

## Utilização de Técnicas de Análise Espacial no Estudo da Correlação entre Expansão das Áreas Desflorestadas e da Fronteira Agropecuária no Estado do Mato Grosso

JOSÉ CONSTANTINO SILVEIRA JÚNIOR

DIÓGENES SALAS ALVES

MARIA ISABEL ESCADA

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515 - 12201-097 - São José dos Campos - SP, Brasil  
constant@dpi.inpe.br

**Abstract** An analysis of the relationship between the increase in cattle heads and annual average deforestation rates is presented for the municipalities of the State of Mato Grosso, in Brazilian Amazonia for the 1991-1997 period. The analysis was based on linear regressions and on linear regressions for spatial regimes (groups of individual municipalities, defined after explanatory analysis of the available data). Results show that classic linear regression indicate a poor relationship between the two variables, while the regression based on spatial regimes produced a relatively good relationship for certain groups of municipios in State of Mato Grosso.

**Keywords:** spatial analysis, deforestation, Amazônia.

### 1. Introdução

O desmatamento na região amazônica em decorrência da atividade antrópica, tem sido uma das maiores preocupações de instituições nacionais e internacionais responsáveis pela conservação, monitoramento e manejo dos recursos naturais desta vasta região. Estima-se que a área total desflorestada na Amazônia brasileira tenha aumentado de menos de 10 milhões de hectares nos anos 70, para mais de 55 milhões de hectares em 1998 (Tardin et al., 1980 e INPE, 2000a).

Em circunstâncias normais, as áreas desflorestadas são destinadas à construção de represas, abertura de estradas, expansão de áreas urbanas e de instalações rurais, além da exploração agrícola e pecuária, extração madeireira e de minérios. Entretanto, sabe-se que a maior parte dessas áreas são transformadas em pastagens e áreas de cultivo agrícola (Buschbacher, 1986 e Fearnside, 1990), o que nos leva a supor que possa existir correlação entre o fenômeno do desflorestamento e a expansão da agricultura e da pecuária.

A necessidade de compreender os processos e a dinâmica do desflorestamento na Amazônia, remete ao desenvolvimento de metodologias e de técnicas adequadas que possibilitem o levantamento e monitoramento da cobertura vegetal e do uso da terra, como subsídios ao processo de gestão do espaço agrário. Dentre essas tecnologias destacam-se os Sistemas de Informação Geográfica (SIG's), os quais dispõem de um conjunto de técnicas que permitem representar fenômenos do mundo real em termos de: (a) localização com respeito à um sistema de coordenadas conhecido; (b) atributos e; (c) relações espaciais entre os dados, descrevendo o tipo de vínculo (topologia) existente (Burrough, 1998).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo investigar a relação entre a expansão das áreas desflorestadas e das áreas de pecuária para os municípios do estado do Mato Grosso,

no período de 1991 à 1997. Pretende-se, ainda, explorar o potencial do uso do modelo clássico de regressão linear utilizando regimes espaciais, de análises de autocorrelação espacial e de análises geo-estatísticas para investigar aquela relação.

## 2 Área de Estudo

A área de estudo, o estado do Mato Grosso, possui uma superfície aproximada de 906.800 Km<sup>2</sup>, compreendendo 126 municípios em 1997. A escolha deste estado como área de estudo, justifica-se pela grande contribuição apresentada nos últimos anos para o total de desflorestamento na Amazônia Legal (INPE 1998, Alves *et. al.* 1998).

## 3. Materiais e métodos

Foram utilizados, neste trabalho, mapas dos municípios do estado do Mato Grosso para os anos de 1991, 1994 e 1997 (FIBGE 1996, 1998); dados de aumento de efetivo bovino dos municípios do Mato Grosso no período 1991-1997, oriundos da Pesquisa Agropecuária (FIBGE, 2000) e; dados da distribuição espacial das taxas de desflorestamento do período de 1991-1997 dos municípios do Mato Grosso (Alves & Souza, 2000), derivados dos mapas de desflorestamento na Amazônia Legal, produzidos pelo INPE (INPE, 2000a; Alves & Souza, 2000). Como dados auxiliares, foram utilizadas imagens digitais, bandas 345, do sensor TM do satélite Landsat 5 e mapas de vegetação.

O trabalho compreendeu 2 etapas principais, descritas a seguir:

### Criação da Base de Dados para a Análise

- Inicialmente, foram adquiridos, analisados e selecionados os dados de taxa de desflorestamento e de efetivo do rebanho bovino referentes ao período entre 1991 e 1997, que foram associados aos mapas de municípios dos anos de 1991, 1994 e 1997. Em seguida, esses dados foram transpostos para a malha municipal de 1997, utilizando-se técnicas de interpolação espacial por geo-estatística e a linguagem Legal do SPRING (INPE, 2000b).

### Análise de Regressão

- A análise de regressão foi feita no sistema *SpaceStat* 1.9, onde foi ajustado um modelo de regressão linear tradicional, não espacial. Para o uso deste modelo, duas abordagens foram utilizadas e comparadas, considerando a ausência e a presença de regimes espaciais. Regimes espaciais são sub-áreas homogêneas ou com características comuns em relação à alguns atributos, obtidas pela divisão regional da área de estudo, através de análises de autocorrelação espacial. Neste estudo, foi considerada como variável dependente a *densidade da taxa de desflorestamento entre 1991 e 1997* e, como variável explicativa, a *densidade da média do aumento do efetivo do rebanho bovino durante o período entre 1991 e 1997*.

Os sistemas utilizados foram o SPRING 3.4 (INPE, 2000b) e o *SpaceStat* 1.9 (Anselin, 1995).

## 4. Resultados e discussão

O modelo de regressão entre a densidade da taxa de desflorestamento (Y) e a densidade da média do aumento do rebanho bovino (X), utilizado neste trabalho, pode ser descrito da seguinte forma:

- Modelo tradicional (não espacial):  $Y = b_0 + b_1 X + e$

Onde:

Y= Variável dependente;

X= Variável explicativa;

$\beta_0$  e  $\beta_1$  = Parâmetros da regressão;

$\varepsilon$  = Resíduo.

A **tabela 1** mostra os resultados do modelo aplicado aos dados nas duas situações analisadas, na ausência e presença de regimes espaciais.

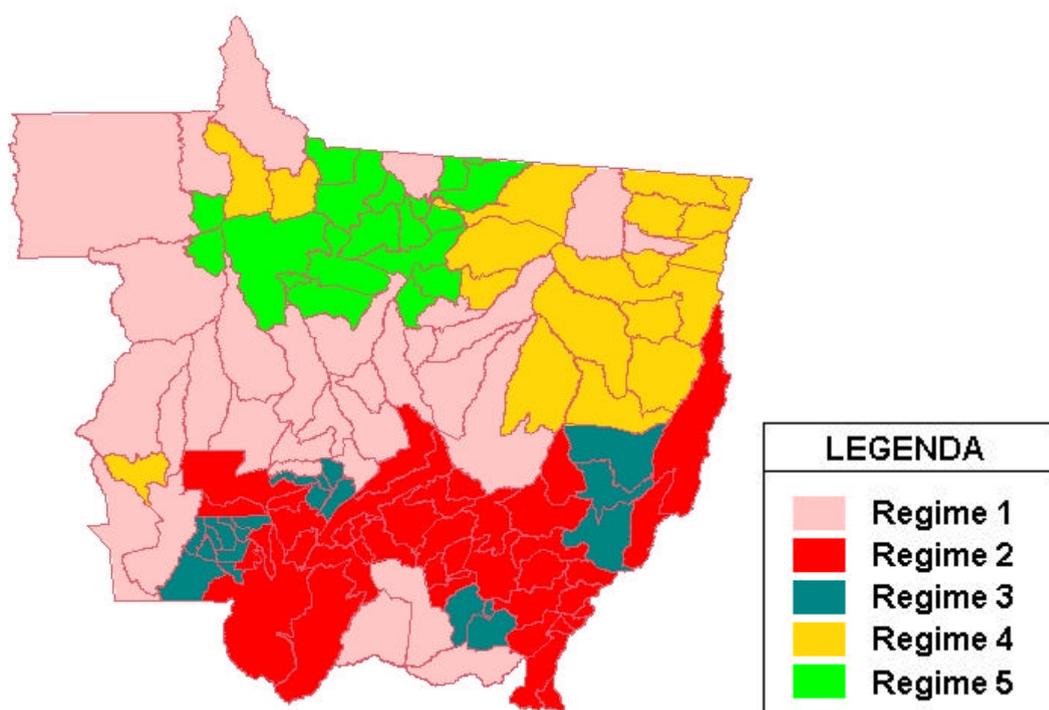
**Tabela 1.** Resultados dos modelos de regressão

<i>Parâmetros</i>	<i>Modelo Clássico</i>	<i>Modelo Clássico c/ Regimes</i>
<b>R<sup>2</sup></b>	0.1327	0.6962
<b>Signific. <math>b_0</math> (p&lt;0,05)</b>	OK	N
<b>Signific. <math>b_1</math> (p&lt;0,05)</b>	OK	OK

Observando-se os resultados obtidos com a utilização do modelo clássico, sem regimes espaciais, pode-se concluir que, apesar de ambos os coeficientes,  $\beta_0=0.479671$  e  $\beta_1=0.173122$ , serem identificados como significativos ( $p<0,05$ ), o valor do  $R^2$  (0.1327) não mostrou um bom ajuste entre as variáveis. O índice de Moran (0.517454) indica autocorrelação espacial positiva nos resíduos e existência de dependência espacial (Câmara *et al.*, 2000a), evidenciando a necessidade de uma análise compartmentada da região.

Na análise de autocorrelação espacial, foram encontrados 5 regimes espaciais bem definidos, que podem ser vistos na **figura 1**, constituindo agrupamentos de municípios, com diferentes padrões de desflorestamento e de efetivo do rebanho, que podem ser descritos da seguinte forma:

- O Regime 1 é caracterizado por municípios que apresentam valores medianos das densidades de desflorestamento e de rebanho bovino;
- Dos regimes 2 e 3, fazem parte os municípios que possuem a maior parte ou mesmo todo seu território constituído pelo cerrado, portanto, possuem pouco ou nenhum desflorestamento. O regime 3 é diferente do 2 porque seus municípios possuem altas densidades de rebanho bovino, o que pode caracterizar áreas de atividade pecuária intensiva.
- O regime 4 é formado por municípios que apresentam baixas densidades de rebanho bovino e altas taxas de desflorestamento. Isto induz a questionamentos sobre a capacidade de suporte do ambiente ou mesmo se outras variáveis poderiam ser a causa deste desflorestamento.
- O regime 5 compreende municípios que, no período estudado, apresentaram altas densidades da taxa de desflorestamento e de aumento de rebanho bovino.



**Figura 1** Regimes espaciais utilizados nos modelos de regressão do SpaceStat.

Ao considerar esses regimes espaciais no modelo, o  $R^2$  aumentou para 0,6962, conforme mostra a **tabela 1**, melhorando significativamente o ajuste. Deste modo, pode-se deduzir que os regimes espaciais construídos, conseguiram caracterizar de forma mais eficiente, a relação entre as variáveis, explicando melhor o seu comportamento dentro do estado do Mato Grosso.

O modelo de regressão utilizando regimes espaciais produziu as equações :

- **Regime 1:**  $D\_TXDES F = -0.0042410 + 0.777773 (DMREB9197)$
- **Regime 2:**  $D\_TXDES F = 0.0053343 + 0.203848 (DMREB9197)$
- **Regime 3:**  $D\_TXDES F = 0.135141 + 0.117959 (DMREB9197)$
- **Regime 4:**  $D\_TXDES F = 0.425238 + 0.970972 (DMREB9197)$
- **Regime 5:**  $D\_TXDES F = 0.547356 + 0.481735 (DMREB9197)$

Analisando os coeficientes de regressão, observa-se que, para os cinco regimes considerados, todos os  $\beta_0$ 's foram identificados como não significativos ( $p < 0,05$ ), o que indica que as retas de regressão linear podem passar pela origem. Em relação aos coeficientes  $\beta_1$ , podemos aceitar a hipótese ( $p < 0,05$ ) de que todos são significativos.

## 5 Conclusões

Os resultados obtidos com a utilização de técnicas de interpolação por geo-estatística permitiram estimar, ainda que de forma empírica, valores de efetivo bovino para a malha municipal de 1997, possibilitando agregar dados de diferentes datas e malhas municipais, em uma única base de dados. Cabe ressaltar que a quantidade e a distribuição de amostras é importante na representação espacial do fenômeno de estudo. Dentro deste contexto, imagens de satélite, que

contêm informações a respeito da cobertura da terra, podem ser utilizadas melhorando o adensamento e a distribuição das amostras.

Os indicadores de autocorrelação espacial apresentaram bons resultados e se mostraram eficientes na perspectiva da identificação de regimes espaciais, realçaram regiões homogêneas e apontaram padrões coerentes com a realidade do estado do Mato Grosso.

A análise possibilitou comparar duas abordagens utilizando o modelo clássico de regressão linear, uma tradicional, em que não são considerados os regimes espaciais, e outra em que os regimes são considerados. Em nosso caso, a segunda abordagem, que incorpora regimes espaciais, identificou uma maior correlação entre as variáveis, melhorando o ajuste e minimizando os resíduos, fornecendo, portanto, estimativas mais realísticas.

### **Bibliografia**

- Alves, D. S.; da Costa, W. M.; Escada, M. I. S.; Lopes, E. S. S.; de Souza, R. C. M.; Ortiz, J. D. **Análise da distribuição espacial das taxas de desflorestamento dos municípios da Amazônia Legal no período 1991-1994**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, maio de 1998. Relatório Técnico AMZ-R04/98.
- Alves, D. S., Souza, R. C. Patterns of forest clearing in Brazilian Amazonia. Artigo submetido, 2000.
- Anselin, L. **Space Stat User's Guide**, 1995.
- Busschbacher, R. J. Tropical deforestation and pasture development. **Bioscience**, v. 36, n.1, June. 1986. p.22-28.
- Burrough, P. A. , R. McDonnell. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford University Press, 1998. 333 p.
- Câmara, G. Monteiro, A. M. V.; Felgueiras, C. A.; Barbosa, C. C. F.; Camargo, E. C. G.; Moreira F. R.; Paiva, J. A.; de Medeiros, J. S.; Neves, M. C.; Carvalho, M. S.; Cruz, O. G.; Almeida Filho, R.; Bönisch, S. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. São José dos Campos. Maio de 2000.
- Fearnside, P. M. Predominant land uses in Brazilian America. In: Anderson, A. B., ed. **Alternatives to deforestation: steps towards sustainable use of the Amazon rain forest**. New York: Columbia University Press, 1990. p.233-251.
- FIBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Malha municipal digital do Brasil – situação em 1991 e 1994**. Rio de Janeiro, 1996.
- FIBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Malha municipal digital – 1997**. Rio de Janeiro, 1998.
- FIBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Pesquisa Agropecuária** <http://www.sidra.ibge.gov.br/>, Fevereiro de 2000.
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Projeto PRODES. Levantamento das áreas desflorestadas na Amazônia Legal no período 1995-1997. **Separata**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Monitoramento da floresta amazônica por satélite 1998 – 1999. **Separata**. (São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) Abril de 2000a.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **Sistema de Processamento de informações Georreferenciadas (SPRING)**. <http://www.dpi.inpe.br/dpi/spring/>, Setembro de 2000b.

Tardin, A. T., Lee, D. C. L., Santos, R. J. R., Assis, O. R., Barbosa, M. P. S., Moreira, M. L., Pereira, M. T., Silva, D., and Santos Filho, C. P. **Subprojeto desmatamento**. Convênio IBDF/CNPq – INPE. Relatório Técnico INPE-1649-RPE/103. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1980.