



Universidade Federal de Minas Gerais

Instituto de Geociências

Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais

**MODELAGEM DOS VETORES DE MUDANÇA NA PAISAGEM NO BIOMA  
CERRADO**

Thiago Carvalho de Lima

Belo Horizonte

2014

Thiago Carvalho de Lima

MODELAGEM DOS VETORES DE MUDANÇA NA PAISAGEM NO BIOMA  
CERRADO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Britaldo Silveira Soares Filho.

Co-orientador: Prof. Dr. Ricardo Alexandrino Garcia

L732m  
2014

Lima, Thiago Carvalho de.

Modelagem dos vetores de mudança na paisagem no bioma cerrado [manuscrito] / Thiago Carvalho de Lima. – 2014.

56 f., enc. : il. color.

Orientador: Britaldo Silveira Soares Filho.

Coorientador: Ricardo Alexandrino Garcia.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2014.

Bibliografia: f. 51-55.

Inclui apêndice.

1. Modelagem de dados – Aspectos ambientais – Teses. 2. Desmatamento – Teses. I. Soares Filho, Britaldo Silveira. II. Garcia, Ricardo Alexandrino. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. IV. Título.

CDU: 911.2:519.6

Dedico este trabalho à Débora e à minha família.

*Nem tudo que nasce torto é errado  
Veja as pernas do Garrincha e as árvores do cerrado*

*(Nicolas Behr)*

## Como se fosse um Pressádio

Nicolas Behr

O cerrado é milagre  
(e também é pedaço do Planeta  
que desaparece)  
abraço meu irmão pequizeiro.  
Ando de mãos dadas  
Com minha irmã sucupira.  
Meu pai jatobá sorri.  
Mãe peroba não diz nada,  
Apenas sente.  
Minhas amigas abelhas  
são filhas das flores.

Agora prepare seu coração:  
Correntão vai passar e levar tudo:  
Ninho de passarinho rasteiro também.  
Depois do correntão  
Brotou o que tinha que brotar,  
Mas já era tarde.  
Faca fina cortou raiz pela raiz.  
Aí não brotou mais nada.  
Aliás, brotou coisa melhor:  
Soja, verdinha, verdinha  
Que beleza, diziam.

Olhe bem os cerrados  
da próxima vez.  
Rastejar por entre cupins  
E capins  
E sentir o cheiro do anoitecer.

Antes de terminar pergunto:  
Quem vai pagar a conta  
De tanta destruição?  
"tudo bem, daqui a 100 anos  
estaremos todos mortos"  
disse alguém.  
Certo, estaremos todos mortos.  
Mas nossos netos não.  
O cerrado é milagre,  
Minha gente.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha amada família, aos meus pais, irmãos, avós e ao meu pequeno amado sobrinho Rodrigo que de alguma forma, sem ao menos perceber, me descansou com seus sorrisos.

Agradeço a minha querida amiga Débora Amaral por todo apoio que sempre me deu. A ela meu eterno amor e gratidão.

Agradeço aos amigos do Centro de Sensoriamento Remoto, em especial a Carolina Guilen, Leticia Hissa, Letícia Lima, Herman, Romulo, Bruno e Willian pela imprescindível ajuda técnica e companheirismo. Certamente o trabalho ficou muito mais leve com a presença de vocês.

Agradeço aos amigos conquistados ao longo do mestrado: Lais, Rafael, Raquel, Lauro, Erika, Carol Sarno, Carol Jaramilo e em especial a Denise e Juliana, minha Preta, por todo carinho.

Agradeço a Vinícius Maia pelo carinho e companheirismo.

Agradeço ao orientador Britaldo Soares-Filho, pela grata oportunidade de aprender com sua vasta experiência em modelagem, por me guiar no processo de aprendizado e por ter investido em meu potencial como pesquisador. Agradeço também ao professor Ricardo Alexandrino pela valiosa co-orientação estatística e a contribuição de todos os membros da banca.

À CAPES, pela concessão da bolsa de pesquisa.

Agradeço a todos que de certa forma me ajudaram na conclusão deste trabalho.

## RESUMO

O Cerrado destaca-se como o segundo maior bioma brasileiro e apresenta uma complexidade biológica única e de valor inestimável, sendo identificado como um *hotspots* da biodiversidade mundial. Apesar disso, o bioma vem sendo ocupado de forma desordenada, principalmente devido a expansão agropecuária. O objetivo desse trabalho foi obter um modelo econométrico e espacialmente explícito que possibilite determinar os vetores de desmatamento e regeneração por município do bioma Cerrado, no período de 2002 a 2009. Foram realizadas simulações anuais até 2050 para verificar o comportamento do modelo quando utilizados prazos de projeções superiores àqueles já monitorados. Na primeira parte do trabalho, foi selecionado um modelo econométrico para calcular as taxas de desmatamento ou regeneração. O modelo foi calibrado no GEODA com dados do Censo Agropecuário (IBGE 1995, 2006), obtendo-se um modelo de auto-regressão espacial no termo de erro, e integrado à plataforma DINAMICA EGO, onde as quantidades de mudanças foram calculadas por município e alocadas espacialmente. Na simulação anual (2009 a 2050), o modelo refletiu uma perda de cerca de 14 milhões de hectares (taxa anual de desmatamento de 0,16%) e uma regeneração de cerca de 18 milhões de hectares (taxa de regeneração anual de 0,79%). Isto demonstra que, apesar do cerrado atualmente apresentar uma grande pressão de desmatamento devido à expansão agropecuária, o bioma apresenta uma boa capacidade de regeneração. O monitoramento contínuo, incluindo áreas de regeneração, poderá fornecer dados mais coerentes, permitindo assim um melhor ajuste do modelo para ser utilizado como ferramenta de planejamento das ações de conservação no bioma.

*Palavras-chave:* Cerrado, transição florestal, modelagem espacial, desmatamento, regeneração, DINAMICA EGO.

## ABSTRACT

The Cerrado stands out as the second largest Brazil's biome and presents a priceless and unique biological complexity, being identified as a global biodiversity hotspot (Myers et al, 2000). Nevertheless, the biome has been disorderly occupied, mainly due to agricultural expansion. Considering that there are environmental, physical and / or social variables correlated with the dynamics of Cerrado occupation, this study aimed to obtain an econometric model to determine the drivers of deforestation and regeneration by municipality of Cerrado biome from 2002 to 2009. Furthermore, simulations were performed annually until 2050 to test the behavior of the spatial model when term projections above those already monitored were used. In the first part of the study, an econometric model was selected to estimate deforestation or regeneration rates. This model was calibrated in GEODA with Agricultural Census data (IBGE 1995, 2006), obtaining an auto-regression spatial model with an error term that was integrated to DINAMICA EGO software in which the amount of changes were calculated by municipality and spatially allocated. In the simulation, totaling 41 iterations (2009 to 2050), the model presented a loss of 14,237,884.5 ha of forest (approximately 6.034% of deforestation in the period or annual deforestation rate of 0.16%) and a regeneration of 18537264.707 ha of forest (annual regeneration rate of 0.79%). The model showed a trend of decreasing in deforestation annual rates of Cerrado, which can be seen in IBAMA / MMA / UNDP reports when comparing the rates of 2007-2008 with 2008-2009, 3% and 0.37, respectively. This trend that regeneration overlaps deforestation may indicate a forest transition occurring in the biome. Continuous monitoring, in regeneration areas, may provide more consistent data allowing a better fit of the model that can be used as a tool for planning conservation actions in the biome.

Keywords: Cerrado, forest transition, spatial modeling, deforestation, regeneration, DINAMICA EGO.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	12
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
2.1 Área de Estudo .....	18
2.2 Dados Utilizados.....	19
2.3 Avaliação do Padrão Espacial do Desmatamento .....	21
2.4 Modelo Econométrico .....	21
2.5 Modelo Espacial .....	24
2.6 Validação .....	33
2.7 Simulação .....	33
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
3.1 Avaliação do Padrão Espacial do Desmatamento .....	34
3.2 Modelo Econométrico .....	35
3.3 Validação .....	39
3.4 Simulação .....	43
4 CONCLUSÃO.....	46
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	50
6. REFERÊNCIAS.....	51
Artigo Científico .....	56

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Alerta de desmatamento no Bioma Cerrado no período inter-anual (2002 – 2009 .....	16
Figura 2: Localização do Bioma Cerrado no Brasil .....	19
Figura 3: Fluxograma do modelo utilizado: representação da paisagem inicial, função de mudança composta por quantidade e alocação espacial das mudanças, e mapa de saída (paisagem simulada). Adaptado de Guilen-Lima (2012).....	25
Figura 4: Mapas inicial e final de desmatamento no bioma cerrado. Fonte: Probio; Lapig/Siad-Cerrado.....	27
Figura 5: Coeficientes de Peso Evidência para desmatamento (A) e regeneração (B) em relação a Distância a Estradas.....	30
Figura 6: Coeficientes de Peso Evidência para desmatamento em relação a Altitude (A), desmatamento em relação a Declividade (B) e regeneração em relação a Declividade (C). .....	30
Figura 7: Coeficiente de Peso Evidência para desmatamento em relação à Atração Urbana. ....	31
Figura 8: Coeficiente de Peso Evidência para desmatamento em relação a Distância a Áreas Desmatadas. ....	31
Figura 9: Coeficiente de Peso Evidência de desmatamento em relação a Distância a Áreas de Plantio de Soja. ....	31
Figura 10: Coeficientes de Peso Evidência para desmatamento (A) e regeneração (B) em relação a Distância a Hidrografia.....	32
Figura 11: Coeficiente de Peso Evidência para desmatamento em relação as Áreas Protegidas.....	32
Figura 12: Coeficiente de Peso Evidência para regeneração em relação a Distância a remanescentes de vegetação nativa. ....	32
Figura 13: Áreas de concentração do desmatamento no Bioma Cerrado, de 2002 a 2009, utilizando-se estatística Kernel.....	34
Figura 14: Probabilidades de desmatamento, segundo métodos de pesos de evidência para os determinantes espaciais fornecidos. ....	41
Figura 15: Probabilidades de desmatamento, segundo métodos de pesos de evidência. Detalhe pra as áreas protegidas com baixa probabilidade.....	41

Figura 16: Índices de acerto de alocação espacial do modelo em relação ao tamanho da janela de análise (em pixels)..	42
Figura 17: Evolução das taxas de floresta, desmatamento e regeneração para os 50 anos simulados.....	43
Figura 18: Simulação da evolução do desmatamento e regeneração no Cerrado para os anos de 2010 e 2050. Destaque para os estados de Mato Grosso, Goiás, Bahia, Tocantins, Maranhão e Piauí. ....	45
Figura 19: Simulação da evolução de floresta, desmatamento e regeneração para os anos de 2010, 2020, 2030, 2040 e 2050. Destaque para a regeneração em áreas de APP. Fonte: IBGE; ANA; Dados da Pesquisa. ....	46

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Fonte de dados disponíveis sobre monitoramento do Cerrado .....	20
Tabela 2: Modelo Econométrico obtido no <i>software</i> SPSS.....	37
Tabela 3: Comparação das áreas de vegetação nativa e desmatamento em hectares entre os mapas simulado e observado. ....	40

## 1. INTRODUÇÃO

O Cerrado ocupa uma ampla área do Brasil Central, aproximadamente 24% do território nacional, destacando-se como o segundo maior bioma brasileiro (Embrapa Cerrados, 2008). Embora a região dos cerrados tenha sofrido vários esforços de ocupação ao longo de toda a história do Brasil, o seu crescimento foi muito lento até meados do século XX. A partir da década de 1970, após a construção de Brasília, articularam-se os programas de colonização, infra-estrutura e incentivos à produção, ocasionando um intenso crescimento demográfico no Planalto Central (Diniz, 2006). Com os incentivos e desenvolvimento de novas tecnologias agrícolas, o Cerrado se transforma em uma potencial nova fronteira agrícola. Nas décadas seguintes, o Cerrado tem sua ocupação intensificada com a produção de grãos, principalmente soja e milho e, mais recentemente café, cana-de-açúcar e algodão (Klink e Machado, 2005). Sano *et al.* (2008) relatam as pastagens cultivadas como a principal forma de ocupação do solo no bioma. O êxito do agronegócio na região leva o Brasil a estar entre os países de maior produção agrícola e pecuária do mundo. Em 2010, o Cerrado já produzia 40% do rebanho bovino brasileiro, grande parte para exportação, e metade da safra de grãos nacional (Fernandes e Pessôa, 2011). Brandão *et al.* (2006) mostram que houve um aumento muito rápido, de cerca de 23% da área plantada com grãos, de 2001 a 2004, sendo que só a de soja apresentou um aumento de 66% na região Centro-Oeste. Esses autores relatam que o efeito dessa expansão acelerada nos últimos anos só não teve maiores efeitos sobre o desmatamento no bioma porque a maioria dos novos plantios ocorreu em uma “fronteira interna”, utilizando áreas já degradadas por pastagens. Apesar de todo o desenvolvimento que trouxe para a região, esse processo de “revolução verde” no Cerrado e sua transformação em um “celeiro de grãos”, vêm ocasionando uma série de impactos ambientais negativos, em especial os decorrentes do desmatamento intenso. Além da agropecuária, encontram-se outras atividades impactantes no bioma, como garimpo e mineração (Fernandes e Pessôa, 2011). A Embrapa Cerrados (2008), relata como principais impactos da atividade agropecuária na região a degradação dos recursos hídricos e do solo, bem como a perda da biodiversidade e a redução das áreas com a vegetação original. Do ponto de

vista positivo, os principais impactos apontados estão relacionados à geração de renda e emprego e ao incremento da produção agrícola (Embrapa Cerrados, 2008).

A região Centro Oeste foi o alvo central dos programas de ocupação do Cerrado nas décadas de 1960-1970. Anteriormente, já tinha ocorrido um início de ocupação incentivada pelo avanço da lavoura cafeeira na década de 1920, principalmente no estado de São Paulo, e, no governo Vargas, nas décadas de 1930-1940, com incentivos à pecuária no sul de Goiás (Klink e Machado, 2005). Atualmente, a expansão agropecuária ocorre em direção aos cerrados das regiões Nordeste e Norte. Parte substancial do Cerrado do centro e do noroeste de Mato Grosso, do oeste de Minas Gerais e da Bahia, do norte de Goiás, do Tocantins, do Maranhão e do Piauí ainda apresenta áreas de pouca densidade econômica e demográfica, que oferecem potencial para a expansão de frentes agropecuárias (Mueller & Martha Jr., 2008). Algumas dessas áreas formaram zonas efervescentes de expansão de frentes agropecuária onde a expansão esta longe de ter se concluído (Mueller & Martha Jr., 2008). Sano *et al* (2008) mostram que a cobertura natural remanescente varia muito dentro do bioma como resultado desse histórico de ocupação, sendo as áreas mais desmatadas e de maior consolidação antrópicas localizadas mais ao sul, enquanto as áreas mais ao norte encontram-se mais conservadas.

Atualmente, estima-se que a área do Cerrado convertida para o uso agropecuário seja de aproximadamente 40% do bioma (Sano *et al*, 2009). Segundo o IBAMA, o Cerrado teve uma área suprimida de 43,6% até o ano de 2002 e de 47,8% até o ano de 2008 (MMA/IBAMA/PNUD, 2010). No período de 2002-2008, a taxa anual de desmatamento foi de 0,7%, a maior dentre os seis biomas brasileiros (MMA/IBAMA/PNUD, 2011).

No bioma Cerrado predomina um relevo plano a suave ondulado. O clima pode ser classificado como Aw de Köppen (tropical chuvoso), com temperatura média anual de 18 a 23° C, apresentando estações chuvosas e secas bem definidas, e precipitações médias anuais de 1200 a 1800 mm (Sano *et al.*, 2001). A distribuição concentrada das chuvas, juntamente com os tipos de solo e presença de fogo, exerce influência direta sobre a vegetação.

Em geral os solos do Cerrado são álicos, com saturação de Al superior a 50%, e de baixa fertilidade. Predominam os latossolos, distróficos e ácidos (48,66%), mas aparecem também os neossolos quartzarênicos (antigos areia quartzosa) (14,46%), argissolos (antigos podzólicos) (13,66%), neossolos litólicos (7,49%) e outros em menores proporções (Reatto *et al*, 2008).

O Cerrado é chamado por muitos de savana brasileira, inclusive no trabalho clássico de Cole (1958). Segundo Eiten (1972) savana é um campo gramíneo com árvores ou arbustos ou arvoredos espalhados. Outros autores, no entanto, preferem considerá-lo como um termo autônomo, individualizado e *sui generis*, evitando enquadrá-lo nos subtipos de vegetações mundialmente conhecidos (Santos *et al.* 1977, in Walter *et. al*, 2008). Considerando que o Cerrado é um bioma que apresenta diferentes fitofisionomias, podemos considerar como savana o Cerrado sentido restrito (*stricto sensu*) e o Campo sujo, mas não as formações florestais como o Cerradão, ou as de campo puro como o Campo limpo (Walter *et. al*, 2008).

O Cerrado é uma das regiões de maior biodiversidade do planeta, com um grau de endemismo significativo, podendo representar 33% da diversidade biológica do Brasil (Aguiar *et al.*, 2004). As espécies endêmicas são mais sensíveis as variações ambientais e de distribuições restritas aos seus respectivos biomas, o que as tornam mais susceptíveis à extinção em face das mudanças. Acredita-se que existam cerca de 6500 espécies de angiospermas no Cerrado (Mendonça *et al.*, 1998). Myers *et al* (2000) indicam um nível de endemismo para as plantas vasculares no Cerrado de cerca de 44%. O Cerrado foi identificado como um dos mais ricos e ameaçados ecossistemas mundiais, sendo listado entre os 25 *hotspots* da biodiversidade mundial (Myers *et al*, 2000). A caracterização de *hotspot* de conservação é baseada em grau de endemismo e ameaça, sendo que o grau de ameaça é definido pela extensão de ambiente natural perdido, isto é, quando a área perdeu pelo menos 70% de sua cobertura original. Segundo estudo da Conservação Internacional, dos 1.783.200 km<sup>2</sup> originais do bioma Cerrado, restam intactos 356.630 km<sup>2</sup>, 20% do bioma original (Myers *et al*, 2000).

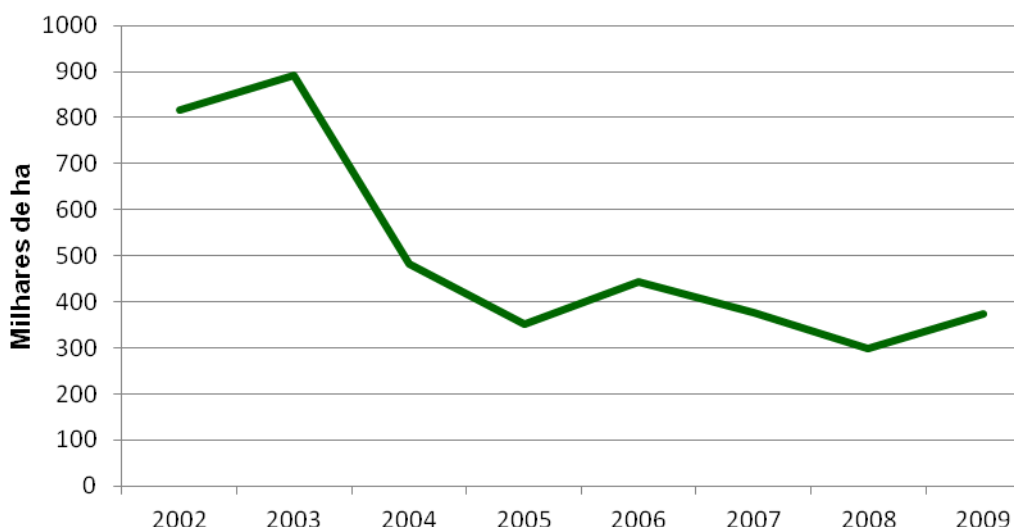
O esforço para estabelecer áreas protegidas no bioma e conservar essa biodiversidade, teve início no final da década de 60 com a criação dos Parques

Nacionais do Araguaia, em 1959, de Emas, em 1961, da Chapada dos Veadeiros, em 1961, e da Canastra em 1972 (Arruda *et al.*,2008). O bioma possui 82 unidades de conservação de proteção integral, correspondendo a apenas 2,48% da sua área. Somando todos os tipos de área protegidas, federais e estaduais, além das terras indígenas, tem-se 6,48% da área do Cerrado (Arruda *et al.*,2008). O relatório do MMA/IBAMA/PNUD (2011) cita 7,44% de sua área protegida.

Destaca-se, além da uma complexidade biológica única e de valor inestimável, o fato do Cerrado contribuir para a produção hídrica de oito das doze atuais bacias hidrográficas brasileiras, principalmente para as bacias Tocantins/Araguaia, Paraná e do São Francisco (Lima e Silva, 2008). A ocupação do Cerrado, sem levar em conta a conservação de seus recursos naturais, pode levar a uma perda irreparável para o país. A progressiva exploração desordenada do Cerrado e a ausência ou mesmo ineficácia de políticas públicas ambientais específicas para o bioma podem conduzir a uma insustentabilidade ecológica e social nas próximas décadas (Alho, 2005). No entanto, as áreas de recarga dos aquíferos estão sendo desmatadas, convertidas em áreas para pastagens e cultivos agrícolas, impermeabilizadas por conglomerados urbanos e sendo utilizadas como fontes para sistemas de irrigação, instalados sem o adequado planejamento (Lima e Silva, 2005).

O Ministério do Meio Ambiente, em 2007, lançou os resultados do Mapeamento de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros, inserido no Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade – Probio. Tal mapeamento teve a escala de 1:250.000, apresentando como resultado para 2002, a seguinte composição: a) cobertura vegetal natural – 60,5%; b) cobertura vegetal antrópica – 38,9%; e massa d'água – 0,6%.

Em 2008, a Universidade Federal do Goiás - UFG, por meio de seu Laboratório de Processamento de Imagens, LAPIG, implantou o sistema SIAD Cerrado, o qual identificou que, entre 2002 e 2007, o Cerrado havia sofrido desflorestamento na ordem de 2,46 milhões de hectares (LAPIG/IESA, 2012). Segundo Rocha, et al., 2012, há uma tendência de queda do desmatamento no bioma entre 2002 – 2009 (Figura 1), tendo o Mato Grosso como o estado que obteve uma maior influência na queda total.



**Figura 1:** Alerta de desmatamento no Bioma Cerrado no período inter-anual (2002 – 2009).

Fonte: Lapig-Siad, 2013.

Segundo os dados do Relatório MMA/IBAMA/PNUD (2011), a área dos remanescentes (vegetação nativa + massas d'água) de vegetação do Cerrado passou de 51,6%, em 2008, para 51,16% em 2009, e a cobertura vegetal original e secundária com perda de aproximadamente 0,37% no período de 2008-2009. Alguns trabalhos visando o mapeamento da cobertura vegetal e de ocupação e uso do solo vêm sendo realizados no bioma Cerrado (Mantovani & Pereira, 1998; LAPIG/IESA, 2003 a 2009 ; MMA/IBAMA/PNUD, 2011; Santos *et al*, 2004; Sano, *et al*, 2007, 2008) e em outros trabalhos de abordagem mais local (Santos *et al*, 2009; Soares-Filho, 2001; Viana *et al*, 2009). No entanto, são poucos os dados disponíveis sobre modelagem de dinâmica da paisagem do Cerrado. Destaca-se aqui o trabalho de Ferreira *et al*. (2012), que, utilizando variáveis espaciais como clima, declividade e infraestrutura, modelaram o Cerrado e obtiveram um incremento de 13,5% de áreas desflorestadas até 2050, em comparação a 2002.

A crescente ocupação humana do território e sua intensa capacidade de impactar o meio com o qual ela interage, refletem em expressivas alterações antrópicas nas paisagens. As mudanças no uso e na ocupação do solo expressam a interface sociedade e ambiente biofísico, com consequências sobre a biosfera e sobre as próprias atividades sociais e econômicas (Lambin

*et al*, 2001). As abordagens de estudo dessas relações homem-paisagem foram se modificando e, atualmente, a modelagem de dinâmica de paisagens tem recebido um crescente interesse científico (Veldkamp & Verburg, 2004; Bürgi *et al*, 2004), destacando-se os modelos que permitem a simulação de cenários (Soares-Filho *et al*, 2007). Esses últimos permitem a avaliação de tendências em vários cenários, como políticos e socioeconômicos, com potencial de fornecer subsídios mais aplicados à tomada de decisões estratégicas para a conservação ambiental (Guilen-Lima, 2012).

A modelagem de dinâmica da paisagem é uma ferramenta que se mostra cada vez mais aplicada para suprir as necessidades de monitoramento, planejamento e simulação de cenários, visando à preservação e o manejo sustentável de biomas. No Brasil, merecem destaques os trabalhos realizados no bioma Amazônia (Soares-Filho *et al*, 2004, 2005, 2008; Aguiar *et al*, 2007; Lorena e Lambin, 2009; Michalski *et al*, 2010; Silva, 2009). Em 2012, Guilen-Lima, realizou um trabalho de modelagem para a Mata Atlântica. Esse esforço deve ser estendido a outros biomas, em especial ao Cerrado, um dos biomas brasileiros mais importantes e ameaçados, em função de ser uma zona preferencial de expansão agropecuária.

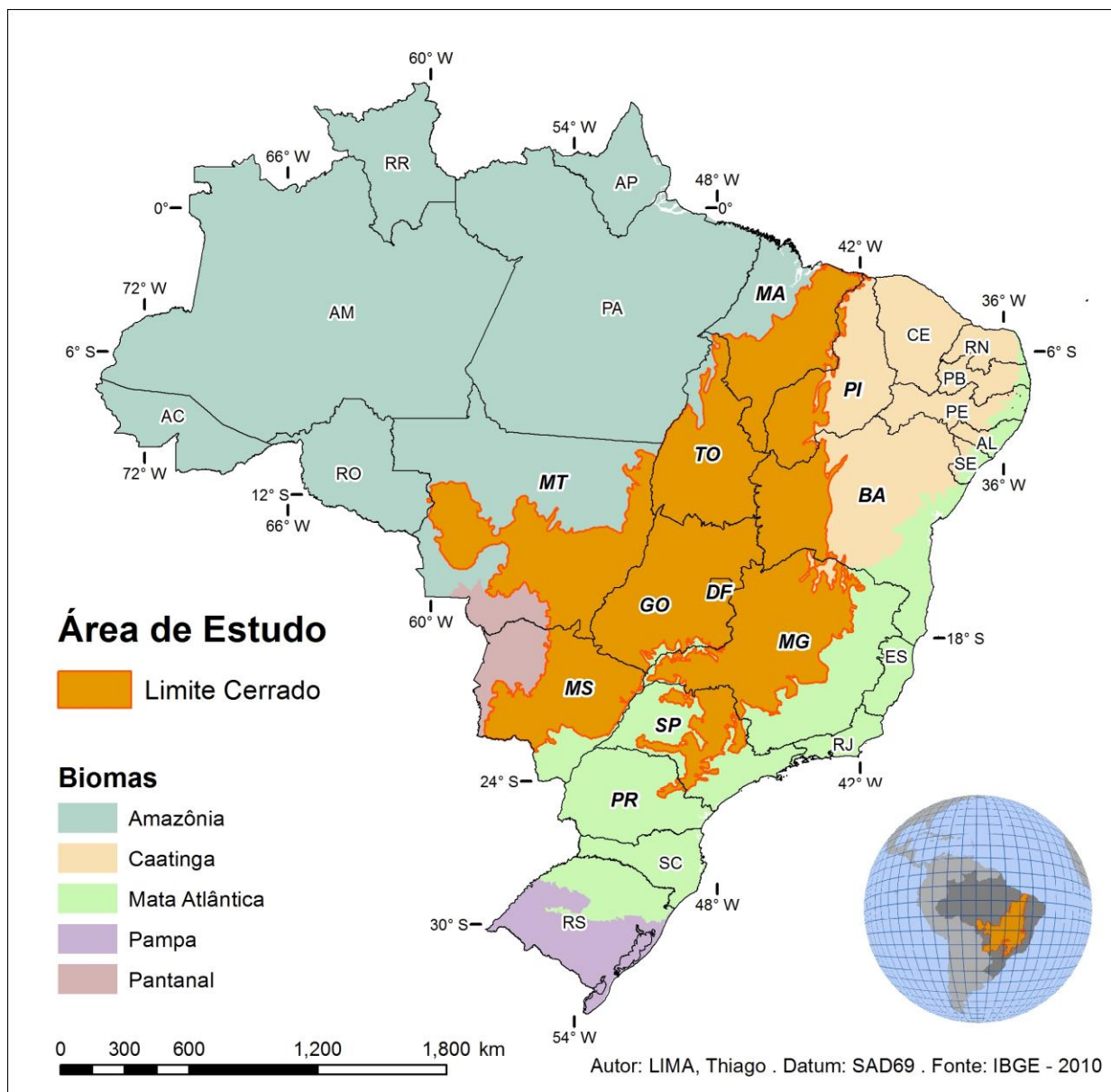
Acreditando-se que existam variáveis ambientais, físicas e/ou sociais correlacionadas com a dinâmica de ocupação do Cerrado, o objetivo desse trabalho é obter um modelo econométrico que possibilite determinar os vetores de desmatamento e regeneração por município do bioma Cerrado, no período de 2002 a 2009. Além disso, serão realizadas simulações anuais até 2050 para testar o comportamento do modelo espacial quando utilizados prazos de projeções superiores aqueles já monitorados.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

O estudo foi dividido em duas etapas. Na primeira foi criado um modelo econométrico para verificar quais são as variáveis que mais influenciam no desmatamento do Cerrado e estimar taxas de perda e ganho de cobertura vegetal nativa por município. Na segunda etapa, foi elaborado um modelo espacialmente explícito, na plataforma do *software* DINAMICA EGO, para alocar as mudanças estimadas na paisagem com o modelo econométrico em função de determinantes espaciais. Optou-se por adotar uma abordagem empírica, criando um modelo dirigido a dados (Soares-Filho *et al*, 2008).

### **2.1 Área de Estudo**

A área de estudo englobou a porção nuclear contínua (core) do Cerrado, região central do Brasil, abrangendo os estados de Goiás, Tocantins, Bahia, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Piauí, Maranhão e uma pequena porção do Paraná (Figura 2). Não foram considerados os enclaves em Roraima, Amapá e Pará. O Cerrado limita-se com quase todos os biomas brasileiros, apresentando com eles áreas de transição (ecótonos), exceto com o Bioma Pampa (Campos Sulinos), o que faz com que o funcionamento dos ecossistemas e os serviços ambientais que ocorrem no Cerrado tenham grande vinculação com outros biomas (Embrapa Cerrados, 2008).



**Figura 2:** Localização do Bioma Cerrado no Brasil. BA = Bahia; GO = Goiás; MA = Maranhão; MT = Mato Grosso; MS = Mato Grosso do Sul; MG = Minas Gerais; PR = Paraná; PI = Piauí; SP = São Paulo; e TO = Tocantins. Fonte: IBGE (2010)

## 2.2 Dados Utilizados

O Cerrado é um dos maiores biomas nacionais. No entanto, existem poucas fontes sobre o monitoramento sistemático das mudanças de paisagem ocorridas ao longo do tempo nesse bioma (Tabela 1). O Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG) do Instituto de Estudos Sócio-Ambientais (IESA) da Universidade Federal de Goiás (UFG), através do projeto SIAD - Cerrado, realizou um monitoramento anual e a

análise de padrões e tendências espaciais e temporais de desmatamentos no Cerrado, anualmente, no período de 2003 a 2009. Esse monitoramento foi feito a partir do uso de imagens MODIS (MOD13Q1), imagens índices de vegetação, com resolução temporal de 16 dias e resolução espacial de 250m (HUETE *et al.*, 2002). Para a validação dos dados foram utilizadas imagens CBERS – CCD, Landsat 5 – TM e Landsat 7 – ETM+. O programa não mapeou áreas menores que 25 hectares, o que foi chamado de informações omitidas. Outro projeto que monitora o cerrado e os demais biomas brasileiros é o Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite (PMDBBS), parceria entre o IBAMA e MMA, com o apoio financeiro do PNUD, que tem como objetivo identificar as mudanças na cobertura vegetal nativa, referentes aos períodos até 2002, de 2002 a 2008, e anualmente de 2008 a 2010. Os dois projetos apresentam limitações quanto a sua metodologia, análise temporal e resolução espacial. Para este trabalho, optou-se por utilizar os dados provenientes do SIAD – Cerrado, por apresentarem uma maior cobertura temporal com dados anuais.

Fonte	Instituição Responsável	Período	Obtenção dos dados
Censo Agropecuário	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE	1995 e 2006	Entrevistas (auto - declaração dos proprietários rurais).
Dados demográficos, econômicos e geográficos	Instituto Brasileiro de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA	1995 e 2006	Diversas
Monitoramento do Desmatamento nos Biomas Brasileiros por Satélite - PMDBBS	Acordo de Cooperação Técnica Ministério do Meio Ambiente – MMA / Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA	2002 e 2008 2008 e 2009 2009 e 2010	Mapeamento por interpretação de imagens de satélite Landsata - TM
Monitoramento Sistemático dos Desmatamentos no Bioma Cerrado - SIAD	Parceria entre o LAPIG, a Conservação Internacional (CI) e a The Nature Conservancy (TNC)	2003 a 2009	Mapeamento por interpretação de imagens de satélite MODIS

**Tabela 1:** Fonte de dados disponíveis sobre monitoramento do Cerrado

### **2.3 Avaliação do Padrão Espacial do Desmatamento**

Nos estudos de processos pontuais, temos os eventos distribuídos no espaço, o que torna possível estimar o número esperado de eventos por unidade de área, ou seja, estimar a intensidade. Estas estimativas são calculadas através de interpolações por diversos métodos. Neste trabalho utilizou-se a análise estatística de Kernel para a análise do padrão espacial do desmatamento no bioma Cerrado, uma técnica de suavização, que filtra a variabilidade dos dados observados, mantendo os padrões essenciais locais (Fotheringham & Rogerson, 1994). O estimador Kernel é um interpolador que possibilita a estimação da intensidade do evento em toda a área, mesmo nas regiões onde o processo não tenha gerado nenhuma ocorrência real. O procedimento envolveu a estimativa da função de probabilidades associada a cada ponto de um conjunto de eventos observados. Em seguida, o método usa uma janela de análise que estima a probabilidade de eventos em cada ponto da imagem, criando clusters de zonas onde a ocorrência do evento é mais provável (Fotheringham & Rogerson, 2009). A estatística Kernel foi implementada com auxílio do *software* DINAMICA EGO, com janela de 30 km de raio para melhor visualizar a concentração do desmatamento no período de validação do modelo de 2006 a 2009.

### **2.4 Modelo Econométrico**

Para obtenção do modelo econométrico, foram utilizados os dados quantitativos dos 1.204 municípios do bioma Cerrado obtidos do Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1995; 2006).

O modelo econométrico pode ser representado pela equação (i), em que a variável “Y” representa, neste estudo, a taxa de variação na quantidade de cobertura vegetal nativa (Taxa Bruta). Essa variação é influenciada por uma ou mais variáveis independentes ( $X_n$ ), usualmente representadas na forma de uma matriz. A seleção inicial das variáveis independentes explicativas para o modelo foi feita de acordo com a literatura consultada e com a disponibilidade de dados. Num modelo econométrico com dependência espacial, é incluída a influência da vizinhança sobre a função de Y (LeSage & Pace, 2009). A função

(ii) apresenta o modelo de auto-regressão espacial na variável dependente, enquanto que a conjugação das equações (i) + (iii) apresenta a função para dependência espacial no termo de erro (Guilen-Lima, 2012).

$$Y_{t+v} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (i)$$

$$Y_{t+v} = \xi W Y + \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (ii)$$

$$\varepsilon = \lambda W \varepsilon + \mu \quad (iii)$$

Onde:

$Y$  = variável dependente

$\xi$  = parâmetro de autorregressão espacial

$X$  = variáveis independentes

$\lambda$  = parâmetro de autorregressão espacial no termo de erro

$\beta$  = coeficientes de relação

$W$  = peso de acordo com a matriz de vizinhança

$\varepsilon$ ,  $\mu$  = termos de erro

Foi elaborada uma planilha no *software* Microsoft Office Excel 2007, utilizando os dados do IBGE, disponibilizados no portal SIDRA e pelo Instituto Brasileiro de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Outros dados adicionados a planilha, tais como declividade e o Índice de Atração Urbana<sup>1</sup> (urbam attract), foram calculado utilizando-se os *softwares* ArcGis e DINAMICA EGO. Para minimizar distorções de área, devido à grande extensão territorial ocupada pelo bioma, os dados de áreas foram calculados com base na projeção cartográfica Albers Cônica para América do Sul, Datum SAD 1969.

A variável dependente (Taxa Bruta =  $Y$ ) foi calculada subtraindo-se das quantidades de cobertura vegetal nativa do ano de 2006 as de 1995 (iv). Os valores negativos significam perda de cobertura vegetal nativa (desmatamento) e os valores positivos significam ganho (regeneração).

$$Tx = (F_{t+n} - F_t) \quad (iv)$$

Onde:

$Tx$  = taxa de variação no estoque de cobertura vegetal nativa (Taxa\_Bruta  $Y$ )

$F_t$  = área de floresta no tempo inicial ( $t$ )

$F_{t+n}$  = área de floresta no tempo final ( $t+n$ )

---

<sup>1</sup> Índice de Atração Urbana - índice do grau de polarização de um município. O quanto cada município recebe de migrantes.

Além da taxa bruta (Tx), foram calculados “deltas” de estoque para as demais variáveis, subtraindo os valores finais (2006) dos valores iniciais (1995). No total, foi obtido um banco de dados com 108 possíveis variáveis explicativas para a variável dependente.

Uma segunda planilha foi elaborada com os valores das variáveis ponderados pela área municipal. Deste novo banco de dados foram excluídas aquelas variáveis que apresentavam números de casos nulos acima de 40%, ou seja, mais de 40% dos municípios avaliados não apresentavam dados disponíveis para essas variáveis. A relação da taxa de variação na quantidade de cobertura vegetal nativa (variável dependente) com as demais variáveis independentes foi analisada com sucessivos testes de regressão linear no *software* SPSS Statistics 17.0, com o objetivo de selecionar um modelo que apresentasse as variáveis independentes que melhor explicassem a variável dependente. Após essa seleção inicial de variáveis, foi aplicado o procedimento tipo stepwise, na opção selecionada "Exclui casos listwise", excluindo todas as ocorrências (municípios) que apresentaram valores nulos. Foram gerados vários modelos de regressão linear, obtendo-se um valor amostral de 1192 municípios com dados coerentes para o modelo econométrico.

O modelo com as variáveis selecionadas foi então submetido a controle heteroscedástico, por meio da identificação de outliers, utilizando-se duas variáveis binárias como rótulos: municípios com resíduos acima de dois desvios padrões receberam valor “1” para a nova variável “Outlier positivo” e “0” para os demais casos; municípios com resíduos abaixo de menos dois desvios padrões receberam valor “1” para a variável “Outlier negativo”, sendo os demais valorados como “0”. Desta forma foi possível separar a influência dos outliers sobre o modelo, sem retirá-los da análise (Soares-Filho, *et al*, 2008).

O modelo selecionado *ad hoc*<sup>2</sup> foi submetido a novas regressões lineares no *software* Geoda 0.9.9.11, para análise de autoregressão espacial,

---

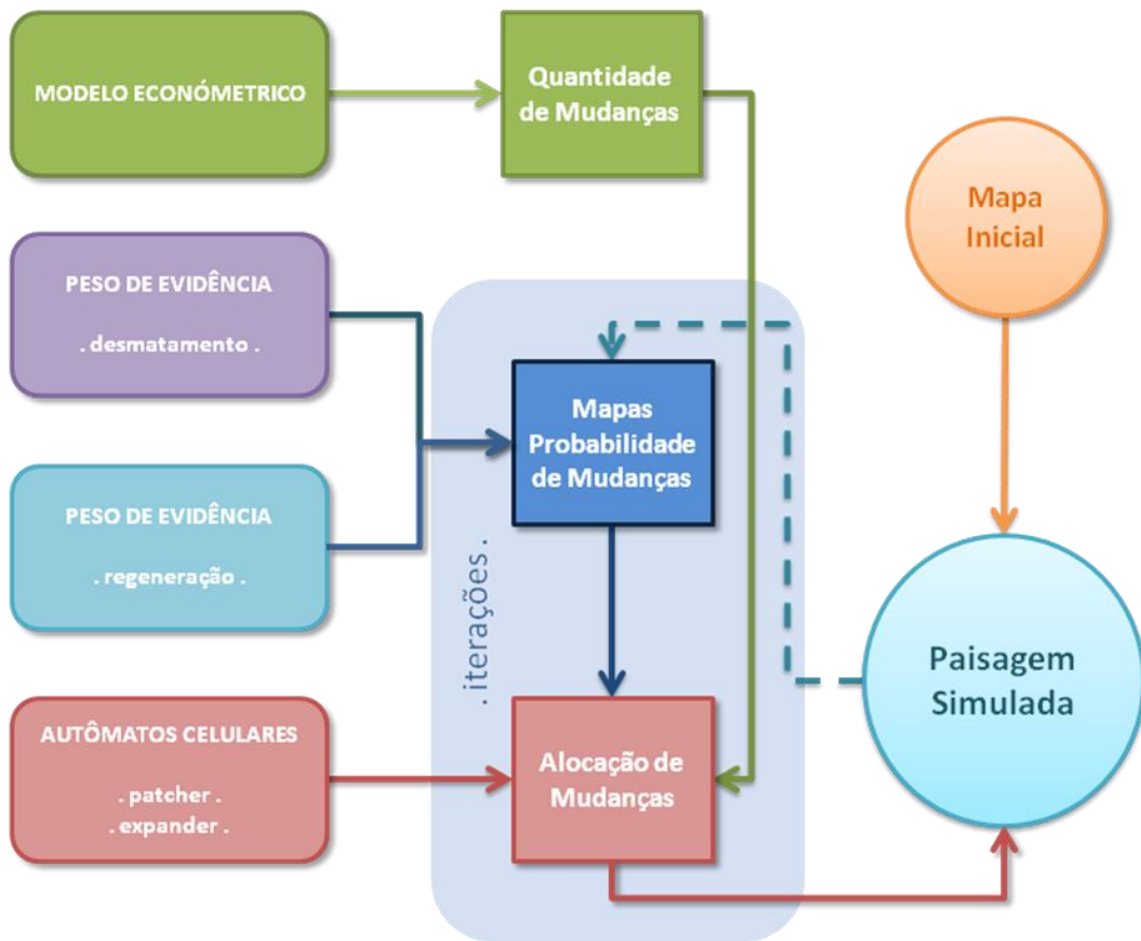
<sup>2</sup> As variáveis foram selecionadas a partir do seu grau de significância e se elas apresentavam alguma explicação quanto a variação nas taxas de estoque de vegetação nativa.

avaliando o grau de influência que a vizinhança geográfica exerce na probabilidade de um município ter um maior ou menor índice de desmatamento ou regeneração.

Após esses processamentos quantitativos, o modelo econométrico selecionado foi integrado a um modelo de simulação espacialmente explícito, utilizando-se a plataforma DINAMICA EGO, para geração do modelo espacial.

## **2.5 Modelo Espacial**

De acordo com Soares-Filho *et al* (2007), um modelo espacialmente explícito deve consistir de uma representação bidimensional da configuração inicial da paisagem, da função de mudança, composta pela quantificação e alocação das mudanças, e do mapa de saída, que representa a paisagem simulada (Figura 3). O modelo espacial foi construído utilizando plataforma DINAMICA EGO. Este *software* foi elaborado pela equipe do Centro de Sensoriamento Remoto da UFMG e está disponível gratuitamente para download no site "<http://www.csr.ufmg.br/dinamicaego/>". Ele oferece uma interface gráfica que representa o modelo em estrutura de fluxo de dados, onde operadores são articulados e parametrizados pelo usuário. Os operadores variam de álgebra de mapas a algoritmos especificamente desenvolvidos para calibração e validação de modelos, e podem ser organizados de forma a proporcionar *feedbacks* e operações aninhadas em interações (Rodrigues *et al*, 2007).



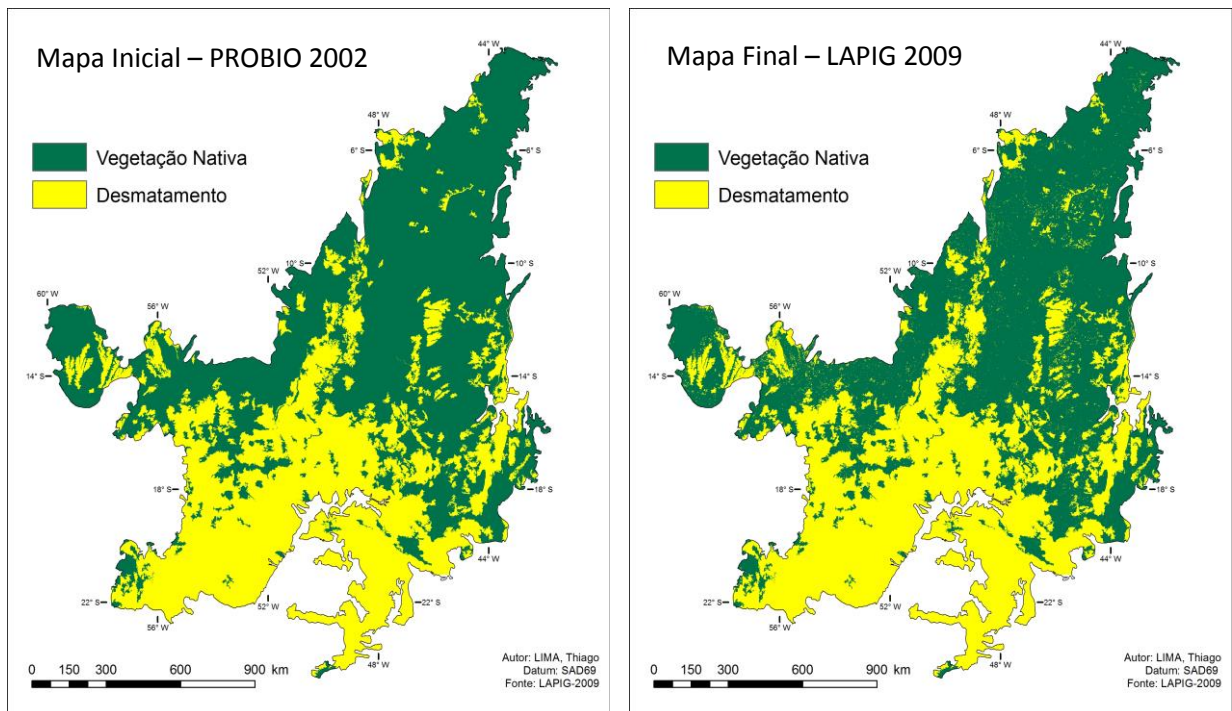
**Figura 3:** Fluxograma do modelo utilizado: representação da paisagem inicial, função de mudança (composta por quantidade e alocação espacial das mudanças) e mapa de saída (paisagem simulada). Adaptado de Guilen-Lima (2012).

Para o modelo do Cerrado proposto nesse estudo, a taxa de variação na quantidade de cobertura vegetal nativa (desmatamento e regeneração), fornecidas pelo modelo econométrico, foi acoplado ao DINAMICA EGO pelo operador “*Calc Spatial Lag*”, disponível no grupo estatístico do *software*. Este operador recebe como input as variáveis selecionadas na etapa anterior e recalcula as taxas de desmatamento e regeneração por município a partir de uma função econométrica. As taxas de valores positivos se referem ao desmatamento e taxas de valores negativos à regeneração. As taxas calculadas pelo modelo econométrico foram usadas para determinar as quantidades de mudanças, visto que se os programas de monitoramento de desmatamento no Cerrado não mapeiam áreas de regeneração, sendo esta taxa dada apenas pelo modelo econométrico. Além disso, a inserção destas

variáveis permite a manipulação de suas taxas para uma futura formulação de cenários de desmatamento e regeneração no bioma.

A segunda etapa da modelagem espacial parte da função de mudanças correspondente à alocação das transições esperadas. Com base em um mapa de probabilidades de transições, gerado pelo método de Pesos de Evidência (Bonham-Carter, 1994), o modelo seleciona as células de uma classe que serão convertidas a outra classe, utilizando para isso um mapa inicial e um final de mudanças (Figura 4), além de mapas de determinantes espaciais. Esses determinantes espaciais permitem estabelecer relações de maior ou menor probabilidade de ocorrer uma determinada mudança. Cada peso foi analisado e editado, conforme a necessidade, a fim de se obter uma melhor representação para cada determinante utilizado. Como a quantidade de mudança foi dada pelo modelo econométrico e este baseado em dados censitários, o que pode gerar uma superestimativa em relação os dados mapeados pelo LAPIG, houve a necessidade de agregar ao modelo econométrico um fator de correção para ajustar a quantidade de mudanças para as duas fontes de dados. O fator de correção dado ao modelo foi de 0.19. Este valor foi obtido comparando-se a taxa anual de desmatamento simulado à taxa observada para o mesmo período (2002 – 2009).

A alocação espacial das mudanças foi dada por dois operadores, o *Patcher* e o *Expander*, ambos disponíveis na aba “*Simulation*” do *software DINAMICA EGO*. O *Patcher* é um operador que cria novas mudanças a partir de um mecanismo de semeadura. Já o *Expander* irá expandir ou contrair novas manchas de uma determinada classe ou categoria (Soares-Filho *et al*, 2003). Ambos os operadores são parametrizáveis, permitindo ao usuário sua manipulação para obter resultados mais próximos à realidade. Em sua versão mais recente, o *software DINAMICA EGO* já possui um submodelo, o *Allocations Transitions*, que acopla ambos os operados, também localizado na aba “*Simulation*”.



**Figura 4:** Mapas inicial (PROBIO/Landsat - TM) e final (SIAD/MODIS) de desmatamento no bioma cerrado. Fonte: Probio; Lapig/Siad-Cerrado.

Para determinar a alocação das mudanças quanto ao desmatamento no cerrado foram utilizados os seguintes determinantes espaciais para a geração dos mapas de probabilidade de mudanças: (I) altimetria; (II) declividade; (III) distância de rodovias e ferrovias; (IV) distância à hidrografia; (V) distância às áreas de plantio de soja; (VI) atração urbana; (VII) áreas protegidas e (VIII) distância à desmatamentos (variável dinâmica recalculada a cada iteração do modelo). Para o mapa de probabilidade referente à alocação das mudanças de regeneração (dados não monitorados pelo SIAD) foram utilizados os pesos de evidência baseados no trabalho de Teixeira *et al* (2009), que simulou o desmatamento e regeneração de Mata Atlântica para uma paisagem localizada no interior do estado de São Paulo. Assim, os determinantes utilizados foram: (I) distância à remanescentes de vegetação nativa (variável dinâmica recalculada a cada iteração); (II) distância à estradas; (III) distância à hidrografia; (IV) declividade e (V) topografia.

A escolha dos determinantes espaciais foi pautada na relevância destes para o desmatamento e regeneração no bioma cerrado, de acordo com a literatura.

De acordo com diversos autores (Apan & Peterson, 1998, Pfaff, 1999, Chomitz & Thomas, 2003, Soares-Filho *et al*, 2004) as estradas e eixos ferroviários (aqui apresentados como um único determinante espacial) apresentam grande influência positiva em relação ao desmatamento, isto é, o desmatamento tende a ser maior a medida que ocorre um aproximação a estas variáveis. Porém, este comportamento não foi observado no cerrado (Figura 5-A). Neste bioma, estas variáveis apresentaram um comportamento oposto, o que pode ser explicado pelo fato de que no período analisado (2002-2009), grande parte da área total do Cerrado apresentar uma ocupação mais consolidada, tendo como um dos grandes fatores responsáveis pelo desmatamento a construção das BR -153 e BR-364. Desta forma, os novos desmatamentos são encontrados mais distantes das estradas, visto que nesses locais o desmatamento já ocorreu em períodos anteriores a 2002. Esse comportamento também foi observado para Mata Atlântica no trabalho de Guilen-Lima (2012). Com relação à regeneração, a variável distância das estradas apresentou um comportamento mais esperado (Figura 5-B). Regiões mais distantes das grandes vias tendem a apresentar menor pressão antrópica, o que favorece a dinâmica sucessional e a regeneração natural.

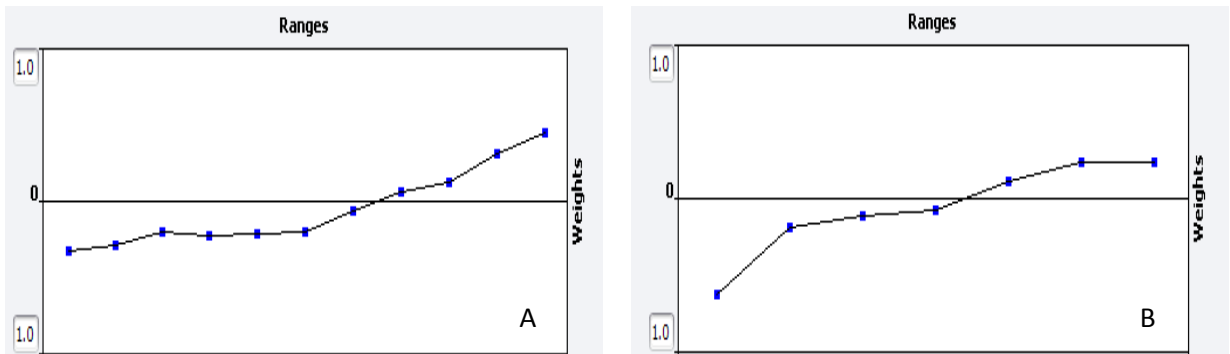
Para os coeficientes referentes à altitude (Figura 6-A) e declividade (Figura 6-B), o comportamento observado é semelhante ao esperado. Áreas mais elevadas e mais íngremes dificultam o acesso de maquinário e mão de obra, tornando mais elevados os custos referentes à limpeza e manutenção destas áreas, desfavorecendo o desmatamento e favorecendo a regeneração (Figura 6-C) (Sader & Joyce, 1988; Miranda-Aragón *et al*, 2012, Teixeira *et al*, 2009).

A proximidade às áreas já desmatadas, seja para fim de urbanização ou para atividades agropecuárias, tende a atrair novas manchas de desmatamento com a expansão da ocupação humana e das áreas de cultivo (Teixeira *et al*, 2009; Miranda-Aragón *et al*, 2012; De Sá *et al*, 2012). Verificamos isso com as variáveis Atração Urbana (Figura 7), Distância a áreas desmatadas (Figura 8) e Distância á áreas de cultivo de soja (Figura 9). Esta última variável foi utilizada pelo fato da soja ser atualmente o principal cultivo responsável pela expansão agrícola no Cerrado.

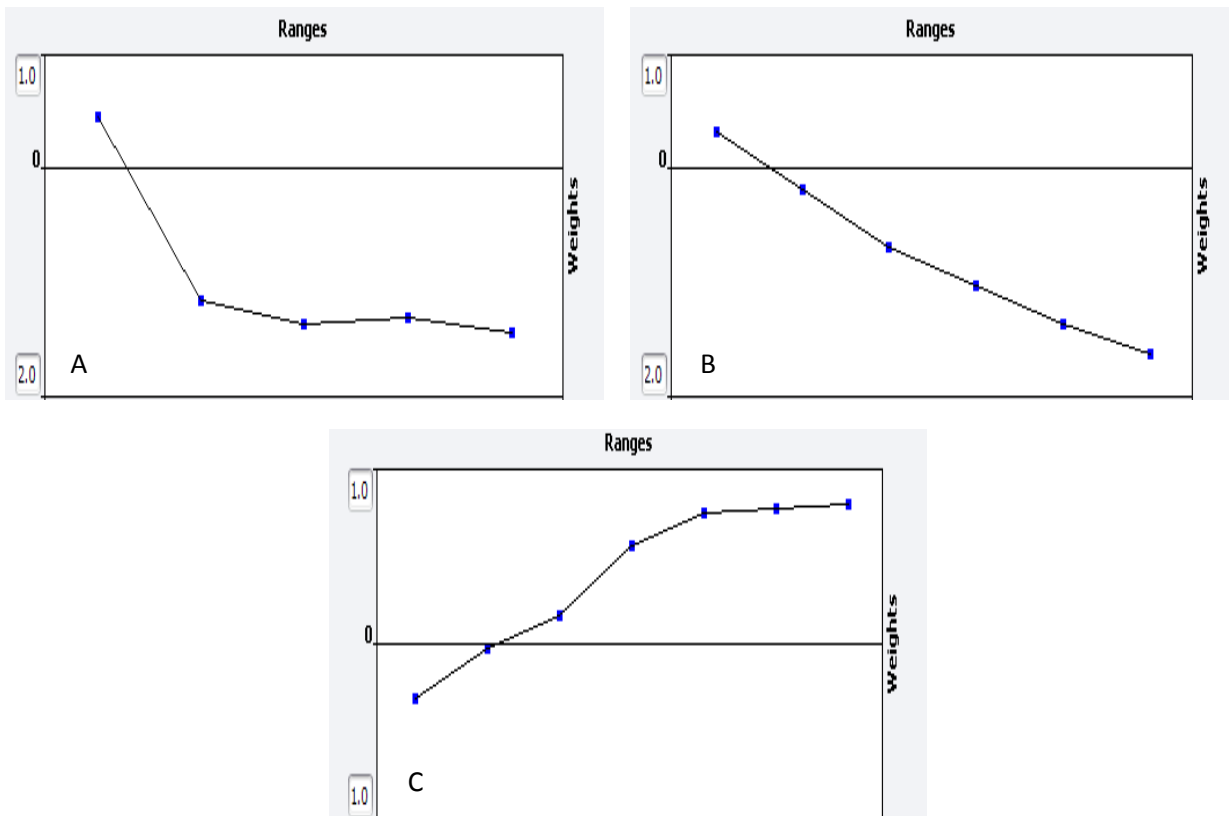
A variável Distância à Hidrografia (Figura 10), apresentou um comportamento já esperado, ou seja, o desmatamento é maior em áreas mais distantes dos cursos d'água. Isso ocorre devido à legislação ambiental proteger essas áreas, em geral de Preservação Permanente (APPs), dificultando o desmatamentos nestas regiões e favorecendo sua regeneração (Figura 10-A).

Em um estudo sobre a influência de áreas protegidas no desmatamento na Amazônia, Soares-Filho *et al*, (2010) observaram que existe um comportamento diferenciado para cada tipo de Unidade de Conservação. Para o Cerrado observamos que unidades de Proteção Integral e Reservas Indígenas repeliram o desmatamento, enquanto as de Uso sustentável apresentaram comportamento contrário (Figura 11). Observando os polígonos dessas unidades, percebemos que as UCs de Uso sustentável, como Áreas de Proteção Ambiental (APAs), abrangem uma área total muito pequena e pouco representativa nesse bioma, o que pode explicar essa relação positiva com o desmatamento. Aquelas áreas que não apresentavam UCs, chamadas áreas nodata, atraem o desmatamento.

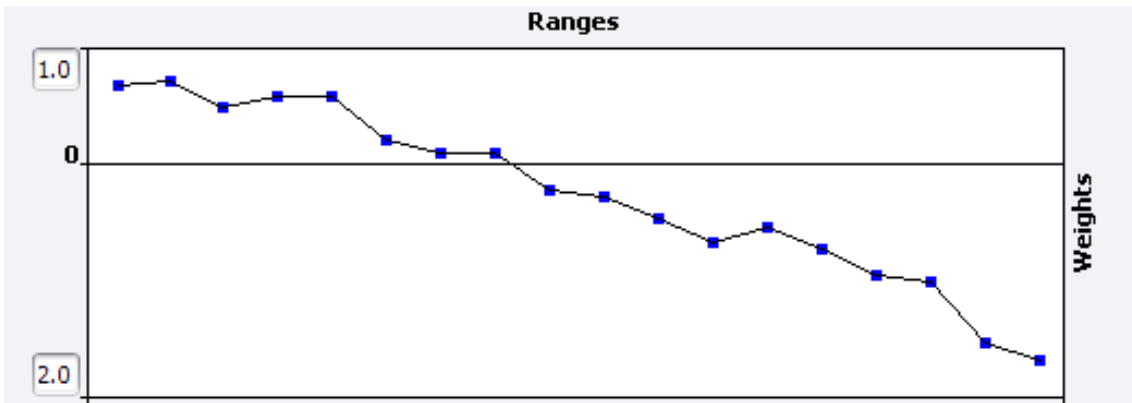
Para o coeficiente de regeneração em relação à proximidade de remanescentes de vegetação nativa, o comportamento desta variável foi o esperado, como descrito por Teixeira *et al* (2009). Áreas mais próximas à remanescentes (Figura 12) favorecem a regeneração, pois esses maciços vegetais propiciam um aporte maior de sementes e outros propágulos, além de atraírem uma maior quantidade de dispersores como pássaros, morcegos e roedores, que irão acelerar o regeneração das áreas adjacentes (Martins, 2009).



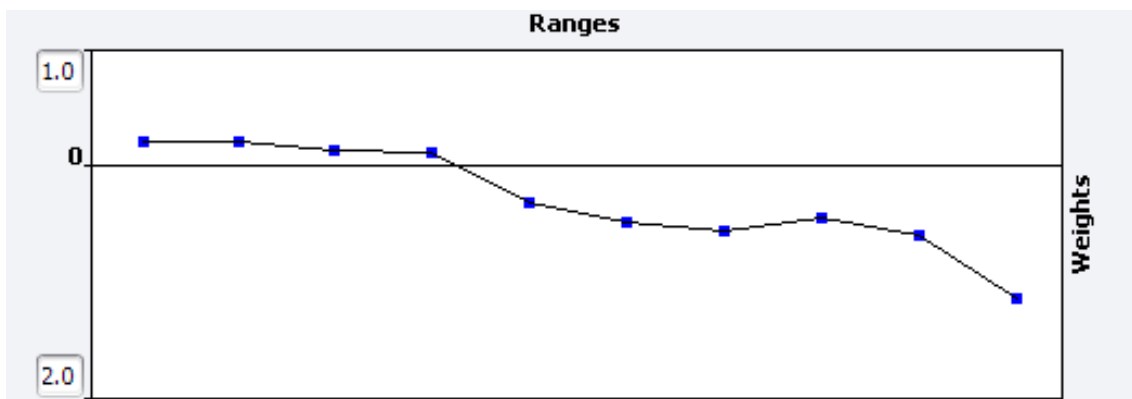
**Figura 5:** Coeficientes de Peso de Evidência para o desmatamento (A) e regeneração (B) em relação a distância das estradas.



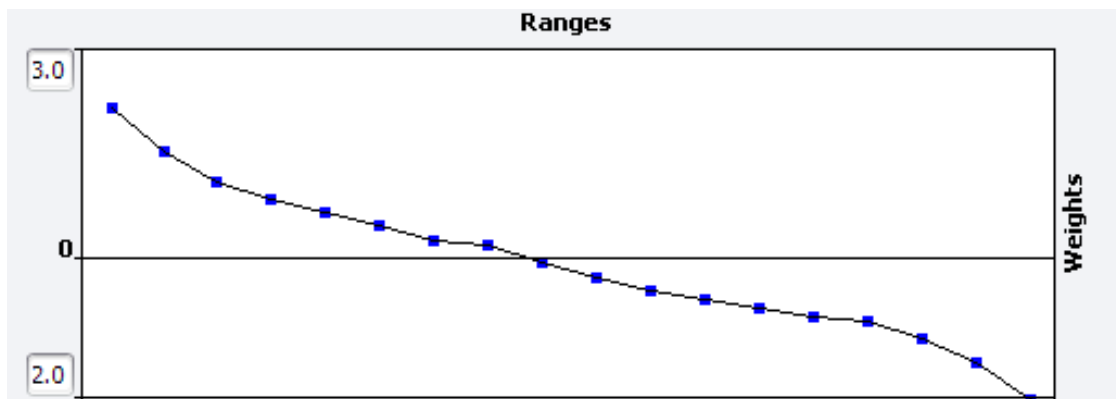
**Figura 6:** Coeficientes de Peso de Evidência para o desmatamento em relação à altitude (A) e declividade (B) e regeneração em relação à declividade (C).



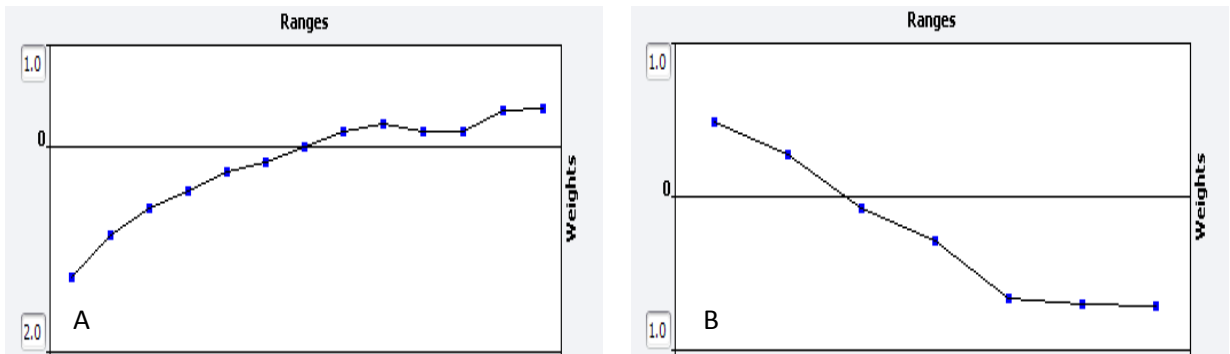
**Figura 7:** Coeficiente de Peso de Evidência para o desmatamento em relação à atração urbana.



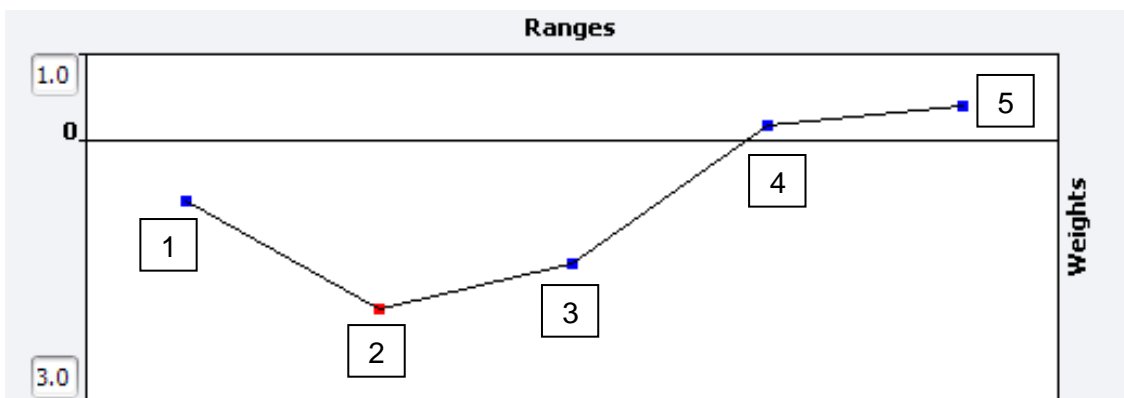
**Figura 8:** Coeficiente de Peso de Evidência para o desmatamento em relação à distância das áreas desmatadas.



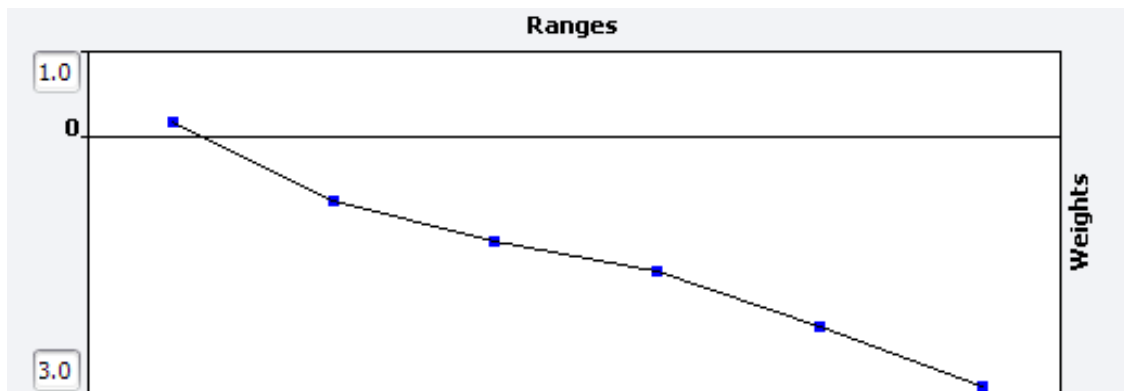
**Figura 9:** Coeficiente de Peso de Evidência de desmatamento em relação à distância das áreas de plantio de soja.



**Figura 10:** Coeficientes de Peso de Evidência para o desmatamento (A) e regeneração (B) em relação à distância da rede de drenagem.



**Figura 11:** Coeficiente de Peso de Evidência para desmatamento em relação as Áreas Protegidas. 1= Área Militar; 2= Proteção Integral; 3= Reserva Indígena; 4= Uso Sustentável; 5= nodata.



**Figura 12:** Coeficiente de Peso de Evidência para regeneração em relação à distância da vegetação remanescente.

## 2.6 Validação

Para este trabalho, foram realizados três tipos de validação: I) validação das taxas calculadas pelo modelo econométrico em relação às taxas observadas pelo IBGE para o mesmo período de tempo (1995 – 2006); II) validação visual e quantitativa das taxas simuladas pelo modelo espacial comparadas as taxas reais observadas pelo LAPIG para o ano de 2009; III) validação quanto a alocação espacial das mudanças, utilizando-se o operador “*Calculate Reciprocal Similarity Map*”, do DINAMICA EGO. Esse operador analisa a similaridade entre mapas por lógica *fuzzy* (Hagen, 2003) de forma recíproca.

Na lógica *fuzzy*, não se espera que as mudanças simuladas tenham uma precisão em nível de pixel. Desta forma, as mudanças observadas ocorrem dentro do contexto de vizinhança. Se uma transição não foi alocada exatamente no mesmo local do pixel de mudança observado, mas está em sua vizinhança, o método *fuzzy* considera que, no caso de decaimento exponencial ou linear, a alocação é parcialmente correta, e, no caso de decaimento constante, a alocação é correta (Soares-Filho *et al*, 2009). Para este trabalho optou-se em utilizar uma janela de análise de 1 a 105 pixels, com decaimento constante.

Os mapas de mudanças simuladas (2006 – 2009) foram utilizados com as taxas reais de desmatamento, de acordo com o mapeamento realizado pelo LAPIG para o mesmo período, para evitar erros de alocação espacial influenciados pelas taxas divergentes modeladas pelo modelo econométrico. A mesma validação não pôde ser realizada para os dados de regeneração, uma vez que esses dados espaciais são inexistentes para o Cerrado.

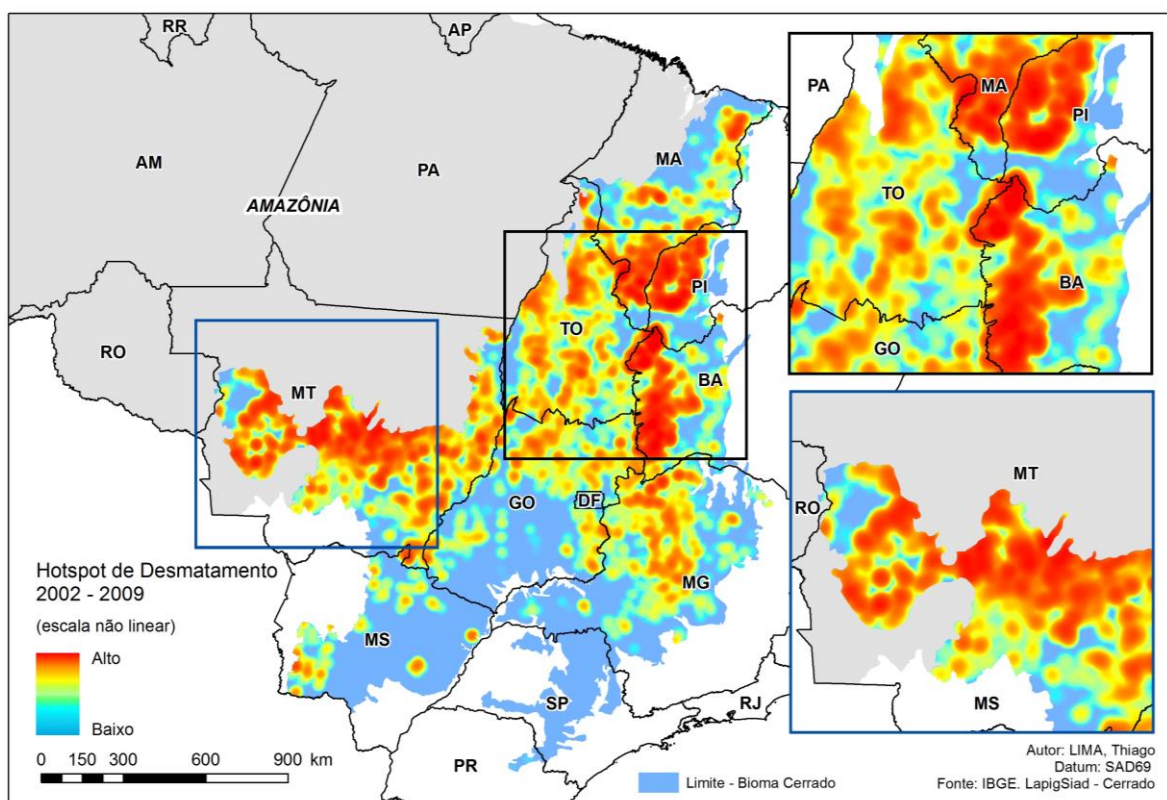
## 2.7 Simulação

A partir do modelo calibrado e validado, os processos de desmatamento e regeneração foram simulados do ano de 2009 para 2050, totalizando 41 iterações. Desta forma, pretende-se avaliar o comportamento do modelo para prazos de projeções superiores àqueles já monitorados e utilizados na calibração (2006 a 2009).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Avaliação do Padrão Espacial do Desmatamento

Nota-se, no mapa obtido (Figura 13), que as áreas que se destacam por apresentar uma maior concentração do desmatamento no período analisado são as áreas da porção central do Mato Grosso, ecótono com o bioma Amazônia, e as áreas ao sul do estado do Maranhão, sudoeste do Piauí e a oeste do estado da Bahia.



**Figura 13:** Áreas de concentração do desmatamento no Bioma Cerrado, de 2002 a 2009, utilizando-se estatística Kernel

No trabalho clássico sobre a expansão agropecuária no Cerrado, Cunha *et al.* (1994) consideraram quatro zonas de ocupação agropecuária no bioma: Zona I, Agricultura Comercial Moderna, já com uma ocupação consolidada, englobando o Triângulo Mineiro, partes do centro e do sudoeste de Goiás, o Cerrado de Mato Grosso do Sul e o sudeste de Mato Grosso; Zona II, Área de Expansão Recente e de Agricultura Dinâmica, composta do espaço que circunda o Distrito Federal – em Goiás e no oeste de Minas Gerais; Zona III,

Agricultura Periférica, mas em Expansão, que era a zona de expansão da fronteira agrícola na década de 1990, incluindo uma pequena parte do sudeste da região Norte Matogrossense, parte do nordeste de Goiás, as zonas de Cerrado de Tocantins e do oeste da Bahia; Zona IV, Agricultura Incipiente, compreendendo o centro-sul de Mato Grosso, o nordeste de Tocantins, o sul do Maranhão e o sudoeste do Piauí.

No mapa representado na Figura 13 podemos observar um menor desmatamento atual nas Zonas I, II, locais onde a expansão agropecuária ocorreu anteriormente a década de 1990, e já bem consolidada no período analisado de 2002 a 2009. A maior intensidade atual do desmatamento na região oeste da Bahia, sudoeste do Piauí e sul do Maranhão, vão de acordo com as zonas citadas por Cunha *et al.* (1994), em decorrência da intensa ocupação que ocorreu nestas regiões (Zonas III e Zona IV) nas últimas décadas.

Um estudo realizado na área do ecótono do bioma Amazônia com o Cerrado, limite norte do estado do Mato Grosso, adjacente a área de cerrado, mostra que décadas de fluxo de imigrantes para essa região levaram a um grande impacto no seu meio ambiente natural, produzindo uma paisagem modificada, na qual se destaca uma miríade de manchas agrícolas e de pastagens, de 100 a 50 ha, dispostas ao redor de grandes propriedades agropecuárias e em meio aos últimos remanescentes florestais dessa fronteira (Soares-Filho, 2001). Nessa última década, esta área de ocupação pode ter sido ampliada em direção ao Cerrado, em uma forma de vazamento do desmatamento na Amazônia em direção a esta região de ecótono. Essa região é considerada por Mueller e Martha Júnior (2008) como uma zona de agricultura dinâmica de ocupação e abertura mais recentes (1999-2005).

### **3.2 Modelo Econométrico**

Foram gerados vários modelos utilizando-se combinações de diferentes variáveis independentes explicativas. Dentre eles foram selecionados dois modelos por apresentarem melhor ajuste, ou seja, maior coeficiente de correlação ( $R^2$ ). O modelo 1 apresentou seis variáveis explicativas para a variável dependente taxa de variação da cobertura vegetal nativa: Lavoura

Temporária, Mata Nativa, Efetivo Bovino, Altitude, IDH (Índice de desenvolvimento humano) e Atração Urbana. Esse modelo obteve um ajuste de  $R^2 = 0,608$ , no *software* SPSS. Com a verificação do modelo quanto a sua autoregressão espacial no *software* Geoda, obteve-se um melhoramento do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,608 para 0,622. O modelo 2 apresentou cinco variáveis explicativas: Lavoura Temporária, Mata Nativa, Efetivo Bovino, Altitude e Atração Urbana. Esse modelo obteve um ajuste de  $R^2 = 0,609$ , no *software* SPSS. Com a verificação do modelo no *software* Geoda, obteve-se um melhoramento do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,608 para 0,629.

Na Tabela 2 encontram-se especificadas as variáveis independentes selecionadas para os dois modelos econométricos, com os seus respectivos coeficientes e graus de significância.

O valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) indica quanto da variabilidade dos dados de taxa de variação na quantidade de cobertura vegetal nativa podem ser explicados pela variação das variáveis independentes consideradas. Dessa forma, para os dois modelos selecionados, aproximadamente 62% dessa variação é explicada pela variação das variáveis explicativas usadas para cada modelo. As variáveis independentes que apresentam coeficientes negativos se correlacionam positivamente com o desmatamento, ou seja, o aumento de uma delas leva a um aumento no desmatamento. As variáveis independentes que apresentam coeficientes positivos se correlacionam negativamente com o desmatamento, ou seja, o aumento de uma delas leva a uma diminuição no desmatamento.

Variável	Coeficiente	Probabilidade de Significância
Modelo 1 – Teste		
Constantes	0.090712693	0.000
Lavoura Temporária	<b>-0.090317203</b>	<b>0.000</b>
Mata Nativa	<b>-0.597501373</b>	<b>0.000</b>
Efetivo Bovino	<b>-0.009888359</b>	<b>0.082</b>
Altitude	<b>2.66336E-05</b>	<b>0.000</b>
<u>IDH</u>	<u><b>0.047664729</b></u>	<u><b>0.069</b></u>
Atração Urbana	<b>-2.38278E-09</b>	<b>0.000</b>
Out N	0.200953544	0.000
Out P	-0.193100424	0.000
<b>R<sup>2</sup> = 0,608</b>		
Modelo Final - Regressão linear com controle heteroscedástico		
Constantes	0.136212382	0.000
Lavoura Temporária	<b>-0.090758453</b>	<b>0.000</b>
Mata Nativa	<b>-0.653461943</b>	<b>0.000</b>
Efetivo Bovino	<b>-0.01727479</b>	<b>0.006</b>
Altitude	<b>3.13857E-05</b>	<b>0.001</b>
Atração Urbana	<b>-2.5961E-09</b>	<b>0.000</b>
<b>R<sup>2</sup> = 0,383</b>		
Modelo Final - Regressão linear com variáveis de <i>outliers</i>		
Constantes	0.114368777	0.000
Lavoura Temporária	<b>-0.08114414</b>	<b>0.000</b>
Mata Nativa	<b>-0.603871017</b>	<b>0.000</b>
Efetivo Bovino	<b>-0.006072578</b>	<b>0.231</b>
Altitude	<b>3.08378E-05</b>	<b>0.000</b>
Atração Urbana	<b>-2.23467E-09</b>	<b>0.000</b>
Out N	0.198747832	0.000
Out P	-0.178983079	0.000
<b>R<sup>2</sup> = 0,609</b>		

Tabela 2: Modelo Econométrico obtido através do *software* SPSS.

Fica fácil perceber a relação entre Lavoura Temporária e desmatamento. As grandes lavouras que ocorrem no Cerrado são de culturas temporárias, como a soja, milho, algodão e cana-de-açúcar, e espera-se que nos locais onde elas são mais comuns seja maior a taxa de desmatamento. O mesmo é esperado com relação ao Efetivo Bovino, mostrando a pecuária como uma das frentes de desmatamento no Cerrado. A Atração urbana é outra variável que aumenta o desmatamento, ou seja, a proximidade de grandes centros urbanos cria facilidades de escoamento e uma ocupação desordenada que levam a maior pressão para supressão de remanescentes florestais para expansão urbana e econômica. Com relação à Mata Nativa, o desmatamento só pode ocorrer em locais onde ainda existem remanescentes florestais, ressaltando-se que os dados para esta variável referem-se à quantidade total de cobertura vegetal nativa por município, não especificando que porcentagem engloba APP (Área de Preservação Permanente) ou Reserva Legal.

A altitude permite uma maior proteção dos remanescentes florestais, visto que os locais de maior altitude são de difícil acesso, dificultando a mecanização agrícola e a ocupação antrópica, o que explica sua relação negativa com o desmatamento.

O comportamento da variável IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) merece uma análise mais crítica. O IDH é um indicador mais abrangente de desenvolvimento de uma região, calculado pelo PNUD. Até 2009, o IDH era calculado utilizando três índices, o índice de educação (que usa como indicadores a taxa de alfabetização e a taxa de escolaridade) a expectativa de vida ao nascer e a renda (PIB per capita) (Mueller e Martha Júnior, 2008). Foram usados os IDHs municipais, calculados apenas para os anos do censo demográfico, sendo os últimos dados os do censo do ano 2000. Deve-se tomar muito cuidado na seleção das variáveis de um modelo econométrico para não se selecionar como explicativa uma variável que na verdade se comporta mais como consequência do que causa. É o que parece acontecer no Modelo 1. Mueller e Martha Júnior (2008) citam que a expansão agropecuária no Cerrado parece ser um fator importante que acarreta um aumento expressivo no IDH dos municípios do bioma (IDH-M), visto que o crescimento econômico possibilita, além do aumento do PIB, uma melhoria nas ações de promoção da

educação e saúde. No Brasil, vários trabalhos mostram o desmatamento como fator de aumento de renda, diminuição da pobreza e aumento no nível de bem-estar (Sarris, 2001; Prates e Bacha, 2010; Arraes *et al*, 2012). Rodrigues *et al* (2009) observaram uma relação IDH-desmatamento mais complexa para a Amazônia. Esses descrevem um ciclo de “boom-colapso”, como já descrito no trabalho clássico de Schneider *et al* (2000), ou seja, inicialmente, nos municípios próximos a fronteira agrícola, onde o desmatamento é mais intenso, o IDH aumenta. No entanto, com a consolidação da ocupação, quando a maior parte da área município já foi desmatada, ocorre uma queda do IDH.

As regiões do Cerrado que já apresentam uma ocupação consolidada, onde o desmatamento já ocorreu anteriormente, apresentam um maior IDH, por isso a observação de um coeficiente positivo para essa variável no modelo 1. Algo semelhante foi observado nas áreas de Cerrado do estado de Goiás, em que as regiões com maior área remanescente corresponderam aos municípios com menores IDH-M (Cabacinha *et al*, 2006). Desta forma, por entendermos o IDH mais como consequência do que causa do desmatamento, optamos por trabalhar apenas com o modelo 2, onde esse índice não é usado como variável explicativa.

### **3.3 Validação**

Observamos um resultado muito próximo quando comparamos as taxas de variação no estoque de cobertura vegetal nativa ( $T_x$  =Taxa Bruta) obtidas pelo modelo econométrico e geradas pelo DINAMICA EGO, de 0,29%, com as taxas obtidas com os dados do Censo Agropecuário (IBGE, 1995 – 2006), de 0,21%. Nos dois casos as taxas médias apresentam valores positivos, indicando que a regeneração é maior que o desmatamento. Dados oficiais mostram uma tendência de queda nas taxas se desmatamento no Cerrado. No período de 2002-2008, a taxa anual de desmatamento foi de 0,7%, passando a 0,37% entre 2008-2009 e para 0,3% entre 2009-2010 (MMA/IBAMA/PNUD, 2011).

Com o modelo já calibrado, as áreas de floresta e desmatamento do mapa simulado (2009) foram comparadas com o mapa observado (LAPIG – 2009). Como a taxa anual de mudança neste modelo foi dada pela matriz de

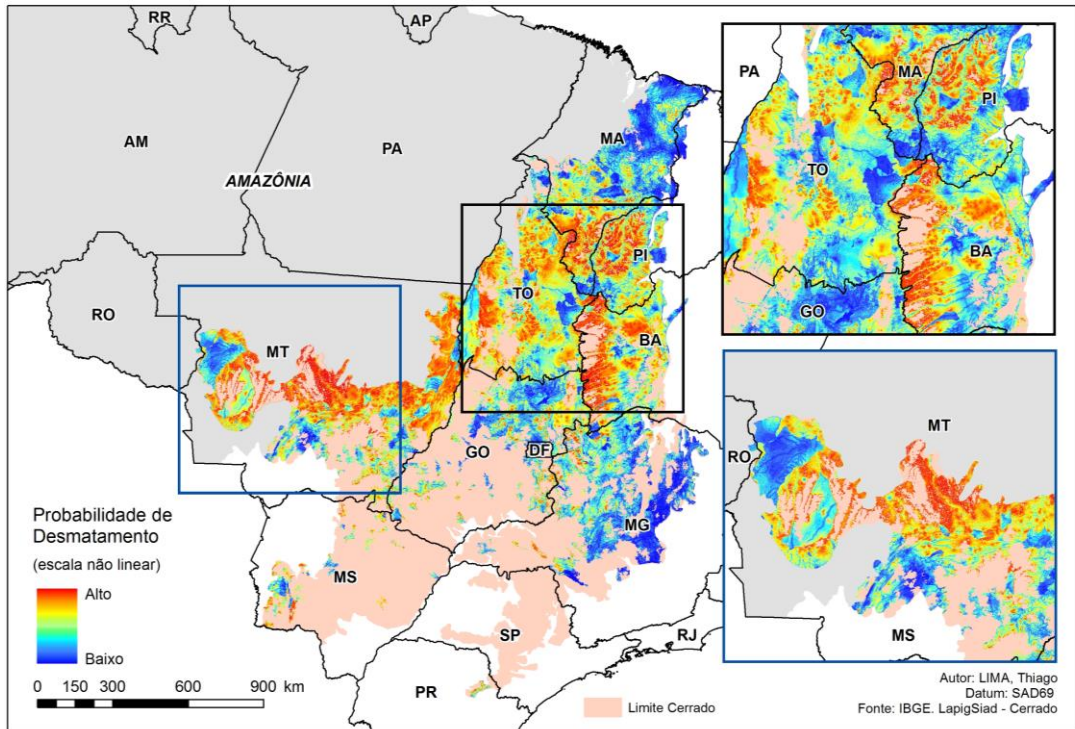
transição calculada entre os mapas observados do ano de 2006 a 2009, era de se esperar que as áreas simuladas fossem realmente muito próximas a áreas observadas (Tabela 3).

	<b>Mapa Observado</b>	<b>Mapa Simulado</b>
Vegetação nativa	120.738.650,8 há	120.738.700,8 há
Desmatamento	92.906.855,86 ha	92.900.781.34 há

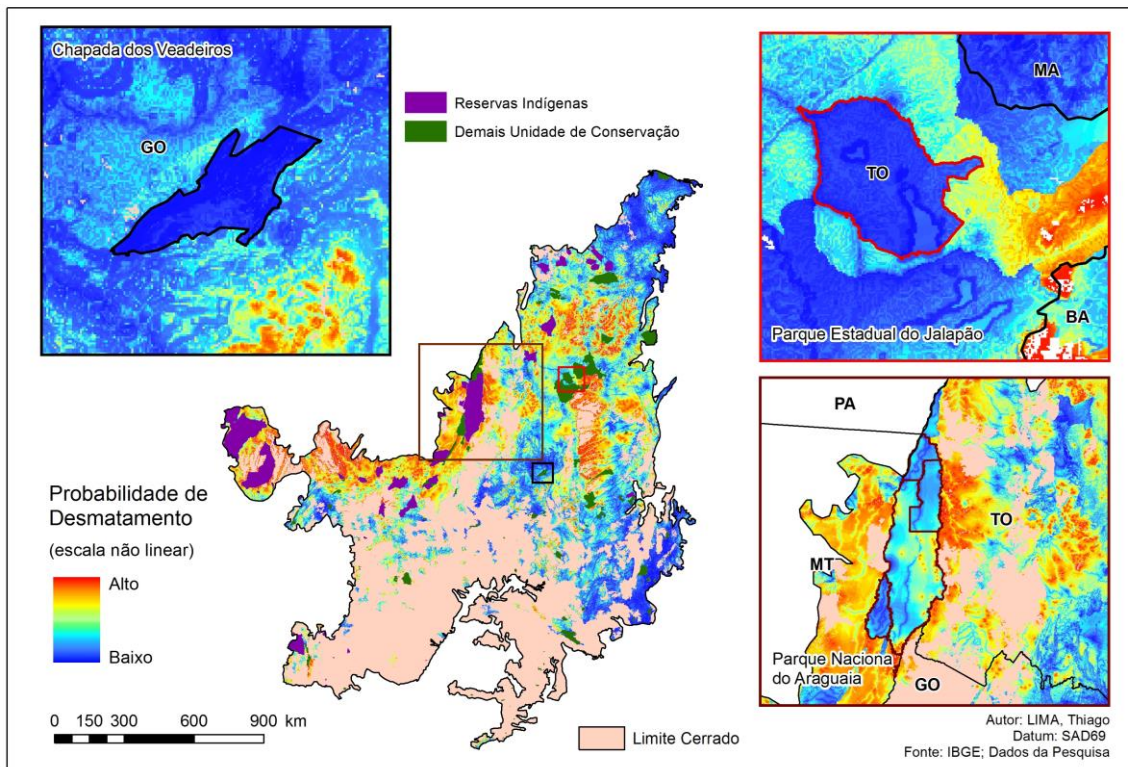
**Tabela 3:** Comparação das áreas de vegetação nativa e desmatamento (em hectares) entre os mapas simulado e observado.

O mapa de probabilidade de mudanças (Figura 14) apresentou um comportamento já esperado. As áreas apontadas pelo mapa Kernel como áreas de maior *hotspot* de desmatamento, foram as que apresentaram uma maior probabilidade de mudanças. Uma dessas áreas se encontra no limite norte do estado do Mato Grosso, região de possível vazamento do desmatamento da Amazônia para a área de ecótono com o Cerrado. Outras regiões de grande probabilidade de mudanças se localizam ao sul do Maranhão, sudoeste do Piauí, oeste da Bahia e leste do Tocantins. Estas regiões, como já discutido anteriormente, são regiões de avanço atuais da fronteira agrícola no Cerrado.

Unidades de Conservação protegidas pela legislação ambiental, como os Parques Estadual do Jalapão e Parque Nacional (PARNA) do Araguaia, no estado do Tocantins, PARNA Chapada dos Veadeiros, divisa com os estados de Minas Gerais e Bahia, entre outros, apresentaram, como já se esperava, uma menor probabilidade de desmatamento (Figura 15). O mesmo foi observado para a área de Reservas Indígenas localizadas no estado do Mato Grosso, ecótono com floresta Amazônia. No entanto, nem sempre observou-se uma menor probabilidade de desmatamento nas áreas do entorno dessas unidades.

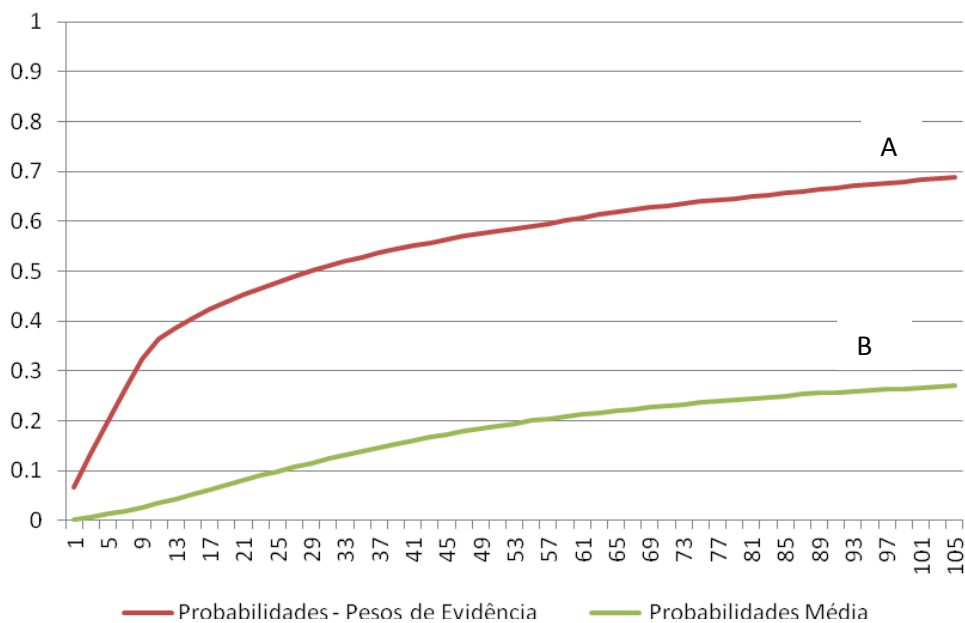


**Figura 14:** Probabilidades de desmatamento, segundo o método de pesos de evidência para os determinantes espaciais fornecidos.



**Figura 15:** Probabilidades de desmatamento, segundo o método de pesos de evidência. Detalhe para as áreas protegidas com baixa probabilidade.

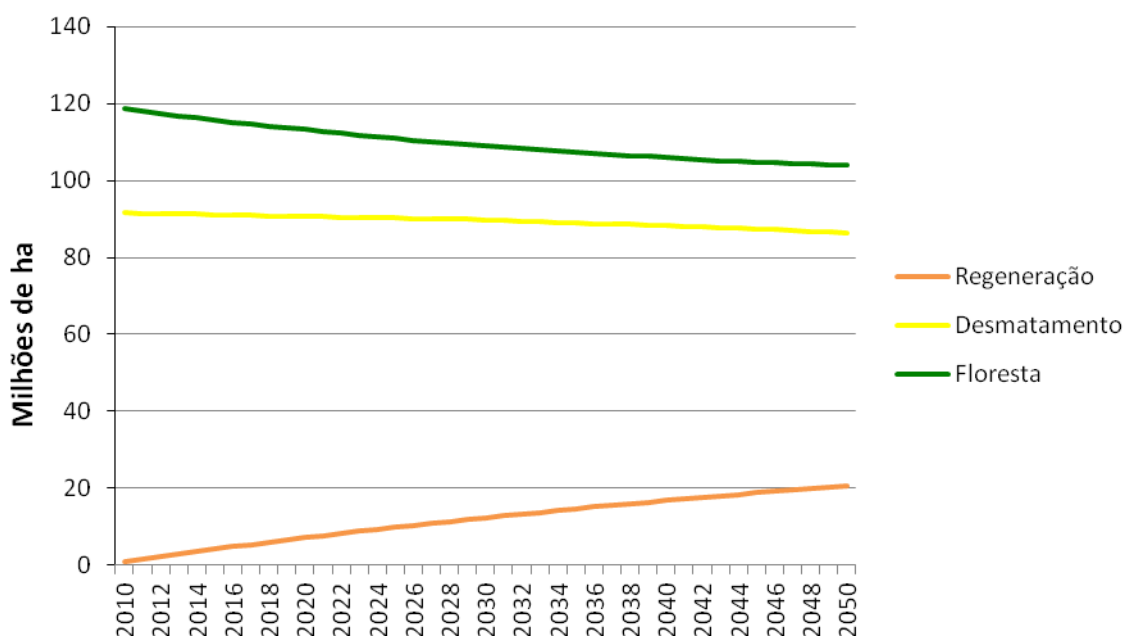
Na validação pelo método de similaridade recíproca, o mapa simulado, usando o mapa de probabilidades gerado pelos determinantes espaciais, foi comparado a um mapa simulado, usando desta vez uma probabilidade média para todo o Cerrado, com a finalidade de verificar o nível de acerto das alocações dos pixels semeados a partir dos determinantes espaciais e aqueles semeados de forma aleatória. O modelo simulado com a probabilidade ditada pelos pesos de evidência numa resolução de 15 km lineares atingiu um nível de acerto de 50% em uma janela de 30 pixels, enquanto o modelo simulado com as probabilidades médias, nas mesmas condições, teve um acerto de 12,5% (Figura 16). Esta comparação mostra uma boa capacidade do modelo em prever pixels de desmatamentos, considerando uma área tão extensa como o Cerrado e a relevância de se utilizar determinantes espaciais para a alocação dessas mudanças.



**Figura 16:** Índices de acerto de alocação espacial do modelo em relação ao tamanho da janela de análise (em pixels). Similaridade com mapa ditado por pesos de evidência (A) e similaridade com mapa de probabilidades médias (B).

### 3.4 Simulação

No período simulado, totalizando 41 iterações (2009 – 2050), o modelo apresentou uma perda de 14.237.884,5 ha (aproximadamente 6,034% de desmatamento no período ou taxa de desmatamento anual de 0,16%) e uma regeneração de 18 milhões ha (taxa de regeneração anual de 0,79%) (Figura 17). A taxa média de desmatamento encontrada pelo modelo foi bem próxima a obtida por Ferreira *et al.* (2012) em um modelo de simulação de áreas desmatadas no Cerrado de 2010 a 2050, com incremento de 6,79%, ou seja, uma taxa anual média de desmatamento de aproximadamente 0,17%.



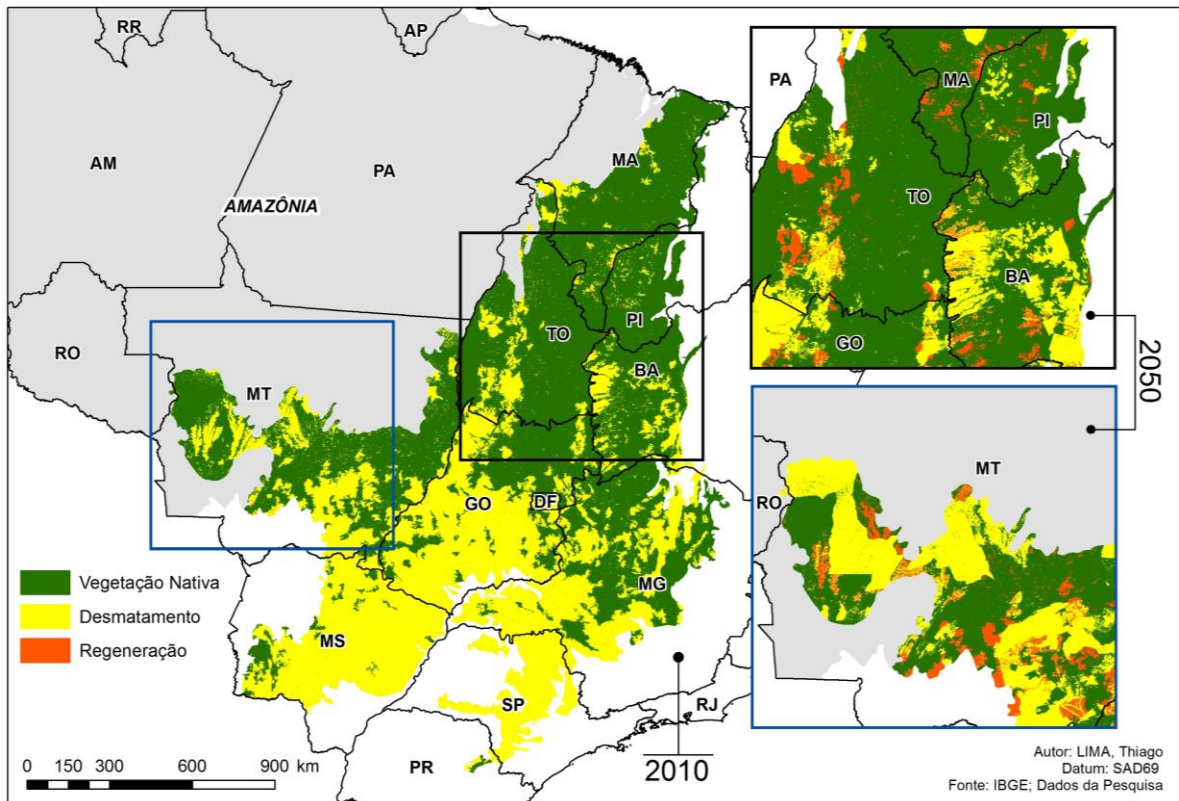
**Figura 17:** Evolução das taxas de floresta, desmatamento e regeneração para os 50 anos simulados.

O desmatamento tende a se concentrar naquelas áreas de maior probabilidade, tais como a região central de Mato Grosso (ecótono com a Amazônia), região ao sul de Maranhão, sudoeste de Piauí, oeste da Bahia e leste de Tocantins (áreas de expansão agrícola) e ao redor de manchas já existentes. Isto indica que, se a tendência de desmatamento continuar ao longo dos anos, estas regiões citadas terão grande parte de suas florestas

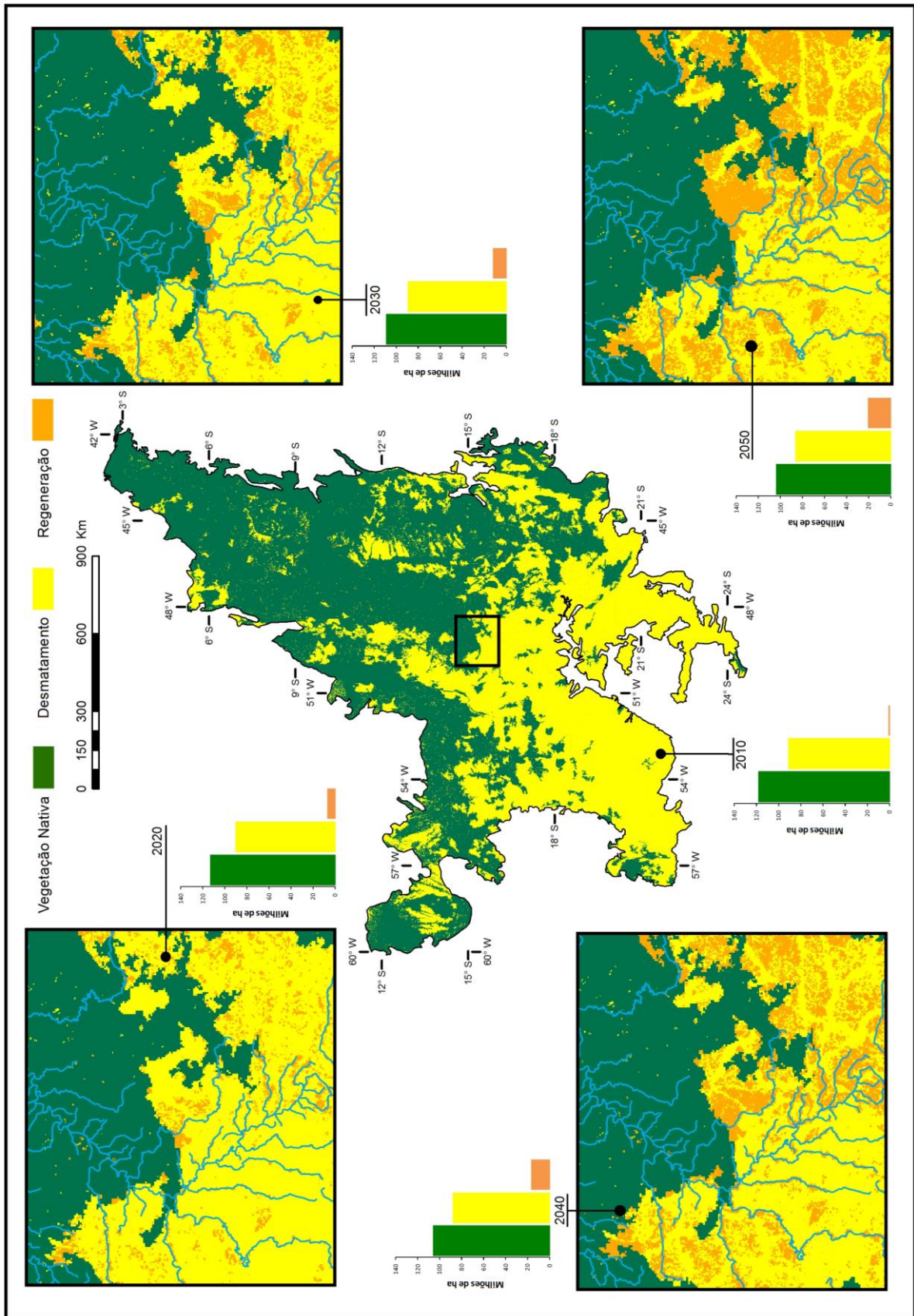
convertidas em áreas de pastagem e ou lavoura. Pixels não agregados também aparecem ao longo de todo o Cerrado (Figura 18).

Com relação à regeneração o modelo apresentou um ganho significativo destas taxas. Lembrando que os dados de regeneração no Cerrado não são monitorados e que, por isso, foram utilizados os pesos de evidência de um trabalho realizado no bioma Mata Atlântica, realizado por Teixeira *et al.* (2009). As maiores áreas regeneradas se concentraram ao redor de cursos d'água (Figura 19), em áreas de maior altitude e declividade mais acentuadas, ou seja, a maioria delas se enquadra como Áreas de Preservação Permanente (APPs). Essa tendência de que a regeneração se sobreponha ao desmatamento pode indicar uma transição florestal ocorrendo no bioma. Lembrando que os dados de regeneração no Cerrado não são monitorados e que, por isso, foram utilizados os pesos de evidência de um trabalho realizado no bioma Mata Atlântica, realizado por Teixeira *et al.* (2009).

Vale ressaltar que tanto as taxas de desmatamento quanto de regeneração foram calculadas por município no período de 2002 a 2009. Cada município irá apenas desmatar ou regenerar. A alta concentração de mudanças em alguns municípios se deve a uma limitação do modelo em não conseguir extrapolar o excedente para os municípios vizinhos, concentrando assim toda a taxa calculada em apenas um município, podendo ele ter suas áreas totalmente convertidas em desmatamento ou regeneração, o que pode causar certo viés na alocação destas mudanças.



**Figura 18:** Simulação da evolução do desmatamento e regeneração no Cerrado para os anos de 2010 e 2050. Destaque para os estados de Mato Grosso, Goiás, Bahia, Tocantins, Maranhão e Piauí.



**Figura 19** Simulação da evolução de floresta, desmatamento e regeneração para os anos de 2010, 2020, 2030, 2040 e 2050. Destaque para a regeneração em áreas de APP. Fonte: IBGE; ANA; Dados da Pesquisa.

## 4 CONCLUSÃO

O modelo reflete uma tendência na queda das taxas anuais de desmatamento no Cerrado, o que já pode ser percebido nos relatórios do IBAMA/MMA/PNUD quando compararmos os as taxas do modelo no ano de 2008-2009 com as taxas do IBAMA para o mesmo período, de 0,37 para 3%. Nas simulações, as regiões já identificadas como novas áreas de expansão da fronteira agrícola e áreas de ecótonos com a Amazônia, apresentaram uma grande concentração de novos focos de desmatamento, principalmente no entorno de áreas já desmatadas. As regiões com maiores probabilidades de desmatamento devem ser encaradas com mais cuidado, exigindo, prioritariamente, a implementação de novas políticas públicas para controlar a expansão destas fronteiras em áreas de vegetação nativa. As zonas mais atuais de expansão agropecuária, principalmente nos estados do Maranhão, Bahia e Piauí, ainda apresentam uma boa cobertura vegetal nativa. Desta forma, um zoneamento ambiental que utilize dados de modelagem pode ajudar a selecionar áreas prioritárias para conservação nessas regiões.

Enquanto a taxa anual média de desmatamento gerada pelo modelo foi de 0,16%, a taxa de regeneração foi de 0,79% ao ano. Isso pode indicar uma boa capacidade de recuperação do Cerrado frente à pressão antrópica da expansão agropecuária exercida sobre ele, embora esse dado deva ser analisado com cuidado devido a não existência do monitoramento de áreas de regeneração. Essas áreas, porém, foram localizadas principalmente em matas ciliares e locais com maiores altitude e declividade, ou seja, Áreas de Preservação Permanente (APPs).

Simulações utilizando o modelo gerado podem avaliar de que forma as modificações no Código Florestal Brasileiro (CFB) podem impactar a cobertura vegetal nativa no Cerrado, utilizando dados referentes às mudanças nas APPs e Reserva Legal.

O uso do modelo permitirá um maior embasamento das futuras propostas de alteração desse importante instrumento legal para conservação dos biomas brasileiros. Esse papel do CFB para preservação do Cerrado, bioma onde a maior parte da cobertura vegetal remanescente encontra-se em propriedades

privadas, pode ser evidenciada no trabalho de Feltran-Barbieri e Kassai (2008). Esses autores constataram que fazendas que representam o típico perfil do agrobusiness brasileiro no Cerrado não cumprem o CFB, estando a Reserva Legal ausente em 96% das propriedades analisadas, podendo gerar um Passivo Ambiental, extrapolado para todo o bioma, de aproximadamente 16 bilhões de reais. Segundo a SAE (Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República), o cerrado tem hoje certa de  $40 \pm 2$  Mha de ativos florestais que podem ser desmatados legalmente. Diante disso se faz necessário a criação de um plano estratégico para guiar a expansão da agropecuária em todo o bioma, desenvolvendo assim um planejamento territorial que oriente a expansão sócio e ambientalmente responsável de diferentes cultivos e a criação de programas que incentivem o uso de terras subsidiadas pela pecuária.

Iniciativas como o da Mesa Redonda da Soja Responsável que busca criar padrões de certificação internacional onde se inclui a proibição de cultivos em áreas recém-desmatadas e em áreas prioritárias para a conservação, são exemplos que podem frear os novos focos de desmatamento, uma vez que cultivos não certificados não terão a mesma aceitabilidade no mercado.

O modelo aponta regiões mais susceptíveis ao desmatamento também em áreas do entorno de algumas Unidades de conservação, como no caso do Parque Nacional do Araguaia, no Tocantins. Resultados como esses permitem identificar áreas prioritárias para a conservação, além de evidenciar a fragilidade das áreas de amortecimento dessas unidades. O aumento da fiscalização nessas regiões pode evitar o avanço do desmatamento para dentro destas áreas e reforçar a importância do aumento da área total de Unidades de Conservação, atualmente tão escassas, na preservação ambiental do bioma.

A obtenção de modelos econométricos e espaciais permite entender melhor as causas das mudanças no padrão desmatamento-regeneração dentro do bioma, quantificá-las e alocá-las no espaço e no tempo. Sendo assim, o melhor entendimento, não só da espacialidade das mudanças, mas também das causas socioeconômicas que mais as influenciam no Cerrado, possibilitará uma maior eficiência na alocação de recursos e mão de obra especializada na

contenção ou potencialização das áreas de maior probabilidade de desmatamento ou regeneração, respectivamente, auxiliando na implantação de políticas públicas para mitigação de impactos ambientais negativos e tomadas de decisões para a preservação deste bioma tão ameaçado.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Cerrado, por abranger uma área muito extensa, apresenta uma grande heterogeneidade socioambiental, com processos de uso e ocupação bem diferentes. Entender melhor a dinâmica destes processos e como eles se distribuem no bioma permitirá a elaboração de um modelo mais específico que possa abranger toda a diversidade dos padrões encontrados no bioma. Outra solução pode ser a formulação de submodelos para as zonas de expansão diferenciadas da agropecuária no Cerrado, o que, possivelmente, possibilitará um melhor ajuste com uso de diferentes variáveis explicativas para cada caso.

Este trabalho propôs uma metodologia inicial, baseada em trabalhos já consolidados em outros biomas, como a Amazônia (Soares-Filho et al, 2007) e a Mata Atlântica (Guilen-Lima, 2012). O modelo foi capaz de simular, de forma coerente para todo o bioma, as tendências de desmatamento e regeneração, mesmo apresentando algumas limitações: I) diferenças entre os dados do Censo Agropecuário e os dados fornecidos pelo SIAD – CERRADO; II) taxas de desmatamento e regeneração condicionadas às áreas municipais; III) ausência de monitoramento espacial para regeneração; IV) viés dos dados do Censo Agropecuário, por serem baseados apenas em entrevistas.

Melhorias futuras no modelo devem incluir: um algoritmo que converta as regenerações em florestas, nas áreas de transição “desmatamento – regeneração”, depois de um tempo de permanência dessas como áreas de regeneração; construção de submodelos que melhor se ajustem a grande diversidade regional do Cerrado; inserção de um modelo de fogo, sabendo que esta variável é de grande relevância na dinâmica do bioma; construção de algoritmos que extrapolem o excedente das taxas de desmatamento e regeneração, hoje condicionadas aos limites municípios, para os municípios limítrofes; e a obtenção de pesos de evidência para regeneração específicos para o Cerrado.

O monitoramento contínuo e a inserção de áreas de regeneração poderão fornecer dados mais coerentes com a realidade do bioma e permitir assim um melhor ajuste do modelo.

## 6. REFERÊNCIAS

AGUIAR, A.P.D., CÂMARA, G., ESCADA, M.I.S. **Spatial statistical analysis of land-use determinants in the Brazilian Amazonia: Exploring intra-regional heterogeneity.** Ecological Modelling, v. 209 n. 2-4, p.169-188, Dez. 2007.

AGUIAR, L.M.S. et. al. **A Diversidade Biológica do Cerrado.** In: Cerrado: Ecologia e Características. Embrapa Informações Tecnológicas, Brasília, DF, p. 17-38. 2004.

APAN, A.A. & PETERSON, J.A. **Probing tropical deforestation.** Applied Geography, v.18, n. 2, p. 137-152, Abr. 1998.

ARRAES, R. A. et al. **Causas do desmatamento no Brasil e seu ordenamento no contexto mundial.** RESR, Piracicaba-SP, Vol. 50, nº1, p. 119-140, Jane/Mar 2012. Disponível: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-20032012000100007](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032012000100007)>. Acesso em: 24 de fev. 2013.

ARRUDA, M.B; PROENÇA, C.E.B; RODRIGUES, S.C; CAMPOS, R.N.;MARTINS, R.C.; MARTINS, E.S. **Ecorregiões, unidade de conservação e representatividade ecológica do bioma cerrado.** IN: Cerrado: ecologia e flora. p. 231-272 , Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

BONHAM-CARTER, G. **Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS.** New York: Pergamon, 1994. 398 p.

BRANDÃO, A.S.P.; REZENDE, G.C.; MARQUES, R.W.C. **Crescimento Agrícola no Período 1999/2004: a exploração da soja e da pecuária bovina e seu impacto sobre o meio ambiente.** Ecologia Aplicada, v. 58, n. 2 (129-137), 2006.

BÜRGI, M., HERSPERGER, A.M., SCHNEEBERGER, N. **Driving forces of landscape change – current and new directions.** Landscape Ecology, v. 19, n. 8, p. 857-868, Dez. 2004.

CABACINHA, C.D; FERREIRA, F.G; et. al. **Avaliação da Relação entre o IDHe as Áreas de Cerrado Remanescentes nos Municípios do Estado de Goiás.** In: Congresso de Pesquisa, Ensino e Extensão da UFG – CONPEEX, 2., 2006.

CHOMIZ, K.M. & THOMAS, T.S. **Determinants of Land Use in Amazonia: a fine-scale spatial analysis.** American Journal of Agricultural Economic. v. 85, n. 4, p.1016-1028, Nov. 2003.

COLE, M.M. **A savana brasileira.** Boletim carioca de Geografia. Rio de Janeiro, v.11, p.5-52,1958.

CUNHA, AÉRCIO, CHARLES C. MUELLER, ELISEU R.A. ALVES e JOSÉ EURÍPEDES DA SILVA, 1994. **Uma Avaliação da Sustentabilidade da Agricultura nos Cerrados.** Brasília, IPEA.

DE SÁ, S.A., PALMER, C., DI FALCO, S. **Dynamics of indirect land-use change: empirical evidence from Brazil.** Centre for Climate Change Economics and Policy Working. Paper nº 86. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment. Working Paper nº 74. 28p. Mar 2012.

DINIZ, B. P. C. **O Grande Cerrado do Brasil Central: geopolítica e economia.** Disponível em: <[http://portais.ufg.br/uploads/160/original\\_TESE\\_BERNARDO\\_PALHARES\\_CAMPOLINA\\_DINI\\_Z.pdf](http://portais.ufg.br/uploads/160/original_TESE_BERNARDO_PALHARES_CAMPOLINA_DINI_Z.pdf)> Acesso em : 11 de março de 2013.

EITEN , G. **The cerrado vegetation of Brazil.** The Botanical Review, Bronx, v.38, p.201-341, 1972.

EMBRAPA CERRADOS . **IV Plano Diretor da Embrapa Cerrados 2008 - 2011 - 2023** / Embrapa Cerrados - Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. 42 p.

FELTRAN-BARBIERI, R.; KASSAI, J.R. **Passivo Ambiental das Reservas Legais Inexistentes no Cerrado**. IX Simpósio Nacional do Cerrado. Brasília, DF. EMBRAPA Cerrado, 2008.

FERNADES, P. A. & PESSÔA, V. L. S. N. **O Cerrado e suas Atividades Impactantes: uma leitura sobre o garimpo, a mineração e a agricultura mecanizada**. Observarium: Revista Eletrônica de Geografia, v.3, n.7, p. 19-37, out. 2011.

FOTHERINGHAM, S. & ROGERSON, P. **Spatial analysis and GIS**. Londres: Taylor & Francis. 1994. 281 p.

FOTHERINGHAM, S. & ROGERSON P.A. **The SAGE Handbook of Spatial Analysis**. London: SAGE Publications. 2009. 511 p.

GUILLEN-LIMA. **Modelagem de Transição Florestal na Mata Atlântica**. Dissertação de Mestrado. Programa de Análise e Modelagem se Sistemas Ambientais - IGC/UFMG. 2012.

HAGEN, A. **Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps**. International Journal of Geographical Information Science, v. 17, n. 3, p. 235- 249, Mai. 2003.

HUETE, A. R.; MIURA, T.; DIDAN, K.; RODRIGUES, E. P.; GAO, X.; FERREIRA JÚNIOR, L. G. **Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices**. Remote Sensing of Environment, v. 83, n. 1-2 (195-213), 2002.

KLINK, C. A; MACHADO, R. B. **Conservation of the Brazilian Cerrado**. Conservation Biology, vol. 19, p. 707-713. 2005.

LAMBIN, E.F., TURNER, B.L. et al. **The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths**. Global Environmental Change, v. 11, n. 4, p. 261-269, Dez. 2001.

LAPIG-IESA. **Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento do Instituto de Estudos Sócio-Ambientais**. Disponível em: <<http://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/>>. Acesso em 11 de set. 2012.

LIMA, J.E.F.W & SILVA, E.M. **Estimativa da Produção Hídrica Superficial do Cerrado**. In: Scariot et.al Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação. Brasília, Ministério do Meio Ambiente. 2005. p 61-72.

LIMA, J.E.F.W & SILVA, E.M. **Recursos Hídricos do Bioma Cerrado**. In: Sano et.al Cerrado: Ecologia e Flora. EMBRAPA-Cerrados, Brasília, DF. 2008. p 89-105.

LE SAGE, J.P. & PACE, R.K. **Introduction to Spatial Econometrics**. New York: Taylor & Francis Group, 2009. 321 p.

LORENA, R.B. & LAMBIN, E.F. **The spatial dynamics of deforestation and agent use in the Amazon**. Applied Geography, v. 29, n. 2, p. 171-181, Abr. 2009. New York: Taylor & Francis Group, 2009. 321 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Agropecuario 1995/96**. Rio de Janeiro, Brazil: IBGE. 1998. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 11 abril. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Agropecuario 2006**. Rio de Janeiro, Brazil: IBGE. 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 11 abril. 2012.

MANUEL E. FERREIRA, LAERTE G. FERREIRA JR., FAUSTO MIZIARA & BRITALDO S. SOARES-FILHO: **Modeling landscape dynamics in the central Brazilian savanna biome: future scenarios and perspectives for conservation.** Journal of Land Use Science. 2012. 21p.

MANTOVANI, J.E.; Pereira, A. 1998. **Estimativa da integridade da cobertura vegetal de Cerrado através de dados TM/Landsat.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., Santos, SP. Anais... São José dos Campos, SP, INPE. [1 CD-ROM].

MARTINS, S. V. **Recuperação de Áreas Degradadas: Ações em Áreas de Preservação Permanente, Voçorocas, Tabudes, Rodoviários e de Mineração.** Viçosa, MG; Aprenda Fácil, 270 p., 2009.

MEDONÇA, R. C.; FELFILI, J. M.; et. al. **Flora Vascular do Cerrado.** In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S.P. (Ed). Cerrado: ambiente e flora. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 1998. p. 289-556.

MICHALSKI, F., METZGER, J.P., PERES, C. **Rural property size drives patterns of upland and riparian forest retention in a tropical deforestation frontier.** Global Environmental Change, v. 20, n. 4, p. 705-712, Out. 2010.

MIRANDA-ARAGÓN, L. et al. **Modeling susceptibility to deforestation of remaining ecosystems in North Central Mexico with logistic regression.** Journal of Forestry Research, Issn: 1007-662X, DOI 10.1007/s11676-012-0230-z, p. 1-10, disponível online em 30 Março 2012.

MMA/IBAMA/PNUD. RELATÓRIO TÉCNICO DE MONITORAMENTO DE DESMATAMENTO DO BIOMA CERRADO IBAMA. 2008 a 2009. 2010 Disponível em: <[http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/cerrado/RELATORIO\\_CERRADO\\_2008-2009.pdf](http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/cerrado/RELATORIO_CERRADO_2008-2009.pdf)> Acesso em 23 de julho de 2011.

MMA/IBAMA/PNUD. RELATÓRIO TÉCNICO DE MONITORAMENTO DE DESMATAMENTO DO BIOMA CERRADO IBAMA. 2009 a 2010. 2011. Disponível em <[http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/cerrado/RELATORIO%20FINAL\\_CERRADO\\_2010.pdf](http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/cerrado/RELATORIO%20FINAL_CERRADO_2010.pdf)> Acesso em 23 de julho de 2011.

MYERS *et al.* 2000. **Biodiversity hotspots for conservation priorities.** Nature 403: 853-858.

MULLER, C.C & MARTHA JR, G.B **A agropecuária e o desenvolvimento sócio-econômico recente do Cerrado.** In: Savanas: Desafios e Estratégias para o Equilíbrio entre Sociedade, Agronegócio e Recursos Naturais. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados; Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2008. 105 a 169 p.

PFAFF, A.S.P. **What drives deforestation in the Brazilian Amazon?** Evidence from satellite and socioeconomic data. Journal of Environmental Economics and Management, v. 37, n. 1, p. 26-43, Jan. 1999.

PRATES, R.C. & BRACHA, A.J.C. **Análise da Relação entre Desmatamento e bem-estar da População da Amazônia Legal.** RESR, Piracicaba, SP, vol.48, nº 01, p. 165-193, jan/mar 2010.

REATTO, A; CORREIA, J.R.; SPERA, S.T.; MARTINS, E.S. **Solos do bioma cerrado: aspectos pedológicos.** IN: Cerrado: ecologia e flora. P. 107-134 , Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008

RELATÓRIO TÉCNICO DE MONITORAMENTO DE DESMATAMENTO DO BIOMA CERRADO IBAMA. 2002 a 2008. Disponível em <[http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/cerrado/Relatorio%20tecnico\\_Monitoramento%20Desmate\\_Bioma%20Cerrado\\_CSR\\_REV.pdf](http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/cerrado/Relatorio%20tecnico_Monitoramento%20Desmate_Bioma%20Cerrado_CSR_REV.pdf)> Acesso em 23 de julho de 2011.

RODRIGUES, A.S.L et. al. **Boom-and-Bust Development Patterns Across the Amazon Deforestation Frontier**. Science 324, 1435 (2009).

RODRIGUES, H.O., SOARES-FILHO, B.S., COSTA, W.L.S. **DIMAMICA EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21- 26 abril 2007, INPE, 3089-3096 p.

SADER, S. A. and JOYCE, A. T. (1988) **Deforestation rates and trends in Costa Rica, 1940–1983**. Biotropica, v. 20, n.1, p. 11–19, Jun. 1988.

SANO, E. E.; JESUS, E.T; BEZERRA, H.S. **Mapeamento e quantificação de áreas remanescentes do Cerrado através de um sistema de informações geográficas**. Sociedade e Natureza, Uberlândia, 13(25):47-62.2001.

SANO, E. E.; Rosa, R.; Brito, J. L.; Ferreira Jr., L. G. **Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira**. VI. 43, p. 153-156, 2008.

SANO, E. E.; Rosa, R.; Brito, J. L. S.; Ferreira, L. G. **Mapeamento de Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado: estratégias e resultados**. 2007. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 33 p. Disponível em: <<http://www.cpac.embrapa.br/download/1204/t>>. Acesso em 22 de julho de 2011.

SANO, et.al. **Mapeamento da cobertura vegetal natural e antrópica do bioma Cerrado por meio de imagens Landsat ETM+**. Anais XIV. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 1199-1206.

SANTOS, P.M.C, Alves M.S., Silva D.A., Carneiro, C.L. & Fernandes, M. M. 2009. **Monitoramento do desmatamento no Cerrado, porção oeste da Bacia do Rio São Francisco: uma análise dos produtos NDVI e Modelo de Mistura Espectral**. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, RN. Anais... São José dos Campos, SP, INPE.

SARRIS, A. H. **O Papel da Agricultura no Desenvolvimento Econômico e na Diminuição da Pobreza: Uma Base Empírica e Conceitual**. 2001. Disponível em: <<http://raceadm3.nuca.ie.ufrj.br/BuscaRace/Docs/sarris1.pdf>>. Acesso em 25 de fev. 2013.

SCHNEIDER, R.R; et al. **Sustainable Amazon: Limitations and Opportunities for Rural Development**. World bank and IMAZON, Brasília, 2000.

SILVA, J.H.G.D. **Economic Causes of Deforestation in the Brazilian Amazon : An Empirical Analysis of the 2000s**. 2009. Disponível em: <http://www.nemesis.org.br/sec-din.php?s=500&i=pt>. Acesso em: 25 jun. 2012.

SOARES-FILHO. **Fragmentação da Paisagem Florestal em Função da Estrutura e Dinâmica Fundiária no Norte do Mato Grosso**. Anais X SBSR, Foz de Iguaçu, 21-26 abril 2001, INPE, p. 987-995p.

SOARES-FILHO, B.S., et al. **Simulating the spatial patterns of change through the use of the Dinamica model**. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05-10 abril 2003, INPE, p. 721-728.

SOARES-FILHO, B., ALENCAR, A., NEPSTAD, D., CERQUEIRA, G., DIAZ, M.C.V., RIVERO, S., SOLÓRZANO, L., VOLL, E. **Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém-Cuiabá corridor**. Global Change Biology, v. 10, n. 5, p. 745-764, Mai. 2004.

SOARES-FILHO, B.S., NEPSTAD, D. C., CURRAN, L.M., CERQUEIRA, G.C., GARCIA, R.A., RAMOS, C.A., VOLL, E., MCDONALD, A., LEFEBVRE, P., SCHLESINGER, P, MCGRATH, D. **Cenários de desmatamento para a Amazônia**. Estud. av. [online]. 2005, vol.19, n.54, pp. 137-152. ISSN 0103-4014. Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_pdf&pid=S0103-40142005000200008&lng=en&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_pdf&pid=S0103-40142005000200008&lng=en&nrm=iso&tlng=pt)>. Acesso em: 25 de jun. 2012.

SOARES-FILHO, B., CERQUEIRA, G.C., ARAÚJO, W.L., VOLL E. **Modelagem de Dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular.** Megadiversidade, v. 3, n. 1-2, p. 74-86, Dez. 2007.

SOARES-FILHO, B.S. , GARCIA, R.A., RODRIGUES, H.O., MORO, S., NEPSTAD, D.C. **Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento da Amazônia: a caminho de um modelo integrado.** In: Amazônia: Natureza e Sociedade em Transformação. 2008. p. 304.

SOARES-FILHO, B., et al. **Role of Brazilian Amazon protected áreas in climate change mitigation.** Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 107, n. 24, p. 10821-10826, Jun. 2010.

TEIXEIRA, A. M. G., SOARES-FILHO, B. S., FREITAS, S., METZGER, J.P. **Modeling landscape dynamics in an Atlantic Rainforest region: Implications for conservation.** Forest Ecology and Management, v. 257, n. 4, p. 1219-1230, Fev. 2009.

VIANA, S.N. & Bauch, A. A. 2009. **O uso de imagens CBERS no monitoramento da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio São Francisco – estudo de caso: Oeste Baiano.** In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, RN. Anais. São José dos Campos, SP, INPE. 2. Municípios localizados no Bioma Cerrado e a área desmatada no ano de 2009.

VELDKAMP, A., VERBURG, P.H. **Modelling land use and environmental impact.** Journal of Environmental Management, v. 72, n. 1-2, p. 1-3, Ago. 2004.

WALTER, B. M. T.; CARVALHO, A.M.; RIBEIRO J.F. **O Conceito de Savana e de seu Componente no Cerrado.** IN: Cerrado: ecologia e flora. p. 21-45 , Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

## Modelagem dos vetores de mudança na paisagem no bioma cerrado

Thiago Carvalho de Lima<sup>1</sup>  
Débora do Amaral Teixeira<sup>2</sup>  
Carolina Marques Guilen<sup>3</sup>  
Britaldo Soares Filho<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG  
Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha - Belo Horizonte – MG  
carvalholimatcl@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade de Itaúna -UIT  
Rodovia MG 431 - Km 45 (Trevo Itaúna/Pará de Minas)  
Caixa Postal 100 - CEP: 35.680-142 - Itaúna/MG  
deborateixeira@uit.br

<sup>3</sup> Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG  
Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha - Belo Horizonte – MG  
carolmg@gmail.com

<sup>3</sup> Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG  
Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha - Belo Horizonte – MG  
britaldo@csr.ufmg.br

*Resumo.* O Cerrado destaca-se como o segundo maior bioma brasileiro e apresenta uma complexidade biológica única e de valor inestimável, sendo um hotspots da biodiversidade mundial. Apesar disso, o vem sendo ocupado de forma desordenada, principalmente devido à expansão agropecuária. O objetivo desse trabalho foi obter um modelo de desmatamento e regeneração do bioma Cerrado por município. Na primeira parte do trabalho, foi selecionado um modelo econométrico para calcular as taxas de desmatamento ou regeneração. O modelo foi calibrado no GEODA com dados do Censo Agropecuário (IBGE 1995, 2006), obtendo-se um modelo de auto-regressão espacial no termo de erro. Esse modelo econométrico foi utilizado na plataforma DINAMICA EGO para estimar as quantidades de mudanças por município. Essas mudanças, por sua vez, foram alocadas espacialmente em iterações anuais. Na simulação de 2009 a 2050, o modelo refletiu uma perda de cerca de 14 milhões de hectares (taxa anual de desmatamento de 0,16%) e uma regeneração de cerca de 18 milhões de hectares (taxa de regeneração anual de 0,79%). Isto demonstra que, apesar do cerrado atualmente apresentar uma grande pressão de desmatamento, o bioma apresenta uma boa capacidade de regeneração. O monitoramento contínuo, incluindo áreas de regeneração, poderá fornecer dados mais coerentes, permitindo assim um melhor ajuste do modelo para ser utilizado como ferramenta de planejamento das ações de conservação no bioma.

**Palavras-chave:** Cerrado, transição florestal, modelagem espacial, desmatamento, regeneração, DINAMICA EGO.

**Abstract.** The Cerrado stands out as the second largest Brazil's biome and presents a priceless and unique biological complexity, being identified as a global biodiversity hotspot. Nevertheless, the biome has been disorderly occupied, mainly due to agricultural expansion. Considering that there are environmental, physical and / or social variables correlated with the dynamics of Cerrado occupation, this study aimed to obtain a model of deforestation and regeneration of Cerrado biome by municipality. In the first part of the study, an econometric model was selected to estimate deforestation or regeneration rates. This model was calibrated in GEODA with Agricultural Census data (IBGE 1995, 2006), obtaining an auto-regression spatial model with an error term. It was used in DINAMICA EGO software to estimate the amount of changes calculated by municipality. These changes, then, were spatially allocated in annual iterations. In this simulation, totaling 41 iterations (2009 to 2050), the model presented a loss of 14,237,884.5 ha of forest (approximately 6.034% of deforestation in the period or annual deforestation rate of 0.16%) and a regeneration of 18537264.707 ha of forest (annual regeneration rate of 0.79%). This trend that regeneration overlaps deforestation may indicate a forest transition occurring in the biome. Continuous monitoring, in regeneration areas, may provide more consistent data allowing a better fit of the model that can be used as a tool for planning conservation actions in the biome.

**Key-words:** Cerrado, forest transition, spatial modeling, deforestation, regeneration, DINAMICA EGO.

## 1. Introdução

O Cerrado ocupa uma ampla área do Brasil Central, aproximadamente 24% do território nacional, destacando-se como o segundo maior bioma brasileiro, Embrapa Cerrados (2008). Embora a região tenha sofrido vários esforços de ocupação ao longo de toda a história do Brasil, o seu crescimento foi muito lento até meados do século XX. A partir da década de 1970, após a construção de Brasília, articularam-se os programas de colonização, infraestrutura e incentivos à produção, ocasionando um intenso crescimento demográfico no Planalto Central, Diniz (2006). Nas décadas seguintes, a ocupação foi intensificada com a produção de grãos, principalmente soja e milho, e, mais recentemente, café, cana-de-açúcar e algodão, Klink e Machado (2005). Sano *et al.* (2008) relatam as pastagens cultivadas como a principal forma de ocupação do solo no bioma. O êxito do agronegócio na região leva o Brasil a estar entre os países de maior produção agrícola e pecuária do mundo. Em 2010, o Cerrado já produzia 40% do rebanho bovino brasileiro, grande parte para exportação, e metade da safra de grãos nacional, Fernandes e Pessôa (2011). Brandão *et al.* (2006) mostram que houve um aumento muito rápido, de cerca de 23% da área plantada com grãos, de 2001 a 2004, sendo que só a de soja apresentou um aumento de 66% na região Centro-Oeste. Esses autores relatam que o efeito dessa expansão acelerada nos últimos anos só não teve maiores efeitos sobre o desmatamento no bioma porque a maioria dos novos plantios ocorreu em uma “fronteira interna”, utilizando áreas já degradadas por pastagens. Apesar dos efeitos benéficos de geração de renda e emprego, Embrapa Cerrados (2008) a transformação do Cerrado em um “celeiro de grãos” vem ocasionando uma série de impactos ambientais negativos, em especial os decorrentes do desmatamento intenso.

Segundo os dados do Relatório MMA/IBAMA/PNUD (2011), a área dos remanescentes do Cerrado (vegetação nativa + massas d'água) passou de 51,6%, em 2008, para 51,16% em 2009, e a cobertura vegetal original e secundária teve perda de aproximadamente 0,37% no período de 2008-2009. Alguns trabalhos visando o mapeamento da cobertura vegetal e de ocupação e uso do solo vêm sendo realizados no bioma Cerrado, Mantovani & Pereira (1998), LAPIG/IESA (2003 a 2009), MMA/IBAMA/PNUD (2011), Santos *et al.* (2004), Sano, *et al.* (2007 e 2008) e em outros trabalhos de abordagem mais local como Santos *et al.* (2009), Soares-Filho (2001) e Viana *et al.* (2009).

A modelagem de dinâmica da paisagem é uma ferramenta que se mostra cada vez mais aplicada para suprir as necessidades de monitoramento, planejamento e simulação de cenários, visando à preservação e o manejo sustentável de biomas. No Brasil, merecem destaques os trabalhos realizados no bioma Amazônia por Soares-Filho *et al.* (2004, 2005,

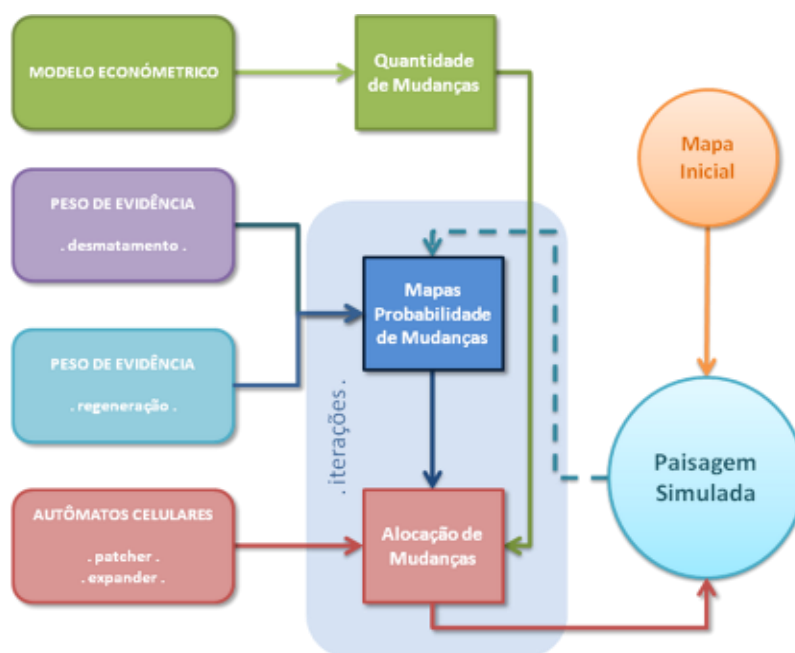
2008), Aguiar *et al.* (2007), Lorena e Lambin (2009), Michalski *et al.* (2010) e Silva (2009). Em 2012, Guilen-Lima, realizou um trabalho de modelagem para a Mata Atlântica. Esse esforço deve ser estendido a outros biomas, em especial ao Cerrado, por sua importância e grau de ameaça.

## 2. Objetivos

Acreditando-se que existam variáveis ambientais, físicas e/ou sociais correlacionadas com a dinâmica de ocupação do Cerrado, o objetivo desse trabalho é obter um modelo que possibilite determinar os fatores que influenciam o desmatamento e a regeneração do bioma Cerrado por município e realizar simulações anuais da evolução desses processos nas próximas décadas.

## 3. Materiais e Métodos

O estudo foi dividido em duas etapas. Na primeira foi criado um modelo econométrico para verificar quais são as variáveis que mais influenciam na quantidade de desmatamento e de regeneração do Cerrado, permitindo estimar taxas de perda e ganho de cobertura vegetal nativa por município. Na segunda etapa, foi elaborado um modelo espacialmente explícito, na plataforma do software DINAMICA EGO, para alocar as mudanças estimadas pelo modelo econométrico em função de determinantes espaciais. A Figura 1 apresenta a estrutura lógica do modelo completo.



**Figura 1:** Fluxograma do modelo utilizado: representação da paisagem inicial, função de mudança (composta por quantidade e alocação espacial das mudanças) e mapa de saída (paisagem simulada). Adaptado de Guilen-Lima (2012).

A área de estudo englobou a porção nuclear contínua (core) do Cerrado, região central do Brasil, abrangendo os estados de Goiás, Tocantins, Bahia, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Piauí, Maranhão e uma pequena porção do Paraná.

### 3.1 Modelo Econométrico

Para obtenção do modelo econométrico, foram utilizados os dados quantitativos dos 1.204 municípios do bioma Cerrado obtidos do Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (1995 e 2006).

O modelo econométrico pode ser representado pela equação (i), em que a variável “Y” representa a taxa de variação na quantidade de cobertura vegetal nativa (Taxa Bruta). Essa variação é influenciada por uma ou mais variáveis independentes (Xn). A seleção inicial das variáveis independentes explicativas para o modelo foi feita de acordo com a literatura consultada e com a disponibilidade de dados. Num modelo econométrico com dependência espacial é incluída a influência da vizinhança sobre a função de Y, LeSage & Pace (2009).

$$Y_{t+v} = \beta_0 + \beta_{1X1} + \beta_{2X2} + \dots + \beta_{nXn} + \varepsilon \quad (i)$$

A variável dependente (Taxa Bruta = Y) foi calculada subtraindo-se das quantidades de cobertura vegetal nativa do ano de 2006 as de 1995 (iv). Os valores negativos significam perda de cobertura vegetal nativa (desmatamento) e os valores positivos significam ganho (regeneração).

$$Tx = (F_{t+n} - F_t) \quad (iv)$$

Onde:

$T_x$  = taxa de variação no estoque de cobertura vegetal nativa (Taxa\_Bruta Y);  $F_t$  = área de floresta no tempo inicial (t);  $F_{t+n}$  = área de floresta no tempo final (t+n)

Foi obtido um modelo de regressão linear pelo método *stepwise* no *software* Geoda 0.9.9.11, selecionando-se as variáveis mais explicativas para as taxas de desmatamento/regeneração. Em seguida, foi testada a autoregressão espacial, avaliando-se o grau de influência que a vizinhança geográfica exerce na probabilidade de um município ter um maior ou menor índice de desmatamento ou regeneração. Como resultado desta etapa, obteve-se um modelo econométrico de dependência espacial, usado para estimar as taxas de mudanças na etapa seguinte de modelagem.

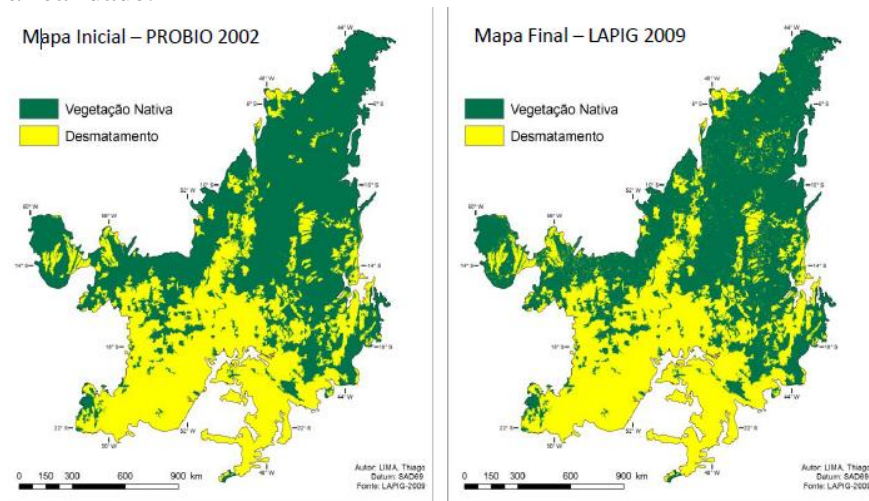
### 3.2 Modelo Espacial

A taxa de mudanças na quantidade de cobertura vegetal nativa (desmatamento e regeneração), fornecida por município pelo modelo econométrico, foi inserida no DINAMICA EGO utilizando-se o operador “*Calc Spatial Lag*” do *software*. Este operador recebe como input as variáveis selecionadas na etapa anterior e recalcula as taxas de desmatamento e regeneração por município a partir da função econométrica.

A próxima etapa da modelagem é a alocação das transições esperadas (desmatamentos e regenerações) por pixel, no mapa de remanescentes vegetais do bioma. Essa alocação é feita com base em um mapa de probabilidades de transições, gerado pelo método de Pesos de Evidência, Bonham-Carter (1994). Esse método utiliza um mapa inicial e um final de mudanças (**Figura 2**) e mapas de potenciais determinantes espaciais, que permitem estabelecer relações de maior ou menor probabilidade de ocorrer uma determinada mudança. Por exemplo, a proximidade a rios e a estradas tende a repelir e atrair desmatamentos, respectivamente, devido a restrições legais e custos operacionais. Um algoritmo de pesos de evidência do DINAMICA EGO analisa as relações de probabilidade condicional entre as transições e as variáveis geográficas dadas como determinantes espaciais, gerando como produto o mapa de probabilidades usado para a alocação das mudanças.

Ressalta-se que, como os dados de regeneração no Cerrado não são monitorados, impossibilitando a geração de pesos de evidência específicos para o bioma, foram utilizados pesos observados para uma região da Mata Atlântica, Teixeira et al. (2009).

A alocação espacial das mudanças foi realizada por dois outros operadores, o *Patcher* e o *Expander* do software *DINAMICA EGO*. O *Patcher* é um operador que cria novas mudanças a partir de um mecanismo de semeadura. Já o *Expander* irá expandir ou contrair novas manchas de uma determinada classe ou categoria, Soares-Filho *et al.* (2003). Ambos os operadores são parametrizáveis, permitindo ao usuário sua manipulação para obter resultados mais próximos à realidade.



**Figura 2:** Mapas inicial (PROBIO/Landsat - TM) e final (SIAD/MODIS) de desmatamento no bioma cerrado. Fonte: Probio; LapiG/Siad-Cerrado.

### 3.3 Validação

Foram realizados três tipos de validação: I) validação das taxas calculadas pelo modelo econométrico em relação às taxas observadas pelo IBGE para o mesmo período de tempo (1995 – 2006); II) validação visual e quantitativa das taxas simuladas pelo modelo espacial comparadas as taxas reais observadas pelo LAPIG para o ano de 2009; III) validação quanto a alocação espacial das mudanças, utilizando-se o operador “*Calculate Reciprocal Similarity Map*”, do *DINAMICA EGO*. Esse operador analisa a similaridade entre mapas por lógica fuzzy (Hagen, 2003) de forma recíproca.

### 3.4 Simulação

A partir do modelo calibrado e validado, os processos de desmatamento e regeneração foram simulados do ano de 2009 para 2050, totalizando 41 iterações. Desta forma, pôde-se avaliar a tendência de evolução da paisagem do bioma nas próximas décadas, além de se testar o comportamento do modelo para prazos de projeções superiores àqueles já monitorados.

## 4. Resultados e Discussão

O modelo econométrico permitiu testar várias combinações de variáveis potencialmente explicativas das taxas de desmatamento e regeneração no Cerrado. Foi selecionada a combinação que apresentou melhor ajuste (maior coeficiente de correlação  $R^2$ ): Lavoura Temporária; Mata Nativa; Efetivo Bovino; Altitude e Atração Urbana. Esse modelo obteve um ajuste de  $R^2 = 0,609$ , no software SPSS. Com a incorporação da influência (dependência ou auto-regressão) espacial, obteve-se um melhoramento do coeficiente de determinação ( $R^2$ )

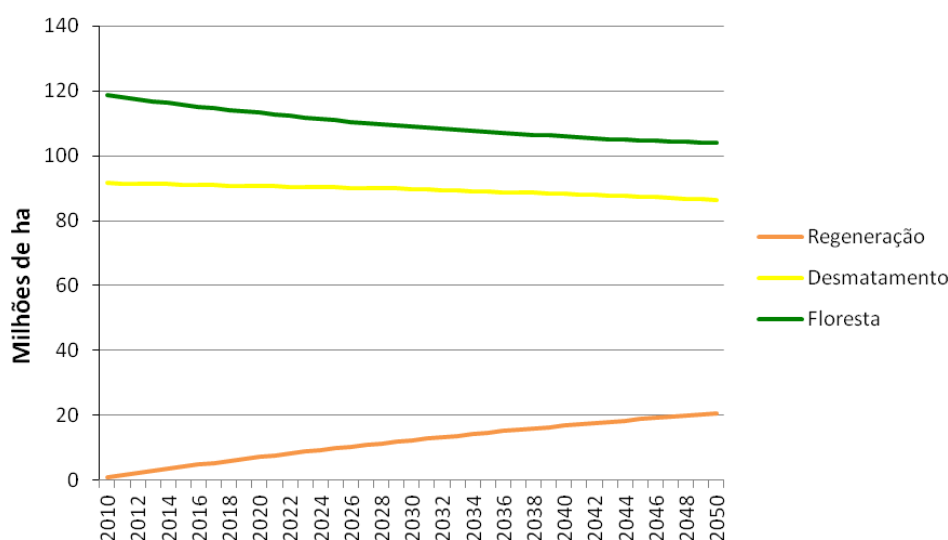
de 0,609 para 0,629. A altitude foi a única variável que apresentou-se negativamente correlacionada com o desmatamento (coeficiente positivo), ou seja, quanto mais alto o município, menor a taxa de desmatamento. As demais variáveis estão positivamente correlacionadas, demonstrando que quanto mais lavouras temporárias, maior o efetivo bovino e a importância do município, maiores as taxas de desmatamento.

Quanto à validação, pôde-se observar um resultado muito próximo quando comparamos as taxas de variação no estoque de cobertura vegetal nativa ( $T_x = \text{Taxa Bruta}$ ) obtidas pelo modelo econométrico e geradas pelo DINAMICA EGO, de 0,29%, com as taxas obtidas com os dados do Censo Agropecuário – IBGE (1995 – 2006), de 0,21%. Nos dois casos as taxas médias apresentam valores positivos, indicando que a regeneração é maior que o desmatamento. Dados oficiais mostram uma tendência de queda nas taxas de desmatamento no Cerrado. No período de 2002-2008, a taxa anual de desmatamento foi de 0,7%, passando a 0,37% entre 2008-2009 e para 0,3% entre 2009-2010 (MMA/IBAMA/PNUD, 2011).

#### 4.1 Simulação

No período simulado (2009 – 2050), o modelo apresentou uma perda de 14.237.884,5 ha (aproximadamente 6,034% de desmatamento no período ou taxa de desmatamento anual de 0,16%) e uma regeneração de 18 milhões ha (taxa de regeneração anual de 0,79%) (**Figura 3**). A taxa média de desmatamento encontrada pelo modelo foi bem próxima a obtida por Ferreira *et al.* (2012) em um modelo de simulação de áreas desmatadas no Cerrado de 2010 a 2050, com incremento de 6,79%, ou seja, uma taxa anual média de desmatamento de aproximadamente 0,17%.

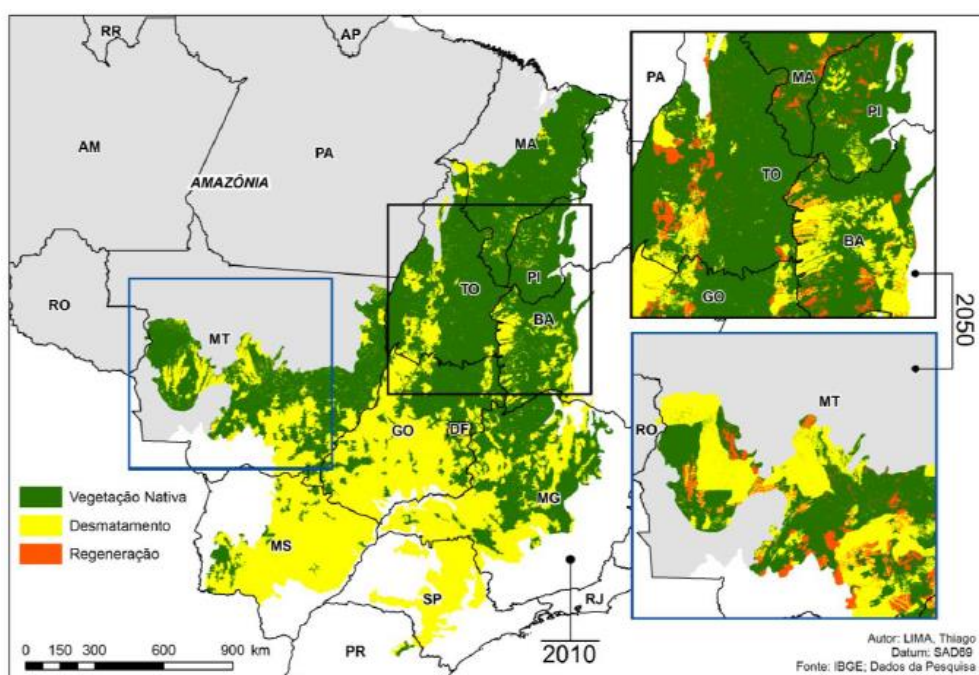
O modelo apresentou um aumento significativo nas taxas de regeneração. A tendência de que a regeneração se sobreponha ao desmatamento dentro de quatro ou cinco décadas pode indicar uma transição florestal possível para o bioma.



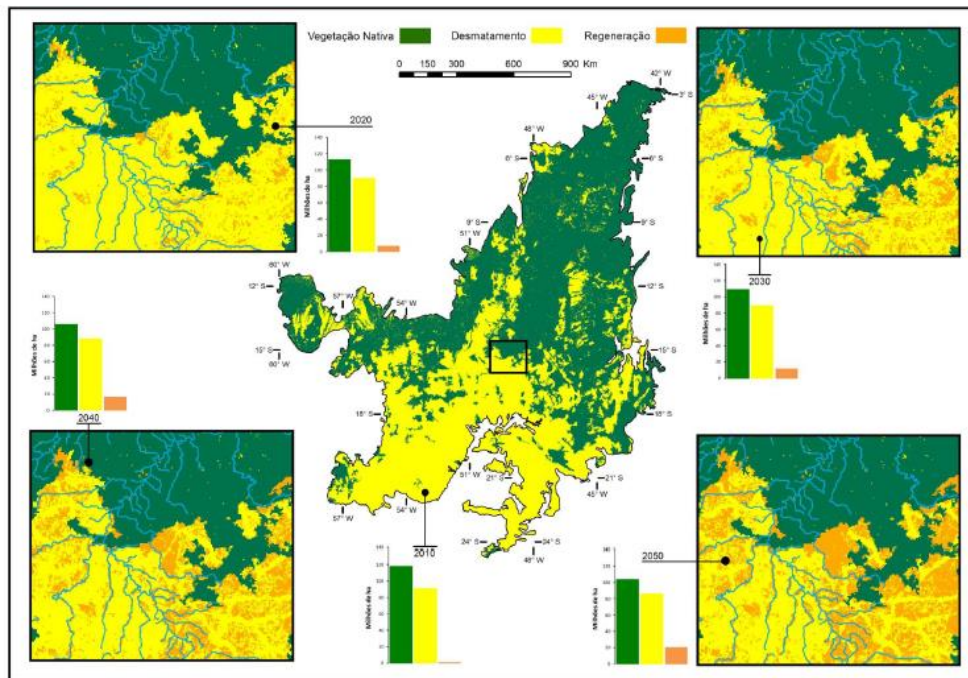
**Figura 3:** Evolução das taxas de floresta, desmatamento e regeneração para os 50 anos simulados.

O desmatamento tende a se concentrar na região central de Mato Grosso (ecótono com a Amazônia), região ao sul de Maranhão, sudoeste de Piauí, oeste da Bahia e leste de Tocantins (áreas de expansão agrícola) e ao redor de manchas já existentes. Isto indica que, se a tendência de desmatamento continuar ao longo dos anos, estas regiões citadas terão grande parte de suas florestas convertidas em áreas de pastagem e ou lavoura. Desmatamentos pontuais também aparecem ao longo de todo o Cerrado (**Figura 04**).

Por outro lado, as maiores áreas de regeneração concentraram-se ao redor de cursos d'água (**Figura 05**), em áreas de maior altitude e declividade mais acentuadas, ou seja, Áreas de Preservação Permanente (APPs).



**Figura 4:** Simulação da evolução do desmatamento e regeneração no Cerrado para os anos de 2010 e 2050. Destaque para os estados de Mato Grosso, Goiás, Bahia, Tocantins, Maranhão e Piauí.



**Figura 5:** Simulação da evolução de floresta, desmatamento e regeneração para os anos de 2010, 2020, 2030, 2040 e 2050. Destaque para a regeneração em áreas de APP. Fonte: IBGE; ANA; Dados da Pesquisa.

#### 4. Conclusão e Sugestões

O modelo reflete uma tendência de queda das taxas anuais de desmatamento no Cerrado, o que já pode ser percebido nos relatórios do IBAMA/MMA/PNUD quando comparamos os as taxas do modelo no ano de 2008-2009 com as taxas do IBAMA para o mesmo período, de 0,37 para 3%. Nas simulações, as regiões já identificadas como novas áreas de expansão da fronteira agrícola e áreas de ecótonos com a Amazônia, apresentaram uma grande concentração de novos focos de desmatamento, principalmente no entorno de áreas já desmatadas. As regiões com maiores probabilidades de desmatamento devem ser encaradas com mais cuidado, exigindo, prioritariamente, a implementação de novas políticas públicas para controlar a expansão destas fronteiras em áreas de vegetação nativa. As zonas mais atuais de expansão agropecuária, principalmente nos estados do Maranhão, Bahia e Piauí, ainda apresentam uma boa cobertura vegetal nativa. Desta forma, um zoneamento ambiental que utilize dados de modelagem pode ajudar a selecionar áreas prioritárias para conservação nessas regiões.

Enquanto a taxa anual média de desmatamento gerada pelo modelo foi de 0,16%, a taxa de regeneração foi de 0,79% ao ano. Isso pode indicar uma boa capacidade de recuperação do Cerrado frente à pressão antrópica da expansão agropecuária exercida sobre ele, embora esse dado deva ser analisado com cuidado devido a não existência do monitoramento de áreas de regeneração. Essas áreas foram localizadas principalmente em matas ciliares e locais com maiores altitude e declividade, ou seja, Áreas de Preservação Permanente (APPs), o que demonstra a importância da legislação ambiental para a conservação ambiental.

Simulações utilizando o modelo gerado podem avaliar de que forma as modificações no Código Florestal Brasileiro (CFB) podem impactar a cobertura vegetal nativa no Cerrado,

utilizando dados referentes às mudanças nas APPs e Reserva Legal. O uso do modelo permitirá um maior embasamento das futuras propostas de alteração desse importante instrumento legal para conservação dos biomas brasileiros. Segundo a SAE (Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República), o Cerrado tem hoje certa de  $40\pm 2$  Mha de ativos florestais que podem ser desmatados legalmente. Diante disso, faz-se necessária a criação de um plano estratégico para guiar a expansão da agropecuária em todo o bioma, desenvolvendo um planejamento territorial que oriente a expansão socioambientalmente correta de diferentes cultivos e a criação de programas que incentivem o uso de terras subsidiadas pela pecuária.

A obtenção de modelos econométricos e espaciais permite entender melhor as causas das mudanças no padrão desmatamento-regeneração dentro do bioma, quantificá-las e alocá-las no espaço e no tempo. O melhor entendimento, não só da espacialidade das mudanças, mas também das causas socioeconômicas que mais as influenciam no Cerrado, possibilitará uma maior eficiência na alocação de recursos e mão de obra especializada na contenção ou potencialização das áreas de maior probabilidade de desmatamento ou regeneração, respectivamente, auxiliando na implantação de políticas públicas para mitigação de impactos ambientais negativos e tomadas de decisões para a preservação deste bioma tão ameaçado.

Melhorias futuras no modelo devem incluir: um algoritmo que converta as regenerações em florestas, nas áreas de transição “desmatamento – regeneração”, depois de um tempo de permanência dessas como áreas de regeneração; construção de submodelos que melhor se ajustem a grande diversidade regional do Cerrado; inserção de um modelo de fogo, sabendo que esta variável é de grande relevância na dinâmica do bioma; construção de algoritmos que extrapolem o excedente das taxas de desmatamento e regeneração, hoje condicionadas aos limites municipais, para os municípios limítrofes; e a obtenção de pesos de evidência para regeneração específicos para o Cerrado.

O monitoramento contínuo e tecnicamente consistente do bioma, com a inserção de áreas de regeneração, poderão fornecer dados mais coerentes com a realidade do bioma e permitir futuros modelos mais precisos.

## 6. Referências

- BONHAM-CARTER, G. **Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS**. New York: Pergamon, 1994. 398 p.
- BRANDÃO, A.S.P.; REZENDE, G.C.; MARQUES, R.W.C. **Crescimento Agrícola no Período 1999/2004: a exploração da soja e da pecuária bovina e seu impacto sobre o meio ambiente**. *Ecologia Aplicada*, v. 58, n. 2 (129-137), 2006.
- DINIZ, B. P. C. **O Grande Cerrado do Brasil Central: geopolítica e economia**. Disponível em: <[http://portais.ufg.br/uploads/160/original\\_TESE\\_BERNARDO\\_PALHARES\\_CAMPOLINA\\_DINIZ.pdf](http://portais.ufg.br/uploads/160/original_TESE_BERNARDO_PALHARES_CAMPOLINA_DINIZ.pdf)> Acesso em : 11 de março de 2013.
- EMBRAPA CERRADOS . **IV Plano Diretor da Embrapa Cerrados 2008 - 2011 - 2023** / Embrapa Cerrados - Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. 42 p.
- FELTRAN-BARBIERI, R.; KASSAI, J.R. **Passivo Ambiental das Reservas Legais Inexistentes no Cerrado**. IX Simpósio Nacional do Cerrado.
- FERNADES, P. A. & PESSÔA, V. L. S. N. **O Cerrado e suas Atividades Impactantes: uma leitura sobre o garimpo, a mineração e a agricultura mecanizada**. *Observarium: Revista Eletrônica de Geografia*, v.3, n.7, p. 19-37, out. 2011.
- GUILLEN-LIMA. **Modelagem de Transição Florestal na Mata Atlântica**. Dissertação de Mestrado. Programa de Análise e Modelagem se Sistemas Ambientais - IGC/UFMG. 2012.
- HAGEN, A. **Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps**. *International Journal of Geographical Information Science*, v. 17, n. 3, p. 235- 249, Mai. 2003.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Agropecuario 1995/96**. Rio de Janeiro, Brazil: IBGE. 1998. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 11 abril. 2012.
- KLINK, C. A; MACHADO, R. B. **Conservation of the Brazilian Cerrado**. *Conservation Biology*, vol. 19, p. 707-713. 2005.
- LAPIG-IESA. **Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento do Instituto de Estudos Sócio-Ambientais**. Disponível em: <<http://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/>>. Acesso em 11 de set. 2012.
- LE SAGE, J.P. & PACE, R.K. **Introduction to Spatial Econometrics**. New York: Taylor & Francis Group, 2009. 321 p.
- LORENA, R.B. & LAMBIN, E.F. **The spatial dynamics of deforestation and agent use in the Amazon**. *Applied Geography*, v. 29, n. 2, p. 171-181, Abr. 2009. New York: Taylor & Francis Group, 2009. 321 p.
- MANTOVANI, J.E.; Pereira, A. 1998. **Estimativa da integridade da cobertura vegetal de Cerrado através de dados TM/Landsat**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., Santos, SP. Anais... São José dos Campos, SP, INPE. [1 CD-ROM].
- MICHALSKI, F., METZGER, J.P., PERES, C. **Rural property size drives patterns of upland and riparian forest retention in a tropical deforestation frontier**. *Global Environmental Change*, v. 20, n. 4, p. 705-712, Out. 2010.
- MMA/IBAMA/PNUD. **RELATÓRIO TÉCNICO DE MONITORAMENTO DE DESMATAMENTO DO BIOMA CERRADO IBAMA. 2008 a 2009. 2010** Disponível em: <[http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/cerrado/RELATORIO\\_CERRADO\\_2008-2009.pdf](http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/cerrado/RELATORIO_CERRADO_2008-2009.pdf)> Acesso em 23 de julho de 2011.
- MMA/IBAMA/PNUD. **RELATÓRIO TÉCNICO DE MONITORAMENTO DE DESMATAMENTO DO BIOMA CERRADO IBAMA. 2009 a 2010. 2011**. Disponível em <[http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/cerrado/RELATORIO%20FINAL\\_CERRADO\\_2010.pdf](http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/cerrado/RELATORIO%20FINAL_CERRADO_2010.pdf)> Acesso em 23 de julho de 2011.
- SANO, E. E.; JESUS, E.T; BEZERRA, H.S. **Mapeamento e quantificação de áreas remanescentes do Cerrado através de um sistema de informações geográficas**. *Sociedade e Natureza*, Uberlândia, 13(25):47-62.2001.

- SANO, E. E.; Rosa, R.; Brito, J. L. S.; Ferreira, L. G. **Mapeamento de Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado: estratégias e resultados.** 2007. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 33 p. Disponível em: <<http://www.cpac.embrapa.br/download/1204/t>>. Acesso em 22 de julho de 2011.
- SANO, E. E.; Rosa, R.; Brito, J. L.; Ferreira Jr., L. G. **Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira.** VI. 43, p. 153-156, 2008.
- SANO, E. E.; Rosa, R.; Brito, J. L.; Ferreira Jr., L. G. **Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira.** VI. 43, p. 153-156, 2008.
- SANTOS, P.M.C, Alves M.S., Silva D.A., Carneiro, C.L. & Fernandes, M. M. 2009. **Monitoramento do desmatamento no Cerrado, porção oeste da Bacia do Rio São Francisco: uma análise dos produtos NDVI e Modelo de Mistura Espectral.** In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, RN. Anais... São José dos Campos, SP, INPE.
- SILVA, J.H.G.D. **Economic Causes of Deforestation in the Brazilian Amazon : An Empirical Analysis of the 2000s.** 2009. Disponível em: <http://www.nemesis.org.br/sec-din.php?s=500&i=pt>. Acesso em: 25 jun. 2012.
- SOARES-FILHO, B., ALENCAR, A., NEPSTAD, D., CERQUEIRA, G., DIAZ, M.C.V., RIVERO, S., SOLÓRZANO, L., VOLL, E. **Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém-Cuiabá corridor.** Global Change Biology, v. 10, n. 5, p. 745-764, Mai. 2004.
- SOARES-FILHO, B., CERQUEIRA, G.C., ARAÚJO, W.L., VOLL E. **Modelagem de Dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular.** Megadiversidade, v. 3, n. 1-2, p. 74-86, Dez. 2007.
- SOARES-FILHO, B., CERQUEIRA, G.C., ARAÚJO, W.L., VOLL E. **Modelagem de Dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular.** Megadiversidade, v. 3, n. 1-2, p. 74-86, Dez. 2007.
- SOARES-FILHO, B.S. , GARCIA, R.A., RODRIGUES, H.O., MORO, S., NEPSTAD, D.C. **Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento da Amazônia: a caminho de um modelo integrado.** In: Amazônia: Natureza e Sociedade em Transformação. 2008. p. 304.
- SOARES-FILHO, B.S., et al. **Simulating the spatial patterns of change through the use of the Dinamica model.** Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05-10 abril 2003, INPE, p. 721-728.
- SOARES-FILHO, B.S., NEPSTAD, D. C., CURRAN, L.M., CERQUEIRA, G.C., GARCIA, R.A., RAMOS, C.A., VOLL, E., MCDONALD, A., LEFEBVRE, P., SCHLESINGER, P, MCGRATH, D. **Cenários de desmatamento para a Amazônia.** Estud. av. [online]. 2005, vol.19, n.54, pp. 137-152. ISSN 0103-4014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_pdf&pid=S0103-40142005000200008&lng=en&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_pdf&pid=S0103-40142005000200008&lng=en&nrm=iso&tlng=pt)>. Acesso em: 25 de jun. 2012.
- SOARES-FILHO. **Fragmentação da Paisagem Florestal em Função da Estrutura e Dinâmica Fundiária no Norte do Mato Grosso.** Anais X SBSR, Foz de Iguaçu, 21-26 abril 2001, INPE, p. 987-995p.
- TEIXEIRA, A. M. G., SOARES-FILHO, B. S., FREITAS, S., METZGER, J.P. **Modeling landscape dynamics in an Atlantic Rainforest region: Implications for conservation.** Forest Ecology and Management, v. 257, n. 4, p. 1219-1230, Fev. 2009.
- VIANA, S.N. & Bauch, A. A. 2009. **O uso de imagens CBERS no monitoramento da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio São Francisco – estudo de caso: Oeste Baiano.** In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, RN. Anais. São José dos Campos, SP, INPE. 2. Municípios localizados no Bioma Cerrado e a área desmatada no ano de 2009

