

Estudo de Dependência Espacial utilizando Análise de Dados de Área Aplicada na Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte por meio do Indicador Econômico PIB

19ª SINAPE

Altemir da Silva Braga - UFAC¹
Naje Clécio Nunes da Silva-IFAC²
José Eustáquio Machado – UFAC³
Manoel Domingos Filho - UFAC⁴

Resumo: *No presente trabalho buscou-se analisar a distribuição espacial do índice do produto interno bruto (IPIB) na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte (MMBH), no Estado de Minas Gerais, no ano de 2004, visando entender a dependência ou semelhança entre os municípios dessa mesorregião. Para avaliar essa dependência, utilizaram-se as técnicas de dados de área, dentre elas a média móvel local, o índice de Moran global, o índice de Moran local e o gráfico de espalhamento de Moran e Mapas (Box Map e Moran Map). Os resultados alcançados quanto ao padrão espacial pela média móvel local, permitiram observar clusters espaciais entre municípios e, também, redução da variância amostral. Um fato importante no estudo foi presença da autocorrelação espacial positiva em termos globais, pelo índice de Moran global e o teste de permutação aleatória, indicando que existe um certo grau de similaridade entre os municípios da mesorregião. Constatou-se, também, a presença de autocorrelação espacial em termos locais, pelo índice de Moran local, indicando também similaridade. Dessa forma, o estudo foi eficiente na descrição espacial e na identificação de clusters tanto em termos globais quanto em termos locais indicando que existe similaridade entre os municípios estudadas por meio da variável IPIB dentro mesorregião estudada.*

Palavra-Chave: *Dados de área; Distribuição espacial; Autocorrelação; Dependência.*

1 Introdução

A análise de dados de área é um dos ramos de pesquisa da Estatística Espacial, em que a sua aplicação está associada a determinadas áreas A_i , com $i = \{1, 2, \dots, n\}$, contidas numa região R , de forma que a reunião de todas sub-regiões A_i seja a região R . Essa técnica da estatística espacial é utilizada com muita frequência quando se lida com dados agregados por municípios, bairros, setores censitários ou zonas de tráfego. Pode-se estudar, por exemplo, na área de saúde, dados relacionados ao número de óbitos, de partos, de epidemias entre outras em que não se dispõe da localização exata dos dados, porém de um valor por área. Para essas análises, procura-se identificar padrões espaciais de distribuição nos valores observados. As técnicas de análise de dados de área foram desenvolvidas para tentar identificar regiões onde a distribuição dos valores possa apresentar um padrão específico associado a sua localização espacial. A informação que se busca é o quanto o valor de uma variável em uma determinada área assemelha-se com os valores da mesma variável localizada em sua vizinhança próxima, e o quanto é similar ou dissimilar aos valores de sua vizinhança distante. Essas técnicas são apresentadas na forma de indicadores, que medem tanto o padrão quanto a associação espacial, dentre as quais se destacam: o índice de Moran global para a associação espacial e a média móvel local para o padrão espacial. Em especial, o índice de Moran global constitui uma aproximação

1. Professor do Centro de Ciências exatas e Tecnológicas CCET/UFAC.

2. Professor do Instituto de Educação e Ciência do Estado do IFAC/AC.

3. Aluno do Curso de Sistemas de Informação CCET/UFAC.

4. Professor do Centro de Ciências exatas e Tecnológicas CCET/UFAC.

mais tradicional do efeito da dependência espacial, em que o esquema geral de dependência pode ser resumido em um único valor e pode ser visualizado por meio do gráfico de espalhamento de Moran e de um mapa (Box Map). Tem-se também o índice de Moran local. Esse indicador é usado quando se dispõe de grande número de áreas, resultantes, por exemplo, de escalas espaciais detalhadas, e é muito provável a existência de diferentes regimes de correlação espacial em diferentes sub-regiões. Esses diferentes regimes também podem ser visualizados por meio de mapas (LISA Map e o Moran Map). A análise de dados oriundos de áreas está bem desenvolvida e descrita em detalhes em diversas referências, tais como Cliff & Ord (1981), Bailey & Gatrell (1995), Anselin (1995,1996), Câmara et al. (2001) e Assunção (2001). Apesar dessa já substancial produção bibliográfica sobre o tema, esta dissertação procura contribuir com o desenvolvimento dessa área da Estatística Espacial, fazendo sua apresentação, formulação, e aplicação, por meio de duas questões centrais de pesquisa:

- i) Existe um padrão espacial para uma dada variável de interesse?
- ii) Existe uma estrutura de dependência espacial (autocorrelação espacial) da variável de interesse?

Visando a responder a essas questões, neste trabalho, objetivou-se estudar técnicas de análise de dados de área aplicadas à distribuição espacial utilizando a variável econômica índice do produto interno bruto (PIB) da mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte.

2 Material e Método

Os dados utilizados para a realização deste trabalho são oriundos do Zoneamento Ecológico Econômico das mesorregiões Metropolitana de Belo Horizonte referente ao ano de 2004. A mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte é composta por 105 municípios, conforme a Figura 1, em que para cada município foi estudado a variável índice do produto interno bruto (PIB).

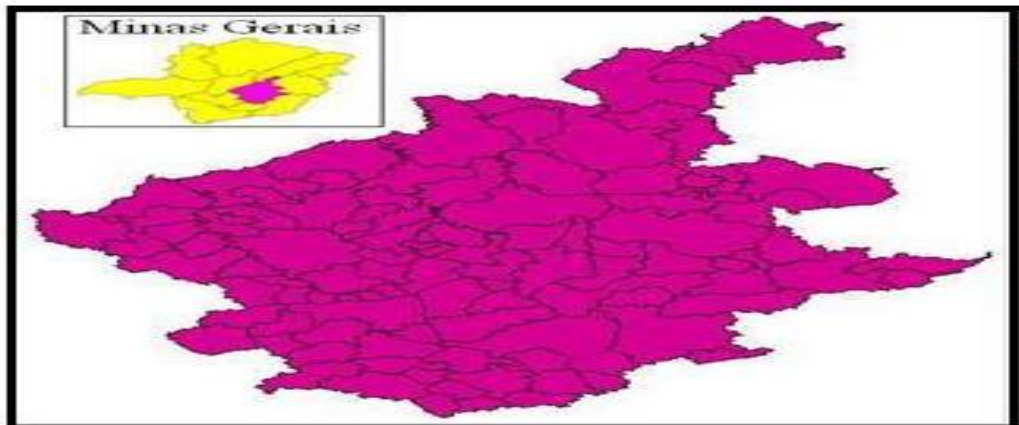


Figura 1 – Mapas construídos por elaboração própria das mesorregiões Metropolitana de Belo Horizonte e Sul/Sudeste de Minas - MG. Lavras, 2010.
Fonte: Base cartográfica do IBGE (2009).

2.1. Produto Interno Bruto (PIB)

O produto interno bruto (PIB) representa a soma do valor monetário de todos os bens e serviços finais produzidos em uma determinada região. Este é um dos indicadores mais utilizados na economia, com o objetivo de mensurar a pujança da atividade econômica de uma região. Seu cálculo é coordenado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), desde 1996, em

parceria com órgãos estaduais de pesquisa e estatística, as secretarias estaduais de planejamento e a superintendência da zona franca de Manaus – SUFRAMA.

2.2. Média Móvel Local

Conforme Bailey & Gatrell (1995), uma maneira simples de avaliar as variações e tendência, em termos globais, nos valores de um atributo y_i relativo a i -ésima área, é estimar o valor do atributo y_i por uma média ponderada de valores y_j s nas áreas vizinhas. Tal média denomina-se de média móvel local (\hat{y}_i). Sua fórmula é dada por:

$$\hat{Y}_i = \frac{\sum_{i=1}^n w_{ij} y_i}{\sum_{i=1}^n w_{ij}} .$$

O denominador é desnecessário caso a matriz de proximidade espacial W seja normalizada pelas linhas, já que, $\sum_{j=1}^n w_{ij} = 1$. Com $i = 1, \dots, n = 105$ e $j = 1, \dots, n = 105$, para mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte.

2.3. Índice Global de Moran

O índice I de Moran global é definido por:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{S_0 \text{Var}(y)} , \text{ em que } S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \text{ e } \text{Var}(y) = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n} ,$$

com, $i = 1, \dots, n = 105$ e $j = 1, \dots, n = 105$, para mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte, sendo:

- w_{ij} os elementos da matriz de proximidade espacial padronizada de primeira ordem $W^{(1)}_{nn}$;
- y_i e y_j são os valores observados da variável dos municípios A_i e A_j ;
- \bar{y} é a média do valor observado da variável IPIB de todos os municípios da mesorregião;

Para a validação do índice de Moran global, será utilizado o teste de permutação aleatória, definido a seguir.

2.4. Simulação do Valor-p para o Índice I de Moran Utilizando Teste de Permutação Aleatória

Para simular o *valor-p* utilizando permutação aleatória para o índice I de Moran serão gerados $N = 8000$ valores de I , conforme o algoritmo dado no capítulo, descrito a seguir:

1. Calcula-se o índice $I_{(0)}$ para os dados observados do IPIB dos n municípios;
2. Calcula-se o índice $I_{(1)}$ permutando aleatoriamente os valores do IPIB entre os n municípios;
3. Repete-se o item anterior 7999 vezes até calcular o índice $I_{(8000)}$.

Em que: $n = 105$ municípios para mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte.

Para avaliar a significância da estatística I de Moran, as seguintes hipóteses são estabelecidas:

- $H_0: I = 0$ (não existe autorrelação espacial entre os municípios);
- $H_1: I > 0$ (existe autorrelação espacial positiva entre os município).

Sob a hipótese H_0 , a variável aleatória IPIB é independente e identicamente distribuída, então todas as permutações dos valores IPIB entre os municípios são igualmente prováveis. Assim, o *valor-p* do teste será: $\text{valor-p} = NIS / (N+I)$, em que NIS representa o número de índices simulados com valores maiores do que o valor do índice observado $I(0)$, e N é o número total de índices simulados.

Rejeita-se a hipótese H_0 no teste de nível alpha se $\text{valor-p} < \alpha$ Para visualizar o resultado será feito o histograma com todos os valores $I(k)$ com $k = 0,1, \dots, 8000$, e aponta-se o local na escala horizontal por meio de uma reta na vertical no valor $I(0)$.

2.5. Gráfico de espalhamento de Moran e Box Map

O gráfico de espalhamento será utilizado como uma ferramenta para visualizar a autocorrelação existente entre os municípios da mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte para a variável IPIB. Na geração do *Box Map*, cada município da mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte será classificado conforme sua posição em relação aos quadrantes do gráfico de espalhamento de Moran, recebendo uma cor correspondente no mapa gerado.

3 Resultados e Discussão

Inicialmente, criou-se o mapa da mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte por meio da visualização por quintil da variável IPIB. Em seguida, comparou-se esse mapa com o mapa dessa mesma mesorregião, utilizando a visualização da média móvel local da variável IPIB como mostra a Figura 2.

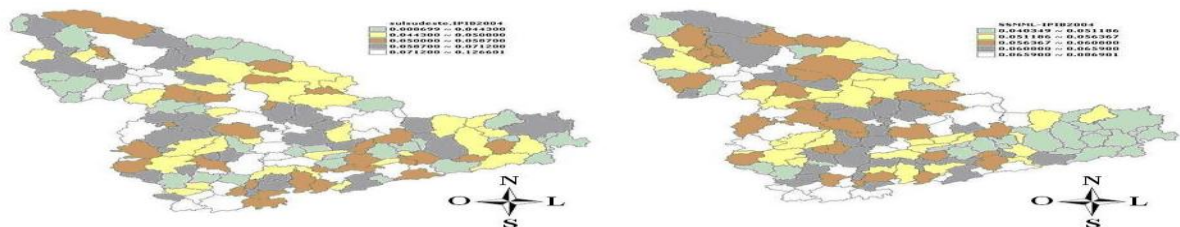


Figura 2 – Mapa da distribuição da variável IPIB na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte - MG, 2004.

Fonte: Construído por elaboração própria com base no software TerraView.

Percebeu-se, ao comparar os dois mapas da Figura 2 que a média móvel local forneceu um alisamento na distribuição da variável IPIB, ou seja, o valor mínimo que era de 0,012499 passou a ser de 0,042166 e o máximo que era de 0,760401 passou a ser de 0,347701. Outro fato observado pela

média móvel local, foi um leve padrão espacial de valores altos do índice do PIB no centro da mesorregião e diminuindo gradativamente até chegar nas extremidades da mesorregião. Observou-se, também, que os municípios localizados no centro da mesorregião, foram correlacionados pelos altos índices do PIB dos municípios de Belo Horizonte (0,7604), Betim (0,4980) e Contagem (0,2869), formando um *cluster* espacial de municípios com valores altos do índice do PIB.

Os valores do índice I de Moran global para a variável IPIB nas mesorregiões Metropolitana de Belo Horizonte foi de 0,1259 . Tem-se que esse valor é baixo para concluir se houve, ou não, uma autocorrelação espacial positiva. Porém, foi realizado o teste de permutação aleatória do nível de significância de I , para cada uma das mesorregiões, sob a hipótese nula de ausência de autocorrelação espacial entre os municípios de cada uma das mesorregiões em estudo. Os resultados obtidos do teste com a variável IPIB, na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte, está representado na Figura 3.



Figura 3 - Teste de significância para o índice de Moran global da variável IPIB sob a hipótese nula de ausência de autocorrelação espacial.

Fonte: Construído por elaboração própria com base no software GeoDA.

De acordo com a Figura 3 foram feitas 8000 permutações e obteve-se um valor-p = 0,0230, então rejeitou-se a hipótese nula de ausência de autocorrelação espacial entre os municípios da mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte com relação a variável IPIB, ao nível de 5 % de significância.

Para detalhar mais o índice de Moran global foi construído o gráfico de espalhamento de Moran e o Box Map da variável IPIB para a mesorregião, conforme a Figura 4.

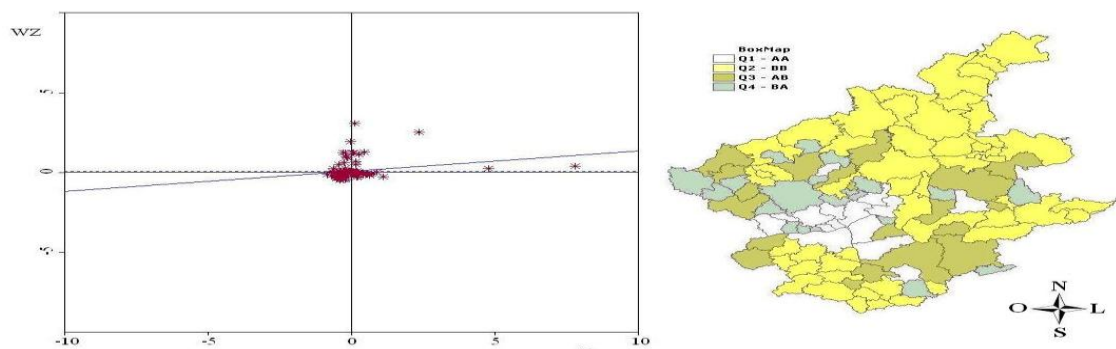


Figura 4- À esquerda, diagrama de espalhamento de Moran da variável IPIB. À direita, Box Map da variável IPIB.

Fonte: Construído por elaboração própria com base nos softwares GeoDA .

Na Figura 4, observou-se que a maioria dos municípios está localizada nos quadrantes Alto-Alto (14,3%) e Baixo-Baixo (46,7%). Esses resultados estão de acordo com o I de Moran global calculado, já que mostram que a maioria dos municípios observados encontra-se nos quadrantes que

representam a existência de autocorrelação espacial positiva: valores do índice PIB dos municípios são similares aos verificados por seus vizinhos. Ademais, a inclinação positiva da reta também comprova a existência de autocorrelação, visto que o I de Moran global é o coeficiente angular da mesma. Observou-se, pelo Box Map, que houve similaridade entre os municípios com valores altos do índice PIB, localizados no centro da mesorregião, e houve similaridade entre os municípios de valores baixos do índice PIB, localizados no norte e sul da mesorregião.

4 Conclusão

Pelos resultados apresentados pode-se concluir que existe autocorrelação espacial positiva em termos globais e pelo o teste de permutação aleatória foi possível verificar indícios que indicam a existência de similaridade entre os municípios para a variável IPIB. E, ainda, pelo índice de Moran local e o Moran Map, observou-se, também, similaridade entre os municípios para a variável IPIB.

5 Referências

- [1] ANSELIN, L. Local indicators of spatial association. **Geographical analysis**, Columbus, v. 27, n. 1, p. 93-115, Jan. 1995.
- [2] ANSELIN, L. The Moran scatterplot as an ESDA tool to assess local instability in spatial association. In: FISHER, M.; SCHOLTEN, H. J.; UNWIN, D. (Ed.). **Spatial analytical perspectives on GIS**. London: Taylor & Francis, p 111-125. 1996.
- [3] ASSUNÇÃO, R. M. **Estatística espacial com aplicações em epidemiologia, economia, sociologia**. São Carlos: Associação Brasileira de Estatística, 2001. 131p. Disponível em: <<http://www.est.ufmg.br/~assuncao>> . Acesso em: 20 nov. 2008.
- [4] BAILEY, T. C.; GATRELL, A. C. **Interactive spatial data analysis**. Essex: Longman Scientific, 1995. 413 p.
- [5] CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; CARVALHO, M. S.; FUKS, S. D. **Análise espacial de dados geográficos**. São José dos Campos: INPE, 2001. 209 p. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>>. Acesso em: 20 nov. 2008.
- [6] CLIFF, A. D.; ORD, J. K. **Spatial processes: models and applications**. London: Pion, 1981. 266p.
- [7] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Base cartográfica digital**. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<http://www.mapas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 20 maio 2009.

