

Modelos de regressão espacial aplicados à investigação de variáveis de mudança de uso e cobertura da terra no Alto Uruguai (RS e SC)

Marcos Wellausen Dias de Freitas

1. Introdução

As mudanças de uso e cobertura da terra se apresentam na atualidade como um dos mais graves problemas ambientais devido aos diferentes processos de degradação ambiental decorrentes dos seus efeitos principais e secundários. Neste trabalho, foi realizada uma análise de variáveis associadas aos processos de mudança com vistas ao uso em modelos de dinâmica da paisagem em área do Alto Uruguai (divisa de Rio Grande do Sul e Santa Catarina). Esta área apresentou uma grande dinâmica de mudanças de uso e cobertura da terra no intervalo de tempo analisado (2002 a 2008) relacionadas especialmente à expansão da agricultura de soja e às atividades de silvicultura.

Diversos estudos tem se dedicado à análise de variáveis relacionadas às mudanças de uso e cobertura da terra, com o propósito de utilizá-las como variáveis de entrada em modelos estatísticos convencionais ou espaciais. Em especial as abordagens de modelagem da dinâmica espacial são aplicadas à geração de cenários a serem considerados nas atividades de planejamento territorial e gestão ambiental (Verburg et al., 2002).

Dentre os métodos utilizados nestes estudos de mudanças de uso e cobertura da terra, um dos principais é baseado no uso de modelos de regressão linear ou logística (Lesschen et al., 2005) para identificação de variáveis associadas diretamente aos processos de mudança (*driving factors*). O uso de modelos de regressão espacial que incorporam a questão da dependência espacial dos dados de mudança de uso da terra é recente e apresenta resultados promissores, pois permite a incorporação da problemática da autocorrelação espacial existente neste tipo de estudo (Overmars et al., 2003, Soares-Filho et al., 2008).

O modelo de regressão espacial mais utilizado nos estudos de mudança de uso e cobertura da terra, também usado neste trabalho, é o denominado *Spatial Lag Model* (SAR). Este é um modelo espacial nascido no âmbito da econometria espacial que vem sendo adotado em diferentes áreas de conhecimento e incorpora a questão espacial de modo global, com base em métodos de autocorrelação espacial globais, o que pressupõe uma homogeneidade e estacionariedade do ponto de vista espacial (Anselin, 2002).

2. Materiais

Para o mapeamento de uso e cobertura da terra foram utilizadas imagens Landsat-5 TM, cenas 221/79 (12/11/2002 e 03/10/2008), 221/80 (25/09/1999 e 03/10/2008) e 222/79 (24/09/1999 e 29/10/2009). A base cartográfica foi composta por cartas topográficas na escala 1:100.000 e de malhas de municípios (17 no total) e setores censitários rurais de 2000 (206 no total). Os dados censitários utilizados foram do Censo Demográfico de 2000 no nível de agregação de setores censitários rurais. Dados geomorfométricos do projeto TOPODATA foram utilizados para a caracterização de tais variáveis (como o Modelo Digital de Elevação e declividade). Os softwares utilizados foram Definiens Developer 7 (classificação de imagens orientada a objetos), ArcGIS 9.3 (operações de geoprocessamento), Geoda 0.95i (análise espacial exploratória e regressão espacial), XLStat 2009 (análise estatística e regressões lineares *stepwise*).

3. Métodos

Foram utilizadas diferentes metodologias no decorrer do trabalho, desde a preparação do banco de dados geográficos, definição de variáveis, análise espacial exploratória e modelos de regressões lineares e espaciais. As etapas de pesquisa realizadas podem ser acompanhadas no fluxograma metodológico geral na FIGURA 1.

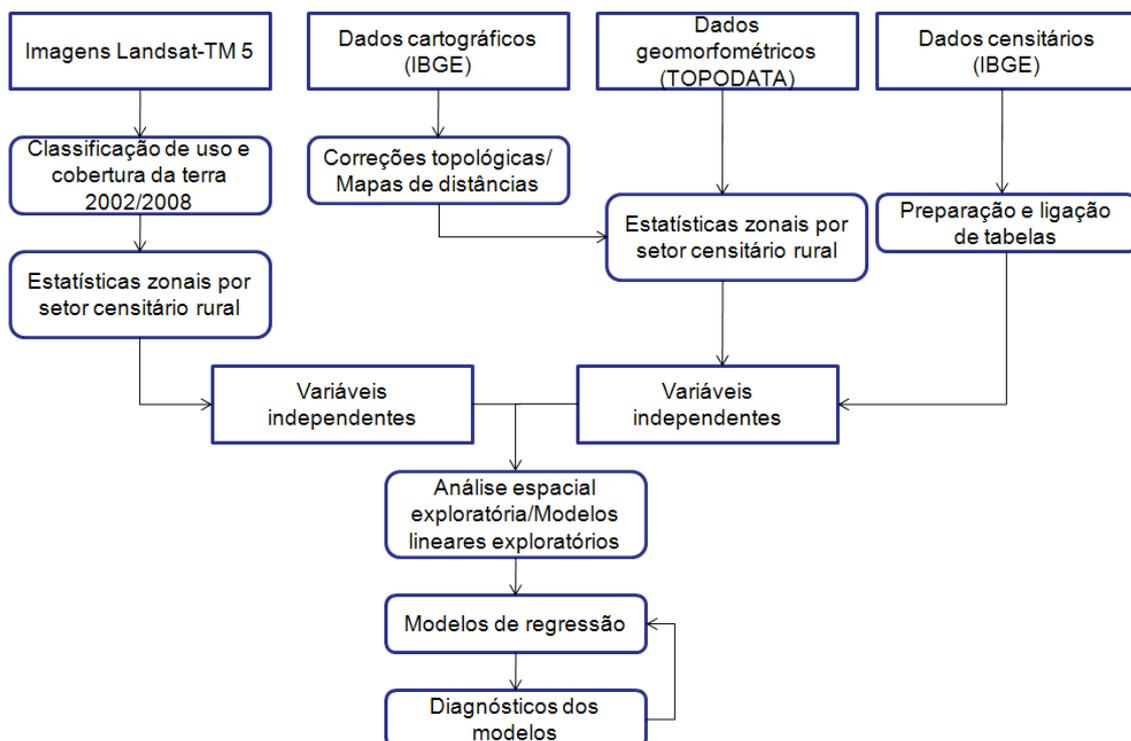


FIGURA 1: Fluxograma metodológico geral.

3.1 Preparação do banco de dados geográficos

Para a classificação de uso e cobertura da terra, as imagens Landsat foram devidamente corrigidas geometricamente com a base cartográfica e classificadas através de métodos orientados a objetos, com a segmentação multi-resolução e classificação pelo método de vizinho mais próximo. A base vetorial foi ajustada em sua geometria e topologia, ligada aos atributos censitários, geomorfométricos e de mudanças de uso e cobertura da terra. A partir de tal base cartográfica, ainda foram elaborados mapas de distância euclidiana de estradas. Sobre tais dados de entrada foram geradas estatísticas zonais para cada setor censitário rural que foram utilizadas nas etapas seguintes do trabalho.

3.2 Definição das variáveis dependentes e independentes

Foram consideradas as seguintes classes de uso e cobertura da terra (FIGURA 2A e 2B): floresta avançada (vegetação secundária avançada), campo nativo (campos de cima da serra), agricultura familiar (padrão heterogêneo e de pequenas extensões com pastagens, culturas e capoeira), agricultura de grande porte (culturas extensas de soja, trigo e outras), silvicultura (reflorestamento com espécies como *Pinus sp.*), urbano e água.

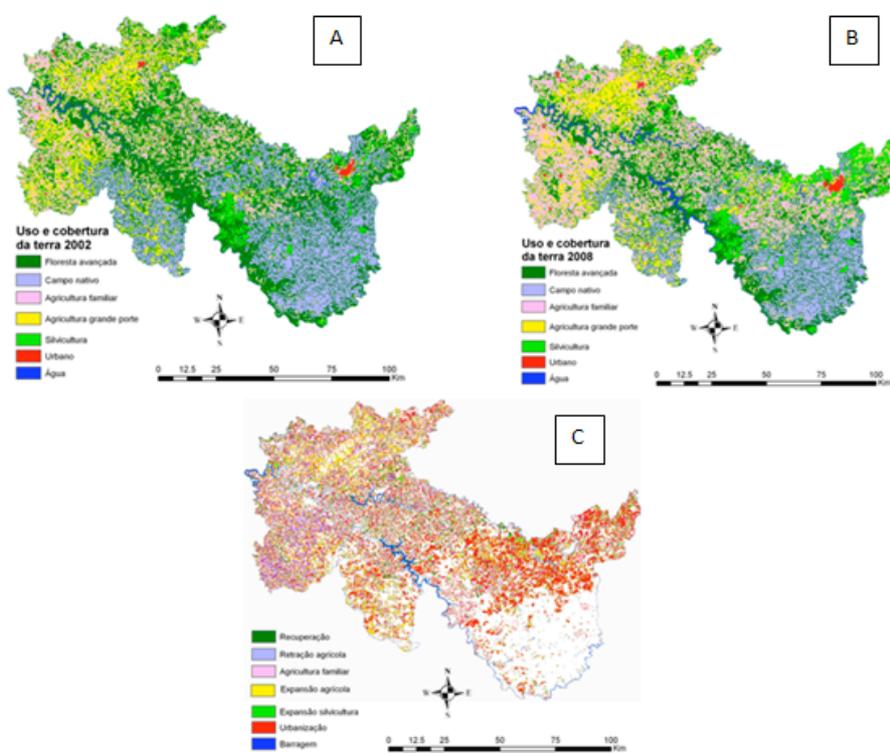


FIGURA 2: Mapas de uso e cobertura da terra de 2002 (A) e 2008 (B) e de mudanças de uso e cobertura da terra 2002-2008 (C).

Inicialmente, foram definidos os processos relacionados às mudanças de uso e cobertura da terra na área de estudo entre 2002 e 2008 (FIGURA 2C). Estes processos formam as variáveis dependentes (proporção de área de cada setor censitário) utilizadas neste trabalho, como pode ser visto na FIGURA 3, e foram assim definidos:

- Recuperação: áreas de agricultura familiar que evoluíram para vegetação secundária avançada;
- Retração agrícola: áreas de agricultura de grande porte e de silvicultura que passaram à agricultura familiar;
- Degradação: áreas de floresta e campo nativo que passaram a usos agrícolas e de silvicultura;
- Expansão agrícola: áreas de agricultura familiar e de silvicultura que passaram à agricultura de grande porte;
- Expansão da silvicultura: áreas agrícolas que passaram a atividades de reflorestamento;
- Urbanização: todas as classes que foram integradas às manchas urbanas.

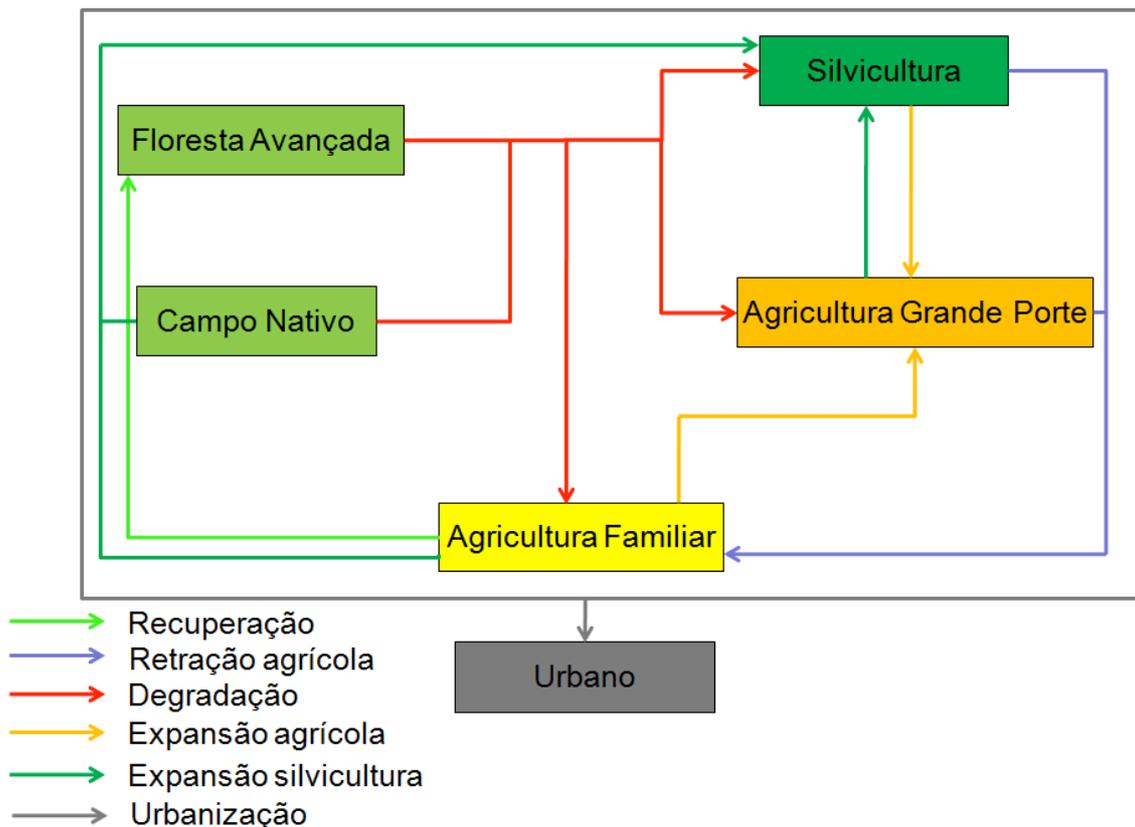


FIGURA 3: Processos de mudança de uso e cobertura da terra de 2002 a 2008.

A seguir, foram definidas as variáveis independentes sociais, infraestruturais e geomorfométricas utilizadas nos modelos de regressão, que podem ser vistas na

TABELA 1. Estas variáveis foram escolhidas de acordo com outros estudos de mudança de uso e cobertura da terra (D'Antona et al., 2007; Alves, 2007) e também em outras áreas envolvidas com a análise multivariada de dados censitários (Carvalho et al., 1997

TABELA 1: Variáveis independentes utilizadas nos modelos de regressão.

Categoria	Variáveis	Abreviação/Observações
Renda	- Rendimento nominal mensal por pessoa responsável por domicílio particular permanente	renda
	- Média do rendimento nominal mensal das pessoas responsáveis por domicílios particulares permanentes	renda_media
Educação	- Média do número de anos de estudo das pessoas responsáveis por domicílios particulares permanentes	anos_est
	- Taxa de alfabetização	tx_alf (Pessoas alfabetizadas com 5 ou mais anos de idade*100)/Pessoas com 5 anos ou mais
Domicílio	- Média do número de moradores em domicílios particulares permanentes	med_mor
População	- Densidade populacional	dens_pop população residente no setor/área do setor censitário em Km ²
	- Razão de dependência	raz_dep ((população com menos de 15 anos + população com mais de 64 anos)/população entre 15 e 64 anos)*100
	- Porcentagem de população com menos de 15 anos	pop_menos15
	- Porcentagem de população entre 15 e 64 anos	pop_15_64
	- Porcentagem de população com mais de 64 anos	pop+64
Infraestrutura	- Distância euclidiana média às estradas principais e vicinais	dist_med
	- Desvio-padrão da distância euclidiana às estradas principais e vicinais	dist_desv
Geomorfométricas	- Amplitude altimétrica	amp_alt
	- Altitude média	alt_med
	- Declividade média	dec_med
	- Declividade mediana	dec_mediana
	- Desvio-padrão da declividade	dec_desv

3.3 Análise espacial exploratória

Com a definição das variáveis dependentes e independentes, foi possível a realização de uma análise espacial exploratória para a checagem de problemas de autocorrelação espacial relacionados às variáveis dependentes através do método global de Moran's I. Foi ainda realizada na análise espacial exploratória uma série de visualizações de mapas com as variáveis dependentes e independentes escolhidas.

3.4 Modelos de regressão linear exploratórios

Os modelos de regressão lineares foram gerados através da técnica *stepwise backward*, onde foi gerado um modelo para cada variável dependente, com a seleção de variáveis, com base na significância do teste F, a partir do conjunto inicial com todas as variáveis independentes originais e transformadas por operação de raiz quadrada. Através do diagnóstico dos resultados dos modelos de regressão, foi selecionado o processo de mudança de uso e cobertura da terra que apresentou resultados mais significativos e com presença de problemas de autocorrelação espacial, para a geração do modelo de regressão espacial.

3.5 Modelos de regressão espacial

O modelo de regressão espacial corresponde a uma regressão linear com a incorporação da componente espacial na variável dependente Y, como pode ser visto:

$$Y = \rho WY + X\beta + \varepsilon \quad (1)$$

Em que Y é a variável dependente, ρ é o coeficiente espacial autoregressivo (medida de correlação espacial), W é a matriz de vizinhança, WY expressa a dependência espacial em Y, X é a matriz de observações das variáveis independentes, β é coeficiente da regressão e ε é o erro aleatório, com distribuição normal e variância constante.

A escolha do modelo de regressão espacial utilizado foi baseada nos diagnósticos de autocorrelação espacial, como os testes estatísticos de Lagrange (*Lagrange Multiplier Test Statistics*), de acordo com as regras de decisão colocadas por Anselin (2005). Após a aplicação do modelo de regressão espacial, foram retiradas as variáveis não-significantes para a geração de um modelo mais adequado.

4. Resultados e discussão

4.1 Análise espacial exploratória

A detecção de problemas de autocorrelação espacial foi realizada em todas as variáveis dependentes para uma primeira seleção de processos a serem utilizados na modelagem de regressão espacial. A matriz de vizinhança foi definida pelo método de contigüidade com o uso do critério de rook que considera como vizinhos apenas os setores censitários com fronteiras comuns. Apenas o processo de urbanização foi descartado, pois o teste de hipóteses de autocorrelação espacial não mostrou a presença de tais problemas, como pode ser visto na TABELA 2.

TABELA 2: Testes de autocorrelação espacial das variáveis dependentes.

Variáveis	Moran's I	p-valor
Degradação	0,2999	0,0001
Recuperação	0,3856	0,0001
Retração agrícola	0,8159	0,0001
Expansão agrícola	0,3861	0,0001
Expansão silvicultura	0,3935	0,0001
Urbanização	0,0557	0,0951

4.2 Modelos de regressão linear exploratórios

Os resultados iniciais dos modelos de regressão *stepwise backward* com os dados originais mostraram a necessidade da transformação por raiz quadrada devido aos resíduos não apresentarem distribuição normal (teste de Jarque-Bera), o que dificulta a interpretação do teste F de significância do modelo. Os parâmetros analisados no diagnóstico dos modelos de regressão lineares (TABELA 3) foram: a) variáveis selecionadas; b) medidas de ajuste dos modelos (R^2); c) significância do modelo (estatística F); d) multicolinearidade (*Condition Number* – CN); d) distribuição normal dos resíduos (teste de Jarque-Bera); e) heterocedasticidade ou variância não-constante dos resíduos (testes de Koenker-Basset, Breusch-Pagan e White).

TABELA 3: Resultados dos modelos de regressão linear *stepwise backward*.

Processo	Nº de variáveis	Variáveis	R^2	P (estatística F)	CN	P (Jarque-Bera)	P(Koenker-Bassett)
Degradação	7	pop+64/ renda/ dens_pop/ amp_alt/ dec_mediana / dec_med / dec_desv	0.20	8.50E-08*	118.4	0.00	0.23****
Recuperação	4	renda / tx_alf / alt_med / dec_med	0.33	4.60E-17*	52.7	0.00	0.66****

Retração agrícola	5	dens_pop/ amp_alt/ alt_med/ dec_mediana / dist_med	0.35	2.16E-17*	26.8**	0.00	0.00
Expansão de silvicultura	3	pop+64/ dens_pop/ alt_med	0.18	9.58E-09*	16.9**	0.00	0.05****
Urbanização	4	med_estudo/ tx_alf/ dens_pop / dec_desv	0.64	1.40E-44*	48.9	0.00	0.00
Expansão agrícola	5	Raz_dep/ renda_media/ dens_pop/ dec_mediana/ dist_desv	0.27	7.56E-13*	17.2**	0.10***	0.01

* modelos significantes ($\alpha=0,05$)

** sem problemas de multicolinearidade (CN<30)

*** resíduos com distribuição normal ($\alpha=0,05$)

**** resíduos homocedásticos ($\alpha=0,05$)

4.3 Modelos de regressão do processo de expansão agrícola

De acordo com os resultados das regressões lineares e da análise de autocorrelação espacial dos resíduos da regressão linear 1, foi escolhido o processo de expansão agrícola para a geração do modelo de regressão espacial. O modelo de regressão linear 1 apresentou os resultados seguintes (TABELAS 4 e 5) que mostraram a existência de autocorrelação espacial e também possibilitaram a escolha do modelo de regressão espacial a ser adotado. Neste caso foi selecionado o *Spatial Lag Model* (SAR), devido à maior significância da versão robusta do teste *LM-Lag* em relação ao teste *LM-Error* em todos os modelos de regressão linear (Anselin, 2005), como pode ser visto na TABELA 6.

TABELA 4: Diagnóstico dos modelos de regressão do processo de expansão agrícola.

Modelo	R ²	P (estatística F)	CN	P (Jarque-Bera)	P(Koenker-Bassett)	P(Breusch-Pagan)	P(White)	Log	AIC
Linear 1	0.27	7.56E-13*	17.2**	0.10***	0.01	0,005	0,002	161.98	-311.959
SAR 1	0.44	-	17.2**	-	-	0.0001	-	187.067	-360.134
Linear 2	0.18	6.24E-010*	11.6**	0.76***	0.0001	0.0003	0.0001	149.832	-293.665
SAR 2	0.29	-	11.6**	-	-	0.006	-	164.043	-320.086
Linear 3	0.15	2.45E-008*	9.1**	0.78***	0.0000617	0.0001469	0.0000344	146.107	-286.214
SAR 3	0.28	-	9.1**	-	-	0.0069067	-	162.899	-317.797

TABELA 5: Estatísticas das variáveis independentes e constante dos modelos de regressão linear.

Modelo	Variável	Coefficiente	Erro	Estatística t	Valor-p
Linear 1	Constante	0.4234906	0.05348975	7.917229	0.0000000
	raz_dep	-0.001408288	0.0006528802	-2.157039	0.0321955
	dens_pop	-9.895512e-005	2.779341e-005	-3.56038	0.0004627
	renda_med	8.623844e-005	4.823016e-005	1.78806	0.0752804
	dec_mediana	-0.01198294	0.001659423	-7.221153	0.0000000
	dist_desv	3.574658e-005	1.940477e-005	1.842154	0.0669330
Linear 2	Constante	0.4649756	0.04445539	10.45937	0.0000000
	raz_dep	-0.00197805	0.0006639551	-2.979192	0.0032425
	dec_mediana	-0.009847137	0.001637443	-6.01373	0.0000000
Linear 3	Constante	0.3315638	0.03664631	9.047671	0.0000000
	renda_med	5.710116e-005	4.916125e-005	1.161507	0.2467997
	dec_mediana	-0.009685661	0.001705135	-5.68029	0.0000000

TABELA 6: Diagnóstico de dependência espacial dos modelos de regressão linear.

Teste	Moran's I (error)	Lagrange Multiplier (lag)	Robust LM (lag)	Lagrange Multiplier (error)	Robust LM (error)
Linear 1	0.0000001	0.0000000	0.0000718	0.0000005	0.6626887
Linear 2	0.0142421	0.0000012	0.0000075	0.0205685	0.1719463
Linear 3	0.0215609	0.0000001	0.0000001	0.0304350	0.0267197

O modelo de regressão espacial SAR 1 apresentou resultados que mostram uma melhoria do ajuste em relação ao modelo de regressão linear, como pode ser visto pelos maiores valores do Log de verossimilhança e menores valores de AIC (TABELAS 4 e 7). Porém, em relação às variáveis incorporadas no modelo SAR, ocorreu a perda de significância ($\alpha=0,05$) das variáveis de razão de dependência, densidade populacional, renda média e desvio-padrão da distância de estradas, com apenas a declividade mediana restando ainda significativa.

TABELA 7: Estatísticas das variáveis independentes e constantes dos modelos de regressão espacial.

Modelo	Variável	Coefficiente	Erro	Estatística z	Valor-p
SAR 1	Lag coef. (rho)	0.6397994	0.04812328	13.29501	0.0000000
	Constante	0.2256669	0.04925777	4.581347	0.0000046
	raz_dep	-0.0007749845	0.0005718423	-1.355242	0.1753407
	dens_pop	1.671196e-005	2.599772e-005	0.6428239	0.5203382
	renda_med	7.533054e-005	4.207828e-005	1.790248	0.0734140

	dec_mediana	-0.007526182	0.001485853	-5.065226	0.0000004
	dist_desv	-8.2576e-006	1.709769e-005	-0.4829657	0.6291201
SAR 2	Lag coef. (rho)	0.4585812	0.05398901	8.493974	0.0000000
	Constante	0.3916105	0.04298717	9.109939	0.0000000
	raz_dep	-0.001588582	0.0006198047	-2.563037	0.0103761
	dec_mediana	-0.01148263	0.0015178	-7.565313	0.0000000
SAR 3	Lag coef. (rho)	0.5106849	0.05276368	9.678719	0.0000000
	Constante	0.2482819	0.03516266	7.060953	0.0000000
	renda_med	0.000107097	4.532846e-005	2.362688	0.0181429
	dec_mediana	-0.01107374	0.001559601	-7.100368	0.0000000

Com base nos resultados do modelo de regressão SAR 1, foram gerados dois novos modelos de regressão espacial (2 e 3) e dois modelos de regressão linear (2 e 3), a partir da retirada inicial das variáveis não-significantes e incorporação das variáveis razão de dependência e renda média, respectivamente. Os resultados dos modelos de regressão linear e espacial 2 e 3 podem ser vistos nas TABELAS 4, 5 e 7. Os diagnósticos de dependência espacial dos resíduos dos modelos de regressão linear 2 e 3 também levaram à escolha do modelo de regressão espacial SAR (TABELAS 6).

A análise visual dos resultados dos modelos de regressão pode ser realizada através de gráficos e mapas. A análise dos gráficos (FIGURA 4) é composta por dois tipos: a) plot dos resíduos para avaliar a distribuição normal dos resíduos (para tal deve não apresentar padrão linear); b) plot de resíduos em relação aos valores preditos (elevados ao quadrado, devido à transformação de raiz quadrada nos dados originais) para avaliação da constância da variância dos resíduos (padrões de formas semelhantes a funis revelam heterocedasticidade).

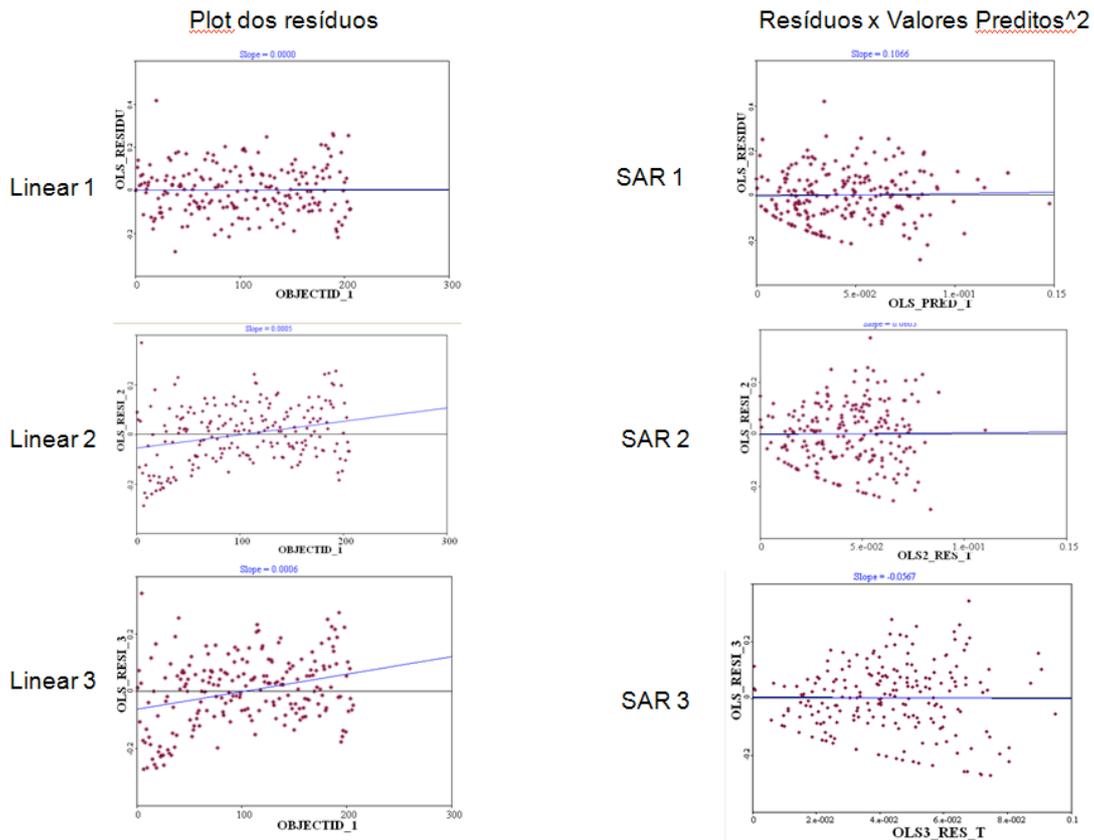


FIGURA 4: Gráficos de resíduos dos modelos lineares e espaciais.

A avaliação do ponto de vista espacial dos modelos foi realizada com os mapeamentos dos valores preditos pelos modelos (elevados ao quadrado) que podem ser comparados com os valores observados do processo de expansão agrícola (FIGURA 5). Porém, o mapeamento dos resíduos (FIGURA 6) é a forma mais importante para avaliar do ponto de vista espacial os resultados dos modelos (Anselin, 2005), com a indicação de regiões sub ou superestimadas que podem indicar padrões espaciais. Outra forma de avaliação de ajuste dos modelos espaciais é colocada por Anselin (2005) que apresenta uma ordem decrescente ($W > LR > LM$) entre os testes de Wald, razão de verossimilhança (LR) e LM-lag (LM), essa relação é apresentada na TABELA 8.

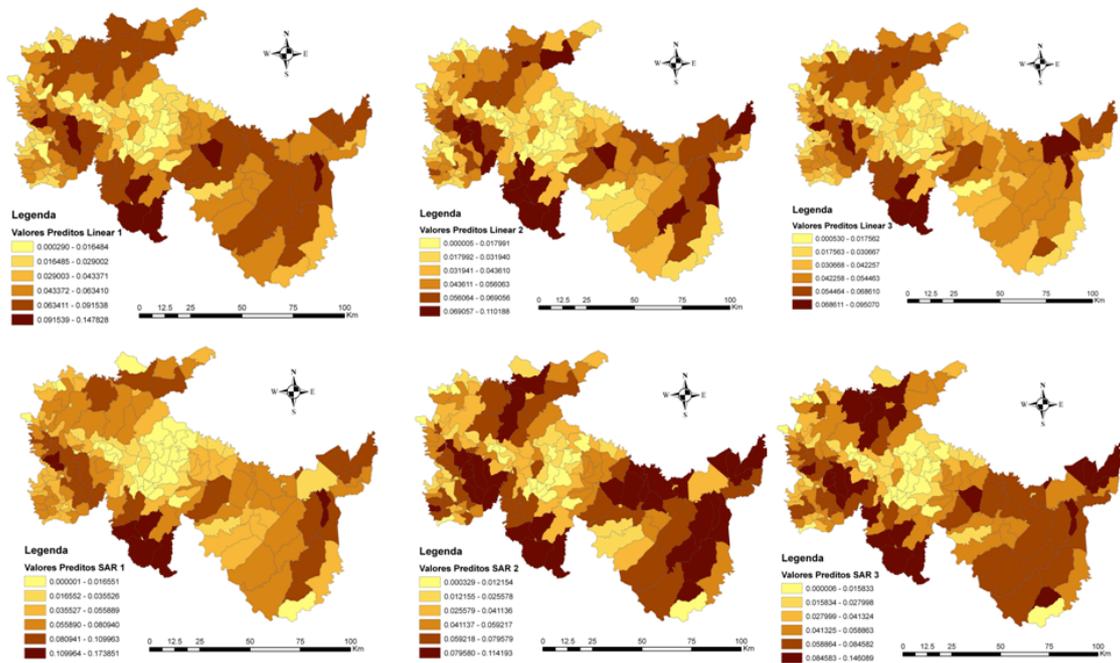


FIGURA 5: Mapas dos valores preditos dos modelos lineares e espaciais.

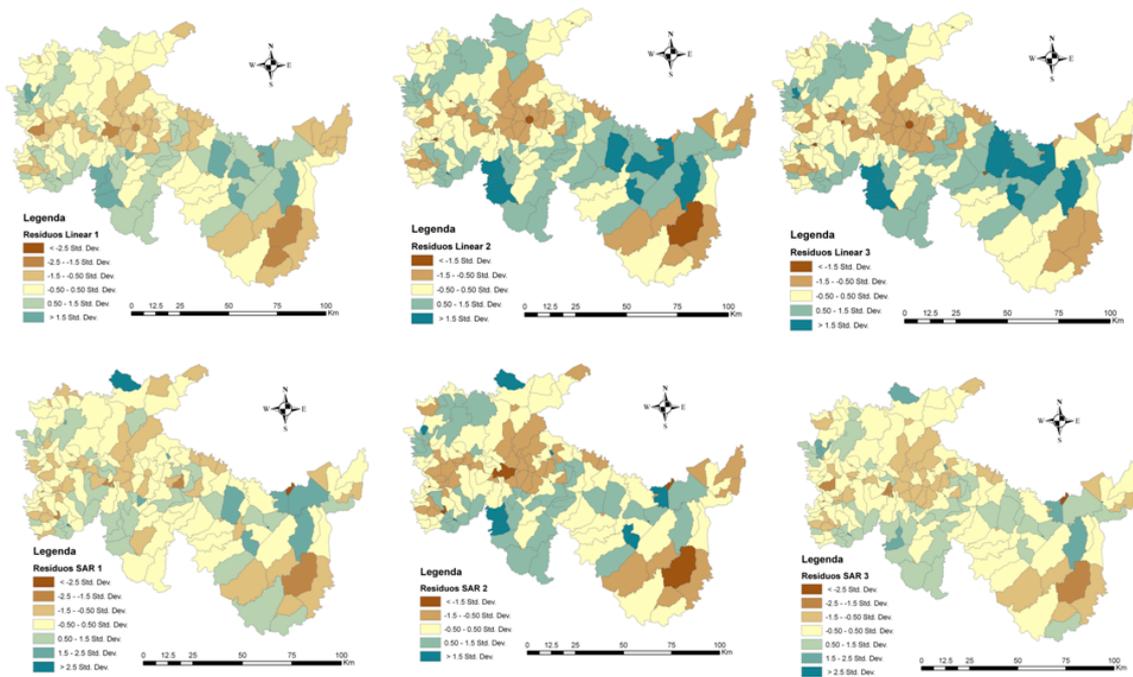


FIGURA 6: Mapas dos resíduos dos modelos lineares e espaciais.

TABELA 8: Testes de Wald, razão de verossimilhança (LR) e LM-lag (LM).

Modelo	Wald	LR	LM
SAR 1	176.76	50.17	40.97
SAR 2	93.67	33.58	27.95
SAR 3	72.14	28.42	23.54

5. Discussão

Os resultados dos modelos de regressão linear e espacial mostram como os mesmos dados podem apresentar comportamentos bastante distintos para a modelagem estatística de acordo com a incorporação de ferramentas de análise espacial ou a utilização de métodos lineares convencionais. Como exemplo neste estudo de caso, notou-se a mudança de significância das variáveis independentes de acordo com a modelagem linear 1 para o modelo SAR 1, onde apenas a variável declividade mediana permaneceu significativa. O caso inverso ocorreu nos modelos linear 3 e SAR 3, onde a variável renda média apresentou significância apenas no modelo espacial.

O componente auto-regressivo espacial (ρ) apresentou em todos modelos SAR significância, o que revela a presença de dependência espacial no conjunto de dados analisados. Conforme Overmars et al. (2003), se a matriz de vizinhança for padronizada, o coeficiente de ρ pode ser interpretado como a porcentagem da predição do modelo relacionada com os efeitos espaciais e neste caso variou entre 45 e 64% (TABELA 7).

A análise visual dos gráficos revelou, em conjunto com os testes apropriados, a distribuição normal dos resíduos e a heterocedasticidade ou variância não-constante dos mesmos. A análise visual dos mapeamentos dos valores preditos mostrou as diferenças de predição entre os modelos lineares e espaciais, onde o modelo SAR 1 apresentou maiores diferenças em relação ao modelo linear 1. Os mapeamentos dos resíduos mostraram uma tendência de suavização dos resíduos dos modelos espaciais em relação aos modelos lineares, em conjunto com uma distribuição mais próxima da aleatoriedade.

As variáveis independentes utilizadas nos modelos apresentaram associações com os processos de mudança de uso e cobertura da terra no nível de agregação adotado de setores censitários rurais. Tais associações se referem à escala de agregação adotada, não podendo ser generalizada para níveis hierarquicamente inferiores de análise devido aos problemas de falácia ecológica e de áreas modificáveis (MAUP) sugeridos por Anselin (2002). Notou-se ainda a variedade de fatores sociais, econômicos e do ambiente físico que apresentaram significância nos modelos de regressão adotados e a forte dependência dos resultados dos modelos em face da interação de tais variáveis.

6. Conclusões

Este trabalho revelou a importância de decisões criteriosas para a incorporação de variáveis independentes nos modelos de regressão lineares e espaciais, pois as variáveis selecionadas por métodos exploratórios como a regressão *stepwise* apresentaram comportamentos diferentes a partir da aplicação do componente auto-regressivo espacial. As variáveis selecionadas para utilização nos modelos apresentaram grande heterogeneidade, o que reforça a necessidade do uso integrado de variáveis sociais e ambientais nos estudos que envolvem sistemas de alta complexidade como os sistemas de uso da terra. Ainda, foi demonstrada a importância do uso de modelos espaciais em estudos de mudanças de uso e cobertura da terra para uma identificação de padrões de uso e para a definição de variáveis ou fatores de mudança que sejam realmente significantes principalmente para a modelagem dos sistemas de uso da terra e para a geração de cenários aplicáveis no planejamento territorial e gestão ambiental.

7. Referência bibliográficas

Alves, H. P. F. Fatores demográficos e sócio-econômicos associados às mudanças na cobertura da terra no Vale do Ribeira: análise integrada de dados censitários e de sensoriamento remoto através de um sistema de informação geográfica. In: Hogan, D. J. (Org.). **Dinâmica populacional e mudança ambiental: cenários para o desenvolvimento humano**. Campinas, Nepo/Unicamp, 2007, p.117-143.

Anselin, L. Exploring Spatial Data with GeoDa™ : A Workbook. Center for Spatially Integrated Social Science, 2005, 226p.

_____. Under the hood: issues in the specification and interpretation of spatial regression models. **Agricultural Economics**, n.27, 2002, p.247-267

Carvalho, M. S.; Cruz, O. G.; Nobre, F. F. Perfil de risco: método multivariado de classificação sócio-econômica de microáreas urbanas – os setores censitários da região metropolitana do Rio de Janeiro. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, n.13, v.4, 1997, p.635-645.

D'Antona, A.; Cak, A. D.; Wey, L. K. V. Efeitos de escala de análise em estudos de mudança da cobertura da terra entre Santarém e Altamira, no Pará, Brasil. In: Hogan, D. J. (Org.). **Dinâmica populacional e mudança ambiental: cenários para o desenvolvimento humano**. Campinas, Nepo/Unicamp, 2007, p.87-113.

Lesschen, J. P.; Verburg, P. H.; Staal, S. J. **Statistical methods for analysing the spatial dimension of changes in land use and farming systems**. LUCC Report Series No. 7, Nairobi/Wageningen, The International Livestock Research Institute/LUCC Focus 3 Office, 2005, 80p.

Overmars, K.P.; Koning G.H.J.; Veldkamp, A. Spatial autocorrelation in multi-scale land use models. **Ecological Modelling**, n.164, 2003, p.257–270.

Soares-Filho, B. S.; Garcia, R. A.; Rodrigues, H.; Moro, S.; Nepstad, D. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: a caminho de um modelo integrado. In: Batistella, M.; Alves, D. S.; Moran, E.. (Org.). **Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação**. São Paulo: Edusp, 2008.

Verburg, P. H. Soepboer, W.; Veldkamp, A.; Limpiada, R.; Espaldon, V.; Mastura, S. S. A. Modeling the Spatial Dynamics of Regional Land Use: The CLUE-S Model. *Environmental Management*, v. 30, n. 3, 2002, p. 391–405