbitrários r variando de zero a um limite máximo especificado, cada um deles representando um potencial conglomerado.

A estatística de teste do método *Spatial Scan* é definida como sendo a razão de máxima verossimilhança sobre todos os possíveis conglomerados no conjunto Z (Equação 04), sendo $L(z)$ a máxima verossimilhança para o possível conglomerado z , e L_0 é a função de verossimilhança sob a hipótese nula. A significância do conglomerado detectado é testada através do p-valor da estatística de teste λ obtido via simulações de Monte Carlo.

$$\lambda z = \max_{z \in Z} \frac{L(z)}{L_0} \quad \text{Eq. 04}$$

Para agrupar as áreas dos municípios em regiões que apresentam adjacência espacial e semelhanças segundo os atributos associados (*e.g.* Área colhida de soja para os anos de 1990 a 2008), utilizou-se a técnica de regionalização espacial via árvore geradora mínima, denominado método de *Skater* (Assunção et al, 2004). O método *Skater* considera a homogeneidade entre os grupos de regiões gerados pelo processo de agrupamento de forma a minimizar a variância interna do grupo, permitindo a geração de um mapa regionalizado de acordo com o critério de agregação das áreas baseado na relação de vizinhança entre os objetos.

3. Resultados e Discussão

Pôde-se observar que o conjunto de municípios que apresentam os maiores valores para o atributo: média do período de 1990 a 2008 da razão área colhida de soja por área total do município (MPR) (Figura 01), apresenta relação de adjacência espacial de acordo com a estatística do método de Grimson (Tabela 01), considerando-se como de alto risco os valores acima de um quinto do valor máximo do atributo.

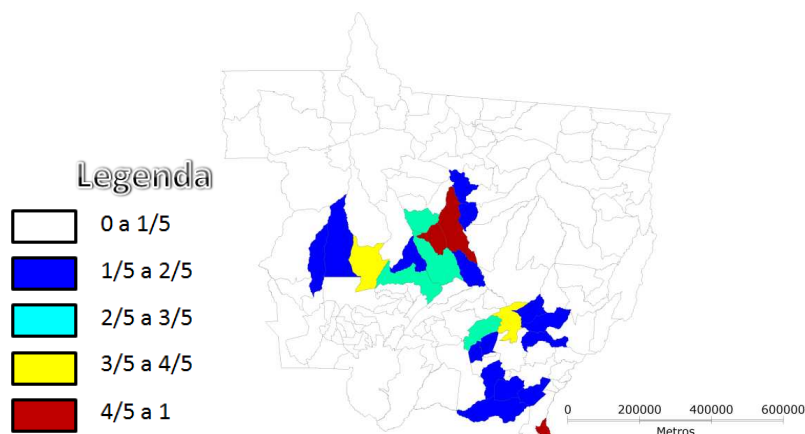


Figura 01 – Distribuição espacial dos valores dos atributos de média do período de 1990 a 2008 da razão área colhida de soja por área total do município (MPR) com escala variando de zero a 100% do valor máximo do atributo em cinco passos iguais.

Tabela 01 – Resultados da estatística de teste do método de Grimson para os atributos de média do período de 1990 a 2008 da razão área colhida de soja por área total do município (MPR).

Número de Objetos Indexados:	24
Média de Vizinhos por Objeto:	5.46099
Var(y):	3.46834
Componente de Regularidade:	7.3202
Componente de Variação:	1.83505
Estatística A:	31
E(A):	10.766
Var(A):	9.15524
z-score:	6.68725
P-valor	0.0000000000114324

Analisando o p-valor obtido (*i.g.* 1.14324×10^{-11}), pode-se verificar que não há razão para acreditar que os 24 municípios que apresentaram os maiores valores do atributo área colhida estão distribuídos aleatoriamente, ou seja, há relação de adjacência entre objetos indexados como de valor elevado.

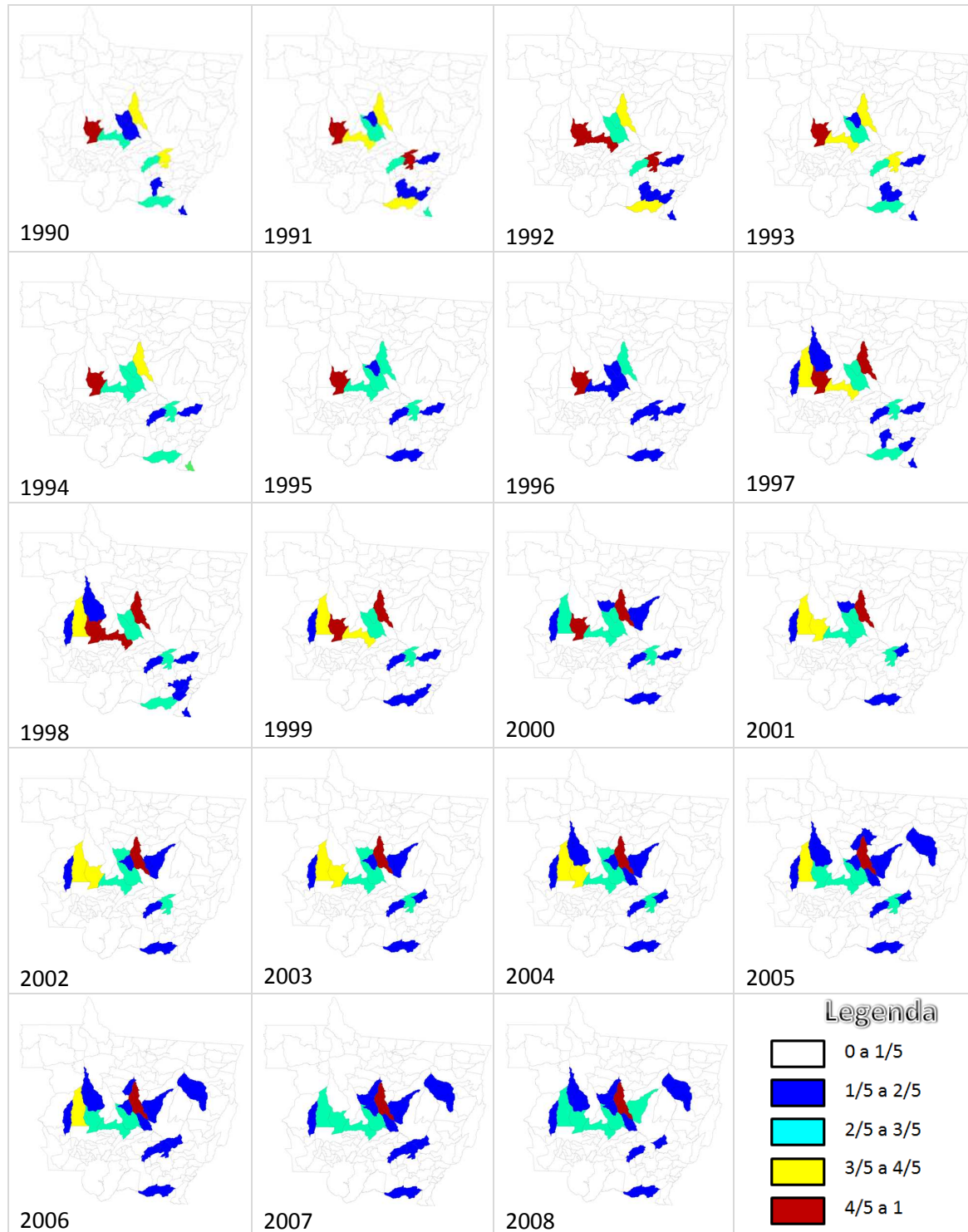


Figura 02 – Classes baseadas nas frações do maior valor observado, no período de 1990 a 2008 para o atributo: área colhida (hectares) de soja por município, divididas em cinco passos iguais, variando de 0 a 100% do valor máximo do atributo.

De forma geral, o método de Grimson indicou que os municípios com valores dos atributos: área colhida de soja e área colhida de soja por área total do município, acima de um quinto do valor máximo do atributo observado (para cada ano), apresentaram relação de adjacência espacial ao longo de todo o período estudado. Portanto, de acordo com o método de Grimson, os municípios apresentados na Figura 02 com legenda de cor azul escuro, azul claro, amarelo e vermelho, que representam os municípios que possuem as maiores áreas de cultivo da soja no estado do Mato Grosso, apresentaram relação de dependência espacial com significância acima de 5%, indicando regiões de concentração (não aleatória) da cultura da soja.

Foram identificadas as regiões que apresentam aglomeração espacial por meio do método de varredura espacial *Spatial Scan*, para todo o período estudado. Observou-se a variação dos diferentes padrões de aglomeração durante o período de 1990 a 2008 e foi possível visualizar as regiões referentes aos conglomerados espaciais que provavelmente violam a hipótese nula de não aglomeração (aglomeração aleatória). Ver Figura 03, Figura 04 e Figura 05.

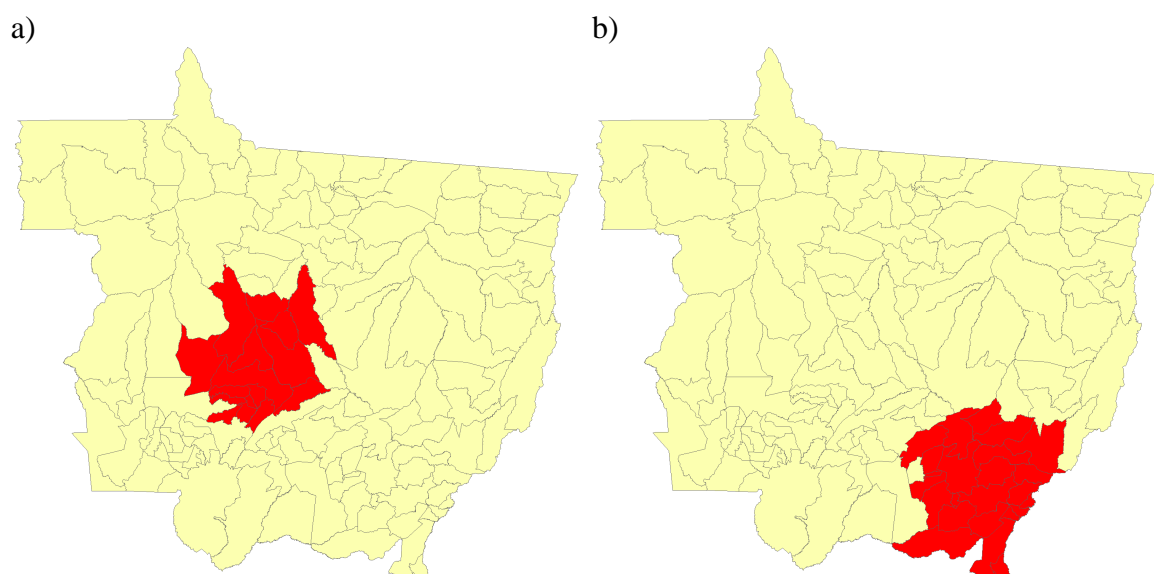


Figura 03 – Padrões de aglomeração espacial (vermelho) detectados pelo método *Spatial Scan* para a década de 90, sendo a) em 1990 e de 1992 a 2001 e b) apenas em 1991.

Analisando a Figura 03 é possível observar que o crescimento das áreas cultivadas com soja na região sudeste do Mato Grosso no ano de 1991 contribuiu para a modificação do padrão de aglomeração espacial presente ao longo de toda a década de 90. Dentre os

municípios contribuintes para o aumento da área cultivada na região do sudeste do Mato Grosso, destacam-se: Primavera do Leste, Campo Verde, Novo São Joaquim, Itiquira, Alto Taquari, Alto Garças, Pedra Preta e Rondonópolis, todos apresentam área colhida de soja maior que 26.000 hectares e relação espacial de adjacência testada pelo método de Grimson.

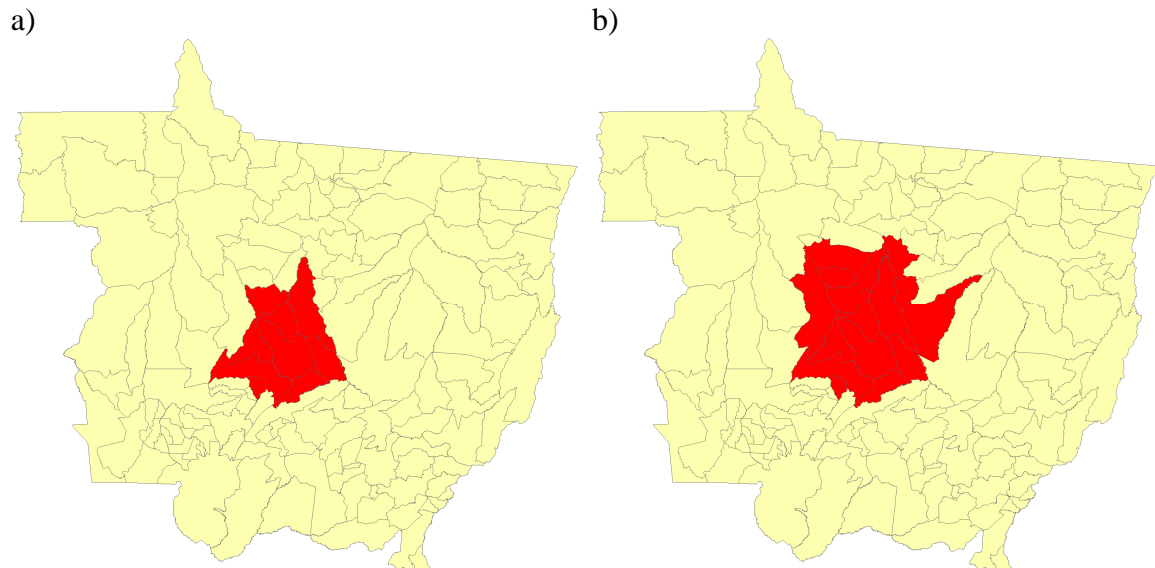


Figura 04 – Padrões de aglomeração espacial (vermelho) detectados pelo método *Spatial Scan* para a o período de 2002 a 2005, sendo a) de 2002 a 2004 e b) apenas em 2005.

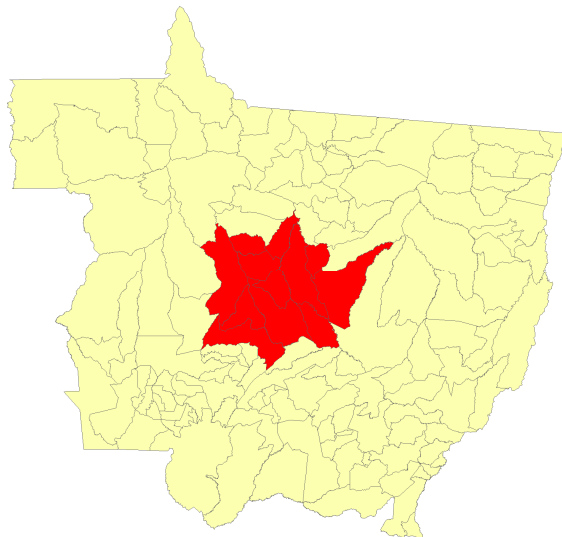


Figura 05 – Padrão de aglomeração espacial (vermelho) detectados pelo método *Spatial Scan* para a o período de 2006 a 2008.

Durante o período analisado de 1990 a 2008, nota-se que com exceção do ano de 1991, a região central do estado do Mato Grosso apresentou maior probabilidade de

aglomeração espacial de acordo com o método *Spatial Scan*. O tamanho variável do aglomerado é influenciado pela concentração ou dispersão dos maiores valores do atributo, sendo que nos anos com maior concentração (*i.d.* maiores valores de área colhida de soja concentrados em poucos municípios), o tamanho do aglomerado tende a diminuir (*e.g.* Figura 04a). Isto ocorre devido ao limite de restrição de crescimento escolhido para a análise executada pelo método *Spatial Scan*, referente à porcentagem máxima da população total que o conglomerado detectado pode apresentar (20%).

Apesar dos resultados obtidos pelos métodos: *Grimson* e *Spatial Scan*, apresentarem diferentes resultados de aglomeração espacial e relação de adjacência entre as áreas com os valores elevados para os atributos analisados, o indicador global de autocorrelação espacial: Índice de Moran, não apresentou valores acima de 0,5 e nem significância maior que 1%. Entretanto, pode-se observar que os valores do Índice de Moran apresentaram uma tendência de crescimento durante o período analisado, partindo do valor 0,19 no ano de 1990 e chegando a 0,48 em 2008. Esta tendência pode estar associada ao crescimento da área colhida de soja nos municípios adjacentes às regiões de maior produção ao fim do período de estudo.

O indicador local LISA permitiu identificar os municípios com maior autocorrelação espacial para cada ano do período de estudo. Observou-se que os municípios que apresentaram valores de LISA acima de 0,5 com significância de 5% variaram ao longo dos anos estudados. Entretanto, pode-se notar que ao longo da década de 90, os municípios: Sorriso, Primavera do Leste, Novo São Joaquim e Campo Novo do Parecis, apresentaram autocorrelação espacial com significância acima de 5%. Para o período de 2000 a 2008, os municípios de maior autocorrelação espacial e também mais frequentes foram: Campos de Julio, Primavera do Leste e Santo Antônio do Leste.

Notou-se que o indicador local de autocorrelação espacial LISA possibilitou a localização dos municípios associados às regiões de maior concentração de área colhida de soja ao longo do período de estudo, porém não permitiu identificar as regiões de aglomeração, pois apenas municípios isolados foram identificados.

O mapa regionalizado em cinco grupos, gerado por meio do método *Skater*, possibilitou a identificação dos grupos de municípios com características similares em relação aos valores do atributo: área colhida de soja para o período de 1990 a 2008, considerando-se

a relação de vizinhança dos municípios e a homogeneidade interna dos grupos de municípios (Figura 06).

Foi possível identificar as regiões com as mesmas características para os valores de área colhida de soja, destacando as regiões de maior produção de soja no estado do Mato Grosso.

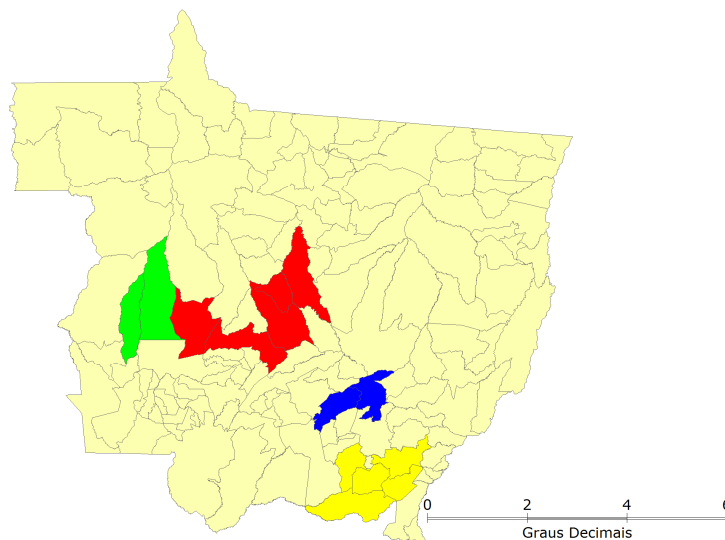


Figura 06 – Mapa regionalizado utilizando-se o método *Skater* para valores do atributo área colhida de soja por município para os anos de 1990 a 2008.

Desta forma, pôde-se verificar, apesar da ampla distribuição da cultura da soja no estado do Mato Grosso e dos diferentes resultados apresentados pelos métodos: Grimson e Spatial-Scan, foi possível agrupar os municípios em regiões com características similares e identificar as áreas de maior concentração da cultura.

Os resultados indicaram diferentes regiões de concentração da cultura da soja no estado do Mato Grosso. O conhecimento da distribuição espacial da cultura da soja é favorável ao planejamento das atividades do setor agrícola, auxiliando a estabelecer prioridades na alocação de recursos e nas estratégias de promoções industriais conforme as necessidades locais.

4. Conclusão

O presente trabalho analisou a distribuição espacial da cultura da soja no estado do Mato Grosso durante o período de 1990 a 2008, baseando-se nos dados da Produção Agrícola Municipal PAM/IBGE de área colhida para a cultura da soja. Conclui-se que, apesar de amplamente distribuída no estado do Mato Grosso e apesar dos diferentes resultados

apresentados pelos diferentes métodos, as áreas de concentração da cultura da soja no estado do Mato Grosso foram localizadas nas regiões meio-norte (centro) e sudeste do estado, com nível de significância de 5%.

REFERÊNCIAS DE LITERATURA

ALVES, D. S. Space-time dynamics of deforestation in Brazilian Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 14, p. 2903-2908, Jul 2002

BAILEY, T. C.; A. C. GATRELL. **Interactive Spatial Data Analysis**. New York: Wiley. 413 p. 1995.

FIGUEIREDO, M. G. **Agricultura e estrutura produtiva do estado do Mato Grosso: Uma análise insumo-produto**. 2003. 188 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Piracicaba, 2003.

ANSELIN, L. Local Indicators of Spatial Association – LISA. **Geographical Analysis**. v.27, n.2, p.93-115, 1995.

GRIMSON, R.C. Assessing patterns of epidemiologic events in space-time. In: PUBLIC HEALTH CONFERENCE ON RECORDS AND STATISTICS, 1989, Hyattsville, **Proceedings...** Maryland: National Center for Health Statistics, 1989.

KULLDORFF, M., NAGARWALLA, N. Spatial disease clusters: detection and inference. **Statistics in Medicine**, v. 14, p. 799–810, 1995.

KULLDORFF, M.A. A spatial scan statistic. **Communications in Statistics: Theory and Methods**. v. 26, p. 1481–1496, 1997.

ASSUNÇÃO R.M., LAGE J.P. E REIS E.A. Análise de Conglomerados Espaciais via Árvore Geradora Mínima. **Revista Brasileira de Estatística**, v. 63, n. 220, p. 7-24, 2004.