

Avaliação do modelo de mudança do uso do solo CLUE-S na presença de dependência espacial

Luis Iván Ortiz Valencia¹
Margareth Simoes Penello Meirelles^{2,3,4}
Lucieta Guerreiro Martorano⁵

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/IESC
Praça Jorge Machado Moreira, Ilha do Fundão - Cidade Universitária
CEP 21944-970, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
liov@iesc.ufrj.br

² EMBRAPA – Programa LabEX Europa
Av Agropolis – 34394 CEDEX 5 Montpellier - France

³ UMR TETIS - Maison de la Télédetection - CIRAD
500, rue Jean-François Breton – 34000 Montpellier - France

⁴ Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Departamento de Sistemas e Computação
Pós Graduação em Geomática. Rua São Francisco Xavier, nº 524, Pavilhão Reitor João Lyra
Filho, 5º andar, Bloco D, sala 5028-D, Maracanã, CEP 20550-900, Rio de Janeiro - RJ
maggie.penello@gmail.com

⁵ Embrapa Amazônia Oriental
Trav. Dr. Enéas Pinheiro s/nº Belém, 66095100, Belém, Brasil
luty@cpatu.embrapa.br

Abstract.

Land use changes impacts global environmental changes worldwide. Land use and cover changes (LUCC) are complex dynamical processes. In general, LUCC depends on geographical, environmental, social, economical and political factors with effects in diverse temporal and spatial scales. Great efforts are being made to create LUCC models, both theoretically and computationally. An important step in LUCC models is to quantify local influence of driving forces over the probability of occurrence of a specific land use type. This probability is usually quantified by a Logistic Regression Model. This paper compares a Logistic approach with a Spatial Lag Regression Model (SLRM). Generally, both approaches select different driving forces but SLRM incorporates spatial neighborhood information which is ignored by a logistic regression. Based on a lineal trend scenario for land use demand, simulations for land use changes for Coxim micro basin, Mato Grosso do Sul, were generated using CLUE-S program under a logistic and spatial regression models for the period 2001-2011. Simulation results for both approaches revealed elevated concordance indexes, high global accuracy and Kappa index, with respect to land use for the reference year of 2004. Differences were observed for spatial distribution for land use simulations for year 2011. The spatial regression approach simulation for 2011 reached less discrepancy to the land use demand for that year.

Palavras-chave: Land Use and Cover Change, Logistic Regression, Spatial Lag Regression Model, Simulation.

1. Introdução

O crescimento populacional e o aumento da demanda por alimentos e recursos energéticos são reconhecidos como agentes de alteração de padrões das atuais taxas das mudanças do uso e cobertura do solo. Estas mudanças são consideradas como uma das mais importantes pressões ambientais causadas por atividades humanas com efeitos diretos sobre perdas de diversidade biológica, empobrecimento dos solos, aumento dos bolsões de pobreza nos grandes centros urbanos e contribuição nas emissões de gases de efeito estufa que desencadeiam processos de mudanças climáticas globais Vitousek et al. (1997) e Martorano et al. (2009).

Para descrever padrões na dinâmica de uso e cobertura do solo utilizam-se modelos que expressam determinadas formas de mudanças e se fundamentam em métodos matemáticos,

estatísticos e computacionais. O objetivo principal é gerar possíveis cenários do processo de mudança do uso do solo em função de um conjunto de parâmetros (Pedrosa e Camara, 2007). O CLUE-S (Conversion of Land Use and its Effects at Small Regional Extent) foi desenvolvido pelo grupo de pesquisa Land Dynamics Group da Universidade de Wageningen, Holanda (<http://www.lad.wur.nl/UK/>) e simula a dinâmica da mudança do uso do solo e tem sido aplicado em escalas continentais, regionais e locais, Verburg et al. (2002) e Verburg, (2008). O CLUE-S é composto de um módulo espacial e um não espacial, sendo que no primeiro são especificados os planos celulares dos impulsores de demandas locais, e no segundo, os impulsores de demanda globais ou regionais definidos para quantificar a demanda agregada do uso do solo (Figura 1).

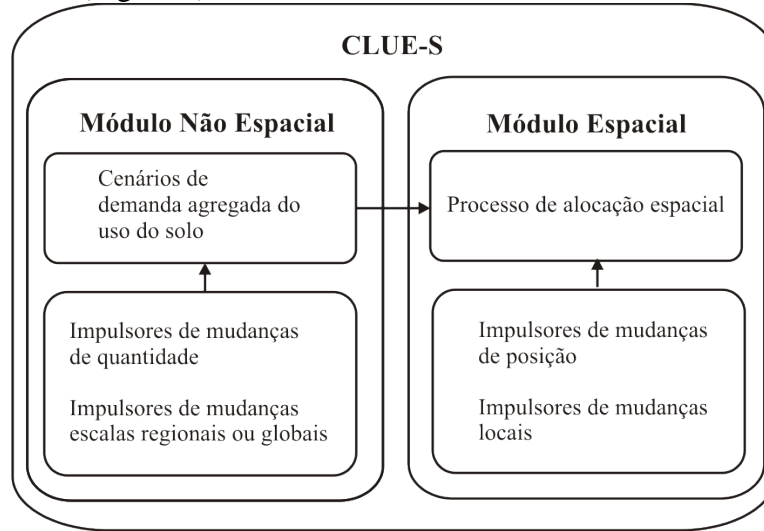


Figura 1. Estrutura do modelo CLUE-S, adaptado de Verburg et al. (2002).

O enfoque atual do CLUE-S utiliza a regressão logística binária para quantificar a influência dos impulsores de mudanças sobre a probabilidade de ocorrência de uma classe de uso do solo (Figura 2). Este enfoque não considera a autocorrelação espacial presente nos processos espaciais das mudanças do uso do solo. Sabe-se que o enfoque da regressão logística é ideal para modelar a dependência de uma variável binária (por exemplo, “presença” ou “ausência” de uma classe de uso do solo) em função de um conjunto de fatores (impulsores de mudanças), mas somente tem validade se não houver correlação, em particular de correlação espacial.

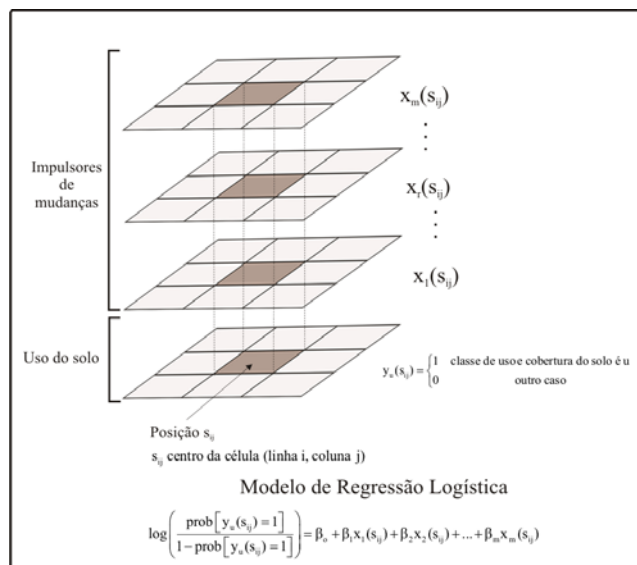


Figura 2. Enfoque do modelo de regressão logística no CLUE-S, Valencia (2008).

A estatística espacial compreende um conjunto de métodos estatísticos para analisar processos espaciais, Bailey e Gattrel (1995). Um tipo particular de processo espacial é o “dado de área”. Dados de área consistem de valores ou indicadores que representam áreas que perfazem a região de estudo. Estas áreas são denominadas de reticulados, células ou *lattice*. No caso do modelo CLUE-S os reticulados são quadrados. No enfoque espacial, o efeito dos valores vizinhos da variável uso do solo é capturado através do modelo regressão espacial com defasagem, Gelfand et al. (2010), conforme representado na Figura 3.

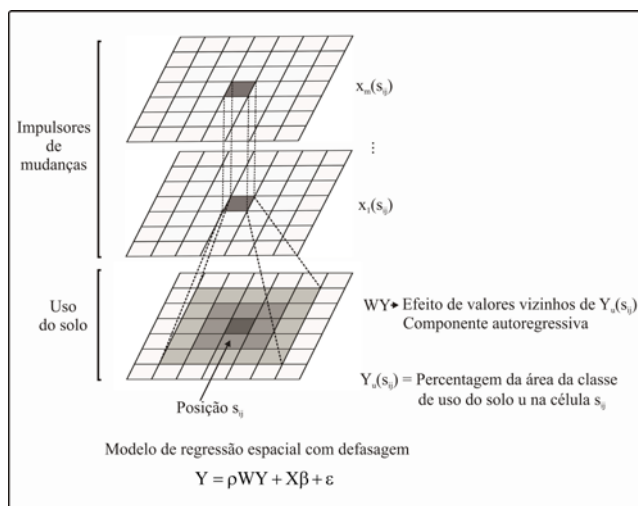


Figura 3. Enfoque espacial, Valencia (2008).

Dentro desse contexto, objetivou-se com este trabalho aplicar o modelo CLUE-S na presença de dependência espacial para simular mudanças de uso do solo na microbacia do Rio Coxim, MS e apontar possíveis áreas de maior pressão agrícola na área de estudo.

2. Metodologia

O estudo de caso corresponde à região da microbacia do rio Coxim na bacia do Alto Taquari (BAT). A BAT corresponde a uma região de planalto com altitude variando entre 200m a 900m, com uma área de 28.046 km², segundo Silva (2003). Está localizado na região Centro-Oeste do Brasil entre os estados de Mato Grosso do Sul (MS) (86,5%) e do Mato Grosso (MT) (13,5%). A precipitação pluvial na BAT varia entre 1.434 a 1.632 mm, sendo ao Norte as áreas com maior oferta pluvial, onde o potencial erosivo das chuvas é mais intenso, BRIENZA et al. (2009). A microbacia do rio Coxim encontra-se na faixa entre 1.467 a 1.533 mm de precipitação média anual. A Figura 5 apresenta a localização, limites e os municípios que a BAT pertence.

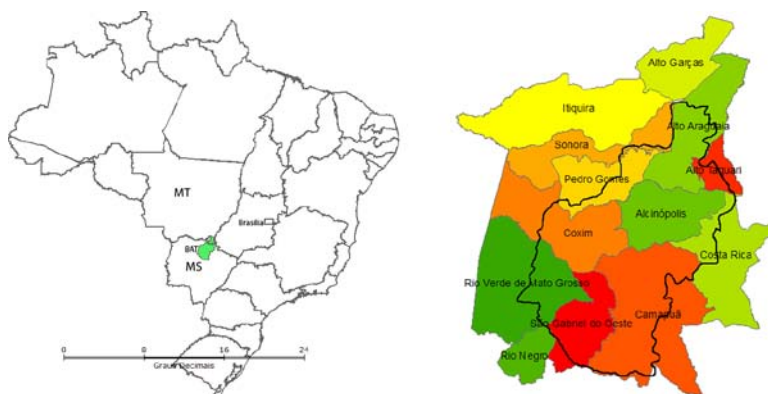


Figura 5. Localização da Bacia do Alto Taquari (BAT), Mato Grosso do Sul, Valencia (2008).

A metodologia é composta da três etapas, sumarizadas na Figura 4: i) organização da base de dados, ii) análise estatística, iii) simulação CLUE-S (modelagem dinâmica).

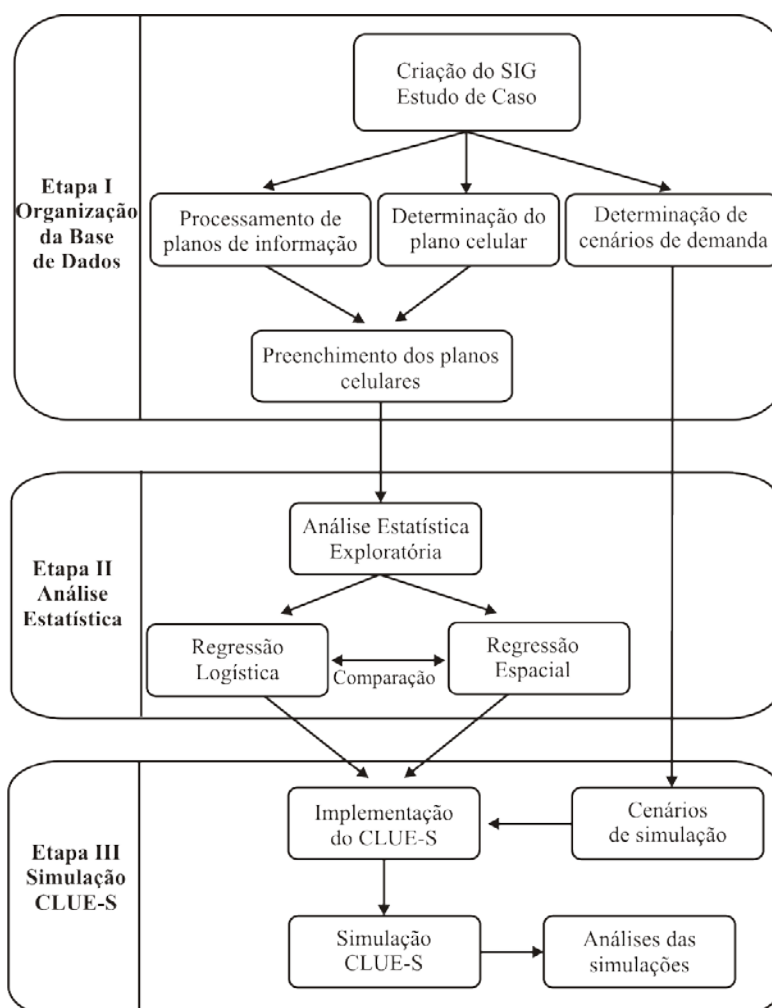


Figura 4. Desenho esquemático da metodologia, Valencia (2008).

A Tabela 1 apresenta os parâmetros utilizados na modelagem dinâmica. Os planos de informação (PI), que é a representação espacial em ambiente SIG destes parâmetros, foram importados para o TerraView versão 3.2. (www.inpe.br) e as informações de todos os PI foram armazenadas em um único espaço celular, através da utilização de plugins específicos, (Tabela 2).

Tabela 1. Informações consideradas no estudo.

Plano de informação	Descrição	Fonte
Uso do solo	Classificação do uso do solo para os anos 2001, 2002, 2003 e 2004.	Jonathan, (2005).
Declividade	Declividade (graus)	SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) INPE http://www.dpi.inpe.br/topodata
Altitude	Altitude em metros	SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) INPE http://www.dpi.inpe.br/topodata
Rios duplos e simples	Rede fluvial principal e secundária	Silva, (2003).
Centros urbanos	Localidade das capitais dos municípios do BAT	IBGE http://www.ibge.gov.br
Rodovias	Rede rodoviária	IBGE http://www.ibge.gov.br
Precipitação pluvial e Temperatura do ar	Máxima. Trimestre com maior precipitação pluvial em mm (dezembro, janeiro, fevereiro). Mínima. Trimestre com menor precipitação pluvial (junho, julho, agosto). Total de precipitação pluvial em termos de média anual (mm). Máxima. médias das máximas temperaturas anuais. Mínima. médias das mínimas temperaturas anuais. Média anual (°C.)	New <i>et al.</i> (2002)

Um plano celular foi gerado para a área de estudo utilizando-se uma célula de 500m x 500m no programa Terraview. Esta célula tem uma área de 0,25 km² ou 25 ha. O número total de células para a microbacia do rio Coxim foi de 26.284, cobrindo uma área de 6.571 km² ou 657.100 ha.

Tabela 2. Planos celulares calculados.

Plano celular	Função
Uso do solo	Porcentagem da área de cada classe
Declividade	Porcentagem da área de cada classe
Altitude	Valor máximo
Rios duplos	Distância mínima
Rios simples	Distância mínima
Centros urbanos	Distância mínima
Rodovias	Distância mínima
Topotérmico máximo	Valor médio
Topotérmico mínimo	
Topotérmico média	
Trimestre com maior precipitação	Valor médio
Trimestre com menor precipitação	
Precipitação média anual	

A classificação do uso do solo para a área da bacia hidrográfica foi obtida utilizando-se imagens multitemporais de satélite MODIS para 2001, 2002, 2003 e 2004 (Meirelles et al, 2010; Jonathan, 2005; Arvor et al 2007, Arvor et al 2008 a e b), através de algoritmos desenvolvidos no Projeto Enviar (www.enviar.cnps.embrapa.br). A resolução espacial é de 300m. A classificação do uso solo considerou quatro classes: Agricultura, Cerrado, Pastagem e Outros. A classe Outros envolveu áreas urbanas e aquelas não identificadas como Agricultura, Cerrado ou Pastagem. A Figura 6 apresenta a classificação do uso do solo obtida para os anos de 2001 e 2004.

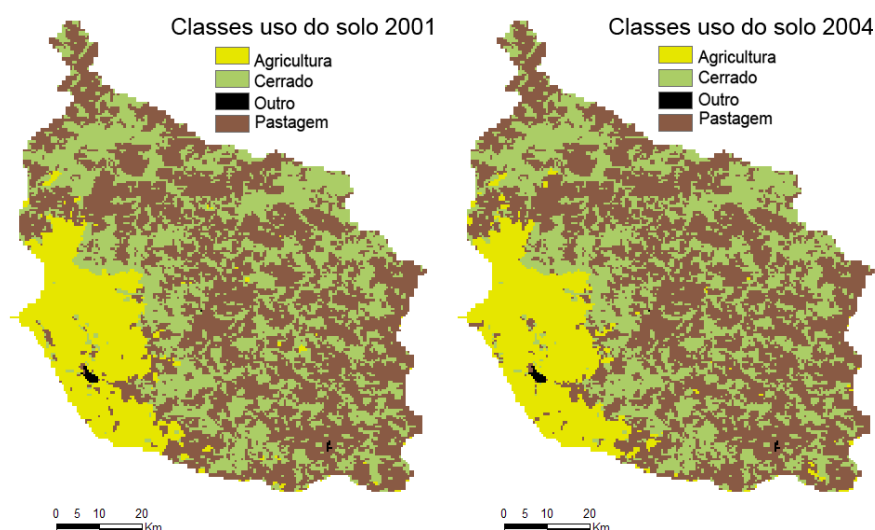


Figura 6. Classificação do uso do solo para a microbacia do rio Coxim, anos 2001 e 2004 (Valencia, 2008).

Um parâmetro importante é a definição do cenário da demanda agregada anual do uso do solo para o período de estudo de 2001 a 2011. O padrão usado é de crescimento linear e mostrado na Figura 7.

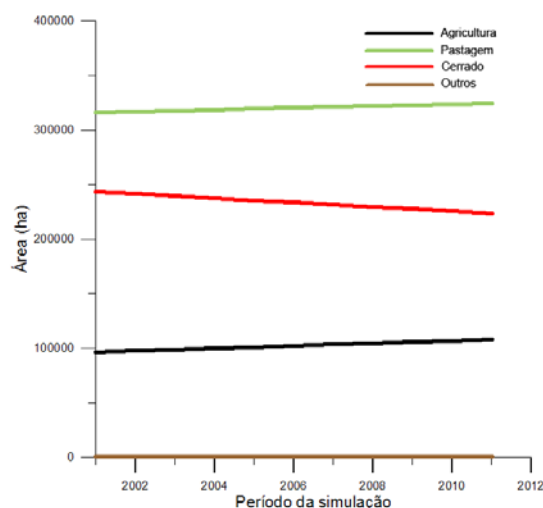


Figura 7. Cenário da demanda agregada para as classes do uso do solo para o período 2001 - 2011, microbacia do rio Coxim, Valencia (2008).

Considerou-se como área de restrição espacial a mecanização áreas com declividade superior a 12%, e podem ser visualizadas na Figura 8.

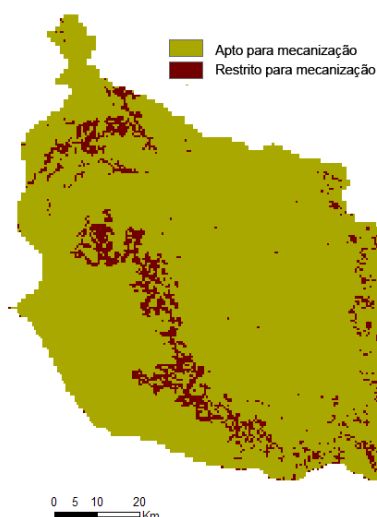


Figura 8. Restrição espacial para a mecanização da cana de açúcar, Valencia (2008).

Ressalta-se que os programas utilizados foram os SIG ArcGIS 9.3 e Terraview 3.2 e o módulo “Preenchimento celular” do Terraview. Cálculos estatísticos foram feitos no programa R versão 2.8.0 e o GEODA versão 0.9.5-i5. Para a simulação dinâmica da mudança do uso do solo foi CLUE.

3. Resultados e discussões

Os resultados das simulações usando os enfoques da regressão logística e espacial foram comparados aos dados de uso e cobertura mapeados por imagens de satélite para o ano de 2004, considerado como ano referência. Os resultados são apresentados na Tabela 3 e 4.

Tabela 3. Comparação da simulação CLUE-S usando a regressão logística para o ano de referência 2004.

		Uso do solo para o ano 2004				Total
		Agricultura	Pastagem	Cerrado	Outro	
Simulação	Agricultura	3694	312	30	0	4036
	Pastagem	278	12192	220	1	12691
Ano 2004	Cerrado	28	236	9253	0	9517
	Outro	0	1	0	39	40
Total		4000	12741	9503	40	26284

Acurácia global = 0,957 e índice de Kappa = 0,93.

Tabela 4. Comparação da simulação gerada pelo CLUE-S usando a regressão espacial com respeito ao ano de referência 2004.

		Uso do solo para o ano 2004				Total
		Agricultura	Pastagem	Cerrado	Outro	
Simulação CLUE-S Ano 2004	Agricultura	3641	321	30	0	3992
	Pastagem	331	12197	280	1	12809
	Cerrado	28	222	9193	0	9443
	Outro	0	1	0	39	40
	Total	4000	12741	9503	40	26284

Acurácia global = 0,954 e índice de Kappa = 0,92.

Diferenças na distribuição espacial das classes do uso do solo das simulações de ambos os enfoques é apresentado na Figura 9.

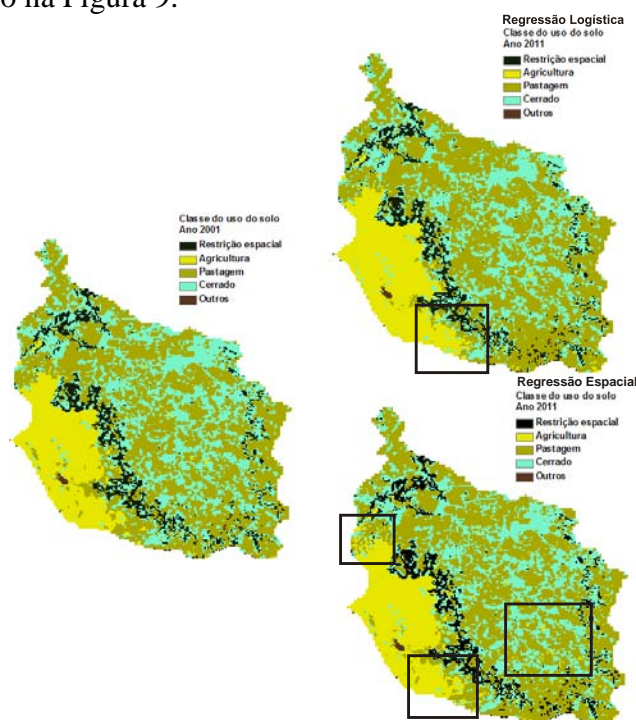


Figura 9. Comparação da distribuição espacial das simulações CLUE-S utilizando o enfoque da regressão logística e regressão espacial para o ano 2011.

Comparando-se as simulações de ambos os enfoques para o ano de 2011 em função do número de células em cada classe de uso do solo e obtivemos os resultados na Tabela 5.

Tabela 5. Número de células para as classes de uso do solo obtido da simulação CLUE-S

Classes do uso solo	Simulação CLUE-S	Simulação CLUE-S	Demanda do
	Regressão Logística	Regressão Espacial	uso do solo
	Ano 2011	2011	2011
Agricultura	4357	4297	4316
Pastagem	12943	12965	12979
Cerrado	8944	8962	8949
Outro	40	40	40

Observa-se que a dinâmica das mudanças no CLUE-S depende principalmente das probabilidades obtidas pela regressão logística (mapa de probabilidade). As células cuja classe do uso do solo atual tem baixa probabilidade são as mais suscetíveis de se converter a outra classe, ou seja, as áreas com vegetação de Cerrado sofrem pressão com o avanço da agricultura. A regressão espacial é um modelo estatístico complexo e computacionalmente intenso que pode ter sua aplicação limitada em casos onde os planos celulares são de dimensões consideráveis. O CLUE-S não integra o modelo de regressão espacial, pois é desenhado para trabalhar exclusivamente com dados binários (presença – ausência de uma classe de uso do solo).

Conclusões

O enfoque da regressão espacial obteve simulações com menor discrepância em relação a demanda do uso do solo projetado para 2011. A distribuição espacial apresentou maiores diferenças ao simular o uso do solo para o ano 2011. Os dois enfoques avaliados apresentaram simulações com ótima concordância, acurácia global e Kappa elevados, tendo como referência o ano de 2004.

Agradecimentos

O desenvolvimento deste trabalho teve ajuda financeira (modalidade bolsa de mestrado) da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ, processo número E-26/152.412/2006). Este trabalho fez parte do projeto Sustainability Impact Assessment: Tools for Environmental, Social and Economic Effects of Multifunctional Land Use in European Regions – EXTENSION (SENSOR EXTENSION TTC, <http://www.sensor-ip.org>), do projeto Enviar (<http://enviar.cnps.embrapa.br/>) e do projeto Landuse change, biofuels and rural development in the La Plata Basin, financiado pelo IDRC (International Development Research Centre) e IAI.

Referências Bibliográficas

- ARVOR, D. et al. **Detecting outliers and asserting consistency in agriculture ground truth information by using temporal vi data from MODIS**, XXIth ISPRS Congress, Pékin, China, pp. 1031-1036, 2008a.
- ARVOR, D. et al. **Comparison of multitemporal MODIS-EVI smoothing algorithms and its contribution to crop monitoring**, IEEE Geoscience & Remote Sensing Symposium, Boston, Etats-Unis, 4 p, 2008b.
- ARVOR, D. et al. **Análise dos perfis temporais de EVI/MODIS para o monitoramento da cultura da soja no Estado de Mato Grosso, Brasil**. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, Florianópolis, pp. 51-58, 2007.
- BAILEY, T.; GATTREL, A. **Spatial Data Analysis by Example**. London: Longman, 1995.
- GELFAND, A. et al. (Editors) **Handbook of Spatial Data**. Chapman & Hall/CRC, 2010.
- JONATHAN, M. **Classificação do uso e cobertura do solo em escala regional a partir de seqüências temporais de dados MODIS**. 158 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Computação). Mestrado em Geomática, Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2005.
- MARTORANO, L. et. al. **SIAT-TTC design and architecture, Sustainability Impact Assessment Tool prototype: Demonstration tool at TTC-level, for MERCOSUR. SENSOR Deliverable: 8.4.2 b**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos. Relatório FP6 (EU), 2009, 126p.
- BRIENZA, J.S. et al. **Energetic potential of Sclerobium paniculatum Vogel (taxi-branco) and its preferential top climatic condition in Eastern Amazonia, Brazil**, In: Tropentag 2009 University of Hamburg, October 6-8, 2009, Conference on International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development., 2009b. 4p.
- MEIRELLES, M.S.P. et al (Editores Técnicos) **Geomática. Modelos e Aplicações Ambientais**. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília. D. F. Brasil, 2007.
- MEIRELLES, M.S.P. et al. **Relatório do Projeto Enviar Tecnologias avançadas em processamento digital de imagens para o monitoramento automatizado do desflorestamento, degradação da terra e da expansão do sistema plantio direto através da classificação sistemática do uso e da cobertura do solo** (<http://enviar.cnps.embrapa.br/>), 2010.
- NEW, M. et al. **A high-resolution data set of surface climate over global land áreas**. Climate Research, v. 21, p. 1-25, 2002.
- SILVA, J.S.V. **Análise multivariada em zoneamento para planejamento ambiental. Estudo de caso: bacia hidrográfica do alto rio Taquari MS/MT**. 338 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas, 2003.
- VALENCIA, L.I.O. **Enfoque da estatística espacial em modelos dinâmicos de mudança do uso do solo**. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Computação). Mestrado em Geomática, Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2008.
- VERBURG, P.H. et. al. **Modeling the Spatial Dynamics of Regional Land Use: The CLUE-S Model**. Environmental Management, v. 30, n. 3, p. 391 - 405. 2002.
- VERBURG, P. **The CLUE-S model Tutorial CLUE-S (version 2.4) and DYNA-CLUE (version 2)**. Wageningen University. <<http://www.cluemodel.nl/>>. Acesso em 25/08/2008.
- VITOUSEK, P.M. et al. **Introduced species: A significant component of human-caused global change**. New Zealand Journal of Ecology, v. 21, n. 1, p. 1 - 16, 1997.