

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA GERAÇÃO DE ESTIMATIVAS ESPAÇO TEMPORAIS DE DESMATAMENTO INDUZIDO PELA IMPLANTAÇÃO DE RODOVIAS NA AMAZÔNIA: APLICAÇÃO NA RODOVIA BR 422

André Luis Fonseca Fontana
Carlos Augusto Uchôa da Silva
Departamento de Engenharia de Transportes
Universidade Federal do Ceará

RESUMO

A previsão de eventos tem se mostrado como uma ferramenta útil aos tomadores de decisão e com o passar dos anos vem aliando-se às ferramentas computacionais capazes de produzir resultados com níveis de acerto próximos à realidade. A ausência de dados históricos e espaciais tem sido o principal obstáculo para a construção de modelos que prevejam com maior perfeição a ocorrência de um determinado fenômeno. Este trabalho apresenta uma metodologia baseada em autômatos celulares para construção de um modelo que possa prever as mudanças espaço temporais no entorno de uma rodovia, usando como entrada somente atributos espaciais da área de estudo (variáveis biofísicas). O modelo proposto usa imagens *raster*, considerando a área como um *grid* de células onde cada célula possui um atributo espacial, onde as mesmas foram obtidas através da série histórica das mudanças espaciais na região de estudo. Com tal proposição, espera-se que os tomadores de decisão possam atender às solicitações da resolução CONAMA 01, que trata sobre impactos ambientais, no que tange a construção de modelos considerando cenários **com** e **sem** o empreendimento, neste caso, a implantação de uma rodovia ou pavimentação de uma rodovia existente, e que os processos de construção/recuperação de rodovias possam ser realizados atendendo as normas legais causando assim, a menor quantidade possível de impactos ambientais.

ABSTRACT

The prediction of events has proven to be a useful tool for decision makers and has been incorporating computational tools capable of producing excellent results. The absence of historical spatial data has been the main obstacle to the construction of models that predict more accurately the occurrence of a given phenomenon. This paper presents a methodology based on cellular automata capable of constructing a model that can predict spatio-temporal changes around a highway using as input only spatial attributes of the study area (biophysical data). The proposed model uses raster images obtained through a series of images from the study region. With this proposition, it is expected that decision makers are able to satisfy CONAMA 01 requirements, which deals with environmental impacts with respect to construction of models considering scenarios with and without a specific project, in this case, the construction of a new highway or paving an existing one. It is expected that the processes of construction/rehabilitation of roads can be planned considering all the legal standards, therefore minimizing possible environmental impacts.

1. INTRODUÇÃO

A abertura de diversas rodovias na Amazônia resultou numa migração e ocupação em massa em suas adjacências, fato esse observado com maior intensidade nas maiores rodovias em extensão: BR 163, BR 230 e BR 319. As áreas foram ocupadas seguindo diretrizes governamentais da época, que determinava a supressão da vegetação primária para dar lugar a áreas de produção agropecuária e as agrovilas (LAURANCE *et al*, 2001). FERREIRA *et al*, (2005) afirmam que o processo de desmatamento começa com a abertura oficial ou clandestina de estradas que permitem a expansão humana e a ocupação irregular de terras, para logo após, ocorrer a exploração predatória de madeiras nobres. Posteriormente, converte-se a floresta explorada em agricultura familiar e pastagens para a criação extensiva de gado, sendo este fator responsável por cerca de 80% das florestas desmatadas na Amazônia legal.

A construção e pavimentação de rodovias é um processo que resulta em mudanças espaciais em áreas adjacentes a rodovia. Para tanto, os tomadores de decisão se utilizam de várias ferramentas para prever os impactos causados por tais empreendimentos. Vários são os problemas encontrados durante as etapas de modelagem de eventos. Uma das dificuldades

mais comuns na modelagem espacial consiste na obtenção de variáveis que possam ser usadas como entrada em modelos para prever, no espaço e no tempo, o comportamento do objeto de estudo.

A construção ou aplicação de modelos para a previsão de impactos esbarra na pouca ou nenhuma disponibilidade de dados, ou seja, séries históricas de dados desagregados, e no elevado custo de obtenção dos mesmos. Portanto, deve-se estimular o acesso ou desenvolvimento a modelos de previsão de mudanças espaciais que produzam aceitáveis resultados e que usem variáveis de fácil obtenção.

Para tanto será necessário sintetizar as mudanças espaciais, ou seja, conversão de floresta para área desmatada e vice-versa, ao redor da BR 422, baseado na proximidade entre a rodovia e variáveis biofísicas, usando para tanto, sistemas de informações geográficas juntamente a um aplicativo computacional que possibilite a modelagem da dinâmica espacial baseado em autômatos celulares, buscando estimar a probabilidade de quais áreas sofrerão mudanças no espaço tempo.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral:

Como objetivo geral esta pesquisa propõe o desenvolvimento de uma metodologia como suporte à tomada de decisão para escolha de traçados rodoviários na Amazônia, baseando-se em trechos com menores índices de desmatamento. A obtenção de variáveis explicativas sobre as mudanças espaciais é um processo árduo e por vezes sem sucesso, haja vista a carência de dados para a região Norte do Brasil. Dessa forma, este trabalho parte do princípio que é possível modelar com índices aceitáveis de acerto o processo de mudanças espaciais ao redor das rodovias na Amazônia.

2.2 Objetivos Específicos:

- a. Determinar quais valores obtidos através da análise exploratória das manchas espaciais via arquivos *raster* (média, desvio padrão e isometria) podem melhor representar a dinâmica de mudanças espaciais e produzir menores taxas de erros na validação;
- b. Determinar qual horizonte temporal inviabiliza a modelagem. Tal fato será obtido analisando a média dos erros até um limiar onde os valores dos erros decaiam de forma exponencial.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O uso de imagens de satélite para uma análise espaço temporal do desmatamento é de grande valia, função da facilidade de observação da distribuição espacial das áreas desmatadas no espaço e no tempo. (DAMIÃO,2007). O Programa de cálculo do desflorestamento da Amazônia (PRODES) baseia-se no modelo linear de mistura espectral e na classificação não supervisionada das imagens frações gerada por este modelo. Esse sistema de monitoramento disponibiliza gratuitamente dados em formato vetoriais e estão disponíveis desagregados numa escala municipal na Amazônia a partir do ano de 2000.

Para os tomadores de decisão, a construção de um modelo que anteveja, com grau de precisão aceitável, as mudanças espaciais adjacentes a grandes empreendimentos é uma ferramenta que proporciona suporte à decisão da escolha do traçado e ou a opção da construção da via. De acordo com ALVES (1999) cerca de 70% do desflorestamento identificado na Amazônia concentra-se ao longo das rodovias pavimentadas. Por questões metodológicas a análise de um evento é mais rica quando realizada *in loco* (BRIASOULLIS, 2000). Porém tal fato é

impossível quando se leva em consideração as dificuldades espaciais e temporais impostas pela Amazônia ao pesquisador.

Observando-se as limitações próprias do processo de modelagem, percebe-se que a ferramenta autômatos celulares (AC) vem sendo aplicada com reconhecida capacidade de modelar eventos dinâmicos usando estruturas *raster*, onde uma célula (*pixel*) possui seu estado influenciado por sua vizinhança e pelas regras de transição.

Resumidamente, pode-se dizer que os AC possuem como passos básicos uma configuração inicial (mapa de entrada), uma função de mudança e uma configuração de saída. A ferramenta possui três tipos de estruturas, a saber: em uma dimensão, em duas e três dimensões. Através dessas estruturas é possível prever a mudança de uma célula de um estado i para j entre um tempo inicial t para t_1 . A transição de um AC se dá em decorrência da influência de sua vizinhança mais próxima e de regras de transição estabelecidas. SOARES FILHO *et al* (2005) definem as etapas de modelagem via DINAMICA EGO como:

- a. Seleção das variáveis comumente relacionadas ao fenômeno do desmatamento no entorno de rodovia; Obtenção dos dados referente às variáveis junto ao DETER – INPE;
- b. Uso de um SIG para transformação de imagens vetoriais em imagens *raster*;
- c. Atribuição de valores numéricos para cada informação espacial e seleção da resolução a ser usada na modelagem;
- d. Modelagem usando como ferramenta os Autômatos Celulares via DINAMICA EGO.

4. METODOLOGIA

Os dados sobre as mudanças espaciais obtidos na área de estudo compreendem o período entre o ano de 2000 e 2008, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os arquivos são originalmente disponibilizados em formato vetorial, porém, devido à necessidade dos autômatos celulares necessitarem de arquivos em formato matricial, foi necessária a conversão dos vetoriais para arquivos *raster*. Tal conversão foi realizada em um ambiente de sistema de informações geográficas (SIG), onde a área de estudo é representada por imagens matriciais de 748 colunas e 818 linhas, e cada célula possui a dimensão de 107,98 por 95,29 metros e representa 10,28 km² da área, resultando num total de 292.297 células, sendo uma imagem para cada ano da série histórica.

4.2 Modelagem

Nessa investigação será utilizado o *software* denominado DINAMICA EGO, desenvolvido pela Universidade Federal de Minas Gerais (SOARES FILHO *et al*, 2001) que é baseado na ferramenta autômatos celulares (AC). Serão usadas como arquivos de entrada matrizes *raster*, contendo informações espaciais do terreno como desmatamento, floresta, topografia, vegetação, topologia, rios, estradas onde informação recebe um valor numérico atribuído a critério do analista. Cada pixel recebe um valor numérico que caracteriza uma informação espacial, isto é, se um pixel representa uma área de floresta receberá um valor numérico real e inteiro.

As variáveis são divididas em estáticas e dinâmicas. As variáveis estáticas são definidas como atributos do terreno que não sofrem alterações no espaço tempo. Como exemplo os rios, estradas, tipo de solo, tipos de vegetação, topografia. Já as variáveis dinâmicas sofrem alterações no espaço tempo. As variáveis dinâmicas escolhidas para a modelagem são: desmatamento e áreas de vegetação.

A modelagem inicia-se com a determinação das taxas líquidas de mudanças espaciais. A influência de cada variável será estimada de acordo com o método de pesos e evidências por

BOHAN-CARTER (1994). Dessa forma serão estimadas as mudanças no uso e ocupação do solo ao redor da BR 422 analisando-se o histórico de ocorrência do fenômeno de mudanças espaciais e, a partir daí, prever onde e quando tais mudanças ocorrerão. Com os mapas de probabilidades de mudanças espaciais será possível estimar os locais mais susceptíveis às mudanças e dessa forma produzir os resultados esperados. A calibração do modelo consiste em ajustar valores de média, desvio padrão e isometria das formações de manchas. A validação lança mão da técnica de janelas múltiplas e função de decaimento exponencial.

5. RESULTADOS ESPERADOS

Os resultados esperados baseiam-se na premissa de que a dinâmica das mudanças irá manter-se da forma que está, isto é, a média, variância e isometria das manchas não sofrerão grandes mudanças e também que nenhum evento extremo causará mudanças drásticas nos padrões de mudanças espaciais. Espera-se obter mapas de mudanças para um período limiar onde os erros não inviabilizem o uso dos resultados para os objetivos propostos por este trabalho. Buscou-se índices de acerto entre 70% e 80 %, para desta forma, desenvolver uma metodologia que considere tão somente atributos espaciais para a estimativa de mudanças espaciais, facilitando assim, o processo de modelagem, levando em conta a dificuldade da obtenção de variáveis não espaciais para a região amazônica

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, concedido por meio de bolsa de estudo de mestrado, que está viabilizando a realização dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, D. (1999) *An analysis of the geographical patterns of deforestation in Brazilian Amazonia - the 1991-1996 period*. Trabalho apresentado na Conferência sobre Padrões e Processos de Uso da Terra e Mudança em Florestas na Amazônia. University of Florida, em Gainesville, Flórida EUA.
- BENEDETTI, A.C.P.;(2010) Modelagem dinâmica para simulação de mudanças na cobertura florestal das serras do sudeste e campanha meridional do Rio Grande do Sul. Tese de doutorado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em manejo florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS)
- BOHAN-CARTER, G.(1994) *Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS*. (Pergamon, New York,USA)
- BRIASSOULLIS, H.:(2000) *Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches Department of Geography University of the Aegean Lesvos, Greece*
<http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm> Acessado em 21/10/2009, às 11:00hrs
- DAMIÃO, D. P.; (2007) Uso de técnicas multivariadas para a predição de desmatamento na Amazônia : O modelo “AMAZON –PD”, Tese de doutorado, Universidade de Brasília, Brasília D.F..
- FERREIRA, L.V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. (2005) O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. Estudos avançados, volume 19 numero 53. São Paulo, Janeiro a Abril.
- LAURANCE, W.; COCHRANE, M.A.; BERGEN, S.; FEARNSIDE, P.; DELAMÔNICA, P.; BARBER, C.; D'ANGELO, S. E FERNANDES, T (2001). The Future of the Brazilian Amazon. Science, v. 291, n. 5503, p. 438 – 439, 2001.
- SOARES FILHO, B.S; ARAUJO, A DE A; CERQUEIRA G.C. (2001) DINAMICA – Um software para simulação de dinâmica de paisagens -Anais do II Workshop em Tratamento de Imagens, NPDI/DCC/UFGM, Belo Horizonte, M.G., Brasil.