

Capítulo 11

Modelagem ambiental: Simulação de 30 anos do desmatamento no Município de Brasnorte – MT

Marcelo Alvares Tenenwurcel

Adriana Monteiro da Costa

Douglas Felipe Lucas

Lucas Antônio Brasil Gonçalves Lacerda

Resumo: A Floresta Amazônica é um complexo ambiental de grande importância, não apenas nacional, mas em escala global. Este bioma é responsável por fornecer diversos serviços ecossistêmicos, sendo fundamental preservá-lo. Neste contexto, o trabalho pretende analisar a dinâmica do desmatamento no município de Brasnorte - MT, que é integrante da Amazônia brasileira. Para isso foi aplicado um modelo de mudança do uso e cobertura da terra, tendo como foco a evolução do desmatamento neste município, indo de 2004 até 2034 (30 anos). Conclui-se que o modelo possui um ajuste aceitável para modelar a evolução do desmatamento na área de estudo e as variáveis utilizadas explicam bem o processo de transição de florestas para pastos. Desta forma, percebe-se que o desmatamento tem maiores chances de ocorrer principalmente em áreas próximas a pastagens e a estradas e com distância acima de 1,5 Km de áreas preservadas.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado das atividades antrópicas como urbanização, expansão agrícola e desmatamento modificou a superfície do planeta, principalmente nos dois últimos séculos. Observa-se um intenso processo de substituição de paisagens naturais por outros usos do solo e a conversão de áreas com cobertura florestal em fragmentos florestais, ocasionando a perda da biodiversidade e, muitas vezes, comprometendo a disponibilidade e qualidade de recursos naturais relevantes para a população (AGUIAR, 2003).

Uma das principais causas do desmatamento é a pecuária. A conversão de extensas áreas de vegetação natural para pastagens pode levar a degradação de ecossistemas terrestres e aquáticos e sua biodiversidade, podendo provocar a morte de indivíduos de várias espécies, redução de hábitat, intensificação dos processos erosivos, assoreamento, aumento da evapotranspiração potencial e emissão de gases do efeito estufa e comprometimento a qualidade da água (RIVERO et. al., 2011).

No Brasil, destaca-se a expansão da pecuária na Amazônia, bioma conhecido pela sua rica biodiversidade e serviços ecossistêmicos relevantes relacionados ao regime climático global. Em 2013 a pecuária brasileira ocupava aproximadamente 220 milhões de hectares, dos quais 70 milhões localizavam-se somente nos estados da Amazônia (BARBOSA et.al., 2015).

Esta ocupação ocorreu, sobretudo a partir dos anos 60, sendo caracterizada pelo ciclo desmatamento/extração de madeira/pecuária, no qual o desflorestamento é inicialmente realizado por posseiros, que abrem as florestas, estimulados por madeireiras, seguido pela sua expropriação por fazendeiros de gado ou empresas agropecuárias (AGUIAR, 2003).

O estudo das mudanças de uso e cobertura do solo (*Land Use and Land Cover Change – LUCC*) é responsável pela detecção de uma série de aspectos da mudança ambiental global e suas forças dirigentes e tem, por isso, recebido crescente atenção dos cientistas e tomadores de decisão. Nas últimas duas décadas, o foco da investigação tem se direcionado para a modelagem de sistemas, através da previsão de mudanças e da exploração de possíveis cenários futuros (MAS et.al., 2014).

A ampla disponibilização de dados de sensoriamento remoto e o desenvolvimento e popularização de plataformas de Geoprocessamento, em especial os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) impulsionou e facilitou esta tendência (LIMA et.al, 2013). A modelagem espacialmente explícita é uma importante técnica para projetar e explorar cenários alternativos futuros, para conduzir experimentações que auxiliam no entendimento e quantificação dos processos envolvidos na dinâmica da paisagem. Este enfoque exploratório e prospectivo permite que os modelos sejam usados como ferramentas de análise ambiental (OLIVEIRA, 2012).

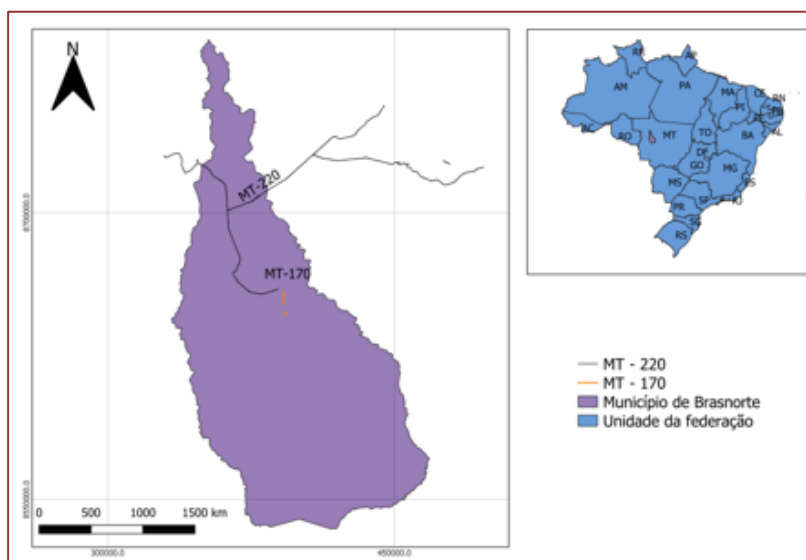
Neste contexto o objetivo deste trabalho é analisar a dinâmica das mudanças de uso e cobertura do solo, especialmente expansão da pecuária e sua projeção futura até o ano de 2034, no município de Brasnorte/MT. Portanto, a análise das mudanças de uso e cobertura do solo do município, especialmente a conversão de áreas naturais em pastagens, contribuiria para elucidação dos processos indutores do desmatamento em áreas consolidadas da Amazônia.

2. METODOLOGIA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Brasnorte está localizado na região noroeste do Estado de Mato Grosso, na região da Amazônia Legal e tem como municípios limítrofes Castanheira, Juara, Nova Maringá, Campo Novo do Parecis, Sapezal e Juína. O município possui área territorial de aproximadamente 16.761 km² e tem como principal via de acesso local, a rodovia estadual MT-170 que possui ligação com a MT-220.

Figura 1 – Mapa de localização do Município de Brasnorte - MT



A população do município de Brasnorte, de acordo com dados do último censo demográfico realizado pelo IBGE (2010), era 15.537 habitantes havendo a predominância da população urbana, que representava 65% da população total.

A área de estudo esta inserida na Grande Bacia do Amazonas, que por sua vez abrange bacia hidrográfica do Rio Tapajós. Além disso, a área de estudo também recebe influencia da Bacia Hidrográfica do Rio Juruena, que é um dos principais afluentes do Rio Tapajós. Os principais rios tributários do Rio Juruena são os rios Sangue e Papagaio, presentes ao longo de toda a extensão territorial do município estudado.

Além disso, de acordo com a Fundação Nacional do Índio – FUNAI, (2011), percebe-se que há presença de duas terras indígenas que ocupam parte do município de Brasnorte, que são, as reservas indígenas Menku e Erikpatsá. A reserva Menku possui 146.398 Ha no total e a reserva Erikpatsá ocupa uma área de 79.934, 8010 Ha. Nestas reservas habitam aproximadamente 1.866 indígenas.

a. **Economia**

O município tem como principais atividades econômicas o cultivo agrícola e a pecuária. O crescimento de área plantada de lavouras no território de Brasnorte elevou-se a níveis superiores a 1.000% (IBGE, 2019), considerando 1990, ano em que começaram a serem contabilizados os dados de produção agrícola municipal como tempo inicial e dados da última quantificação de áreas de lavouras, correspondem ao ano de 2017. Neste último ano (2017), o município representou o município com a 20ª maior área plantada de todo o país.

Figura 2 - Área Plantada no município de Brasnorte.

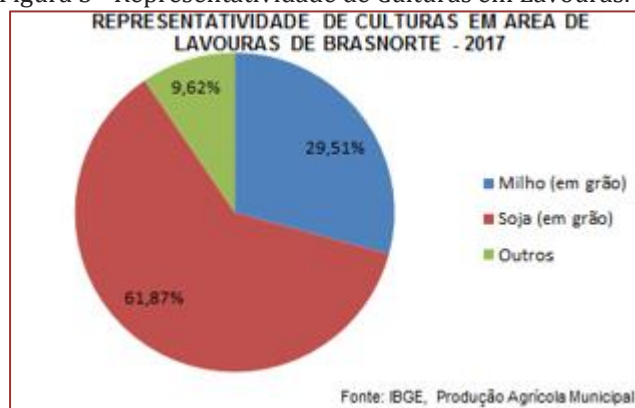


Fonte: Censo Demográfico 2010, IBGE.

A importância das lavouras na dinâmica econômica de Brasnorte pode ser observada através de dados referentes ao produto interno bruto municipal, que considerando o valor adicionado bruto da agropecuária a preços corrente indica que Brasnorte possui no ano de 2017, o 88ª maior PIB agropecuário do país, que consequentemente elevou o local a 30ª economia mais forte do estado naquele ano.

A representatividade de determinadas culturas como milho e principalmente a soja, na área total plantada de lavouras, evidenciam a grande potencialidade dessas duas variedades agrícolas como grandes bases do ciclo produtivo do setor no município de Brasnorte. Soja e Milho representaram em 2017, mais de 90% da área plantada por cultivo temporário.

Figura 3 - Representatividade de Culturas em Lavouras.



Fonte: IBGE, Produção Agrícola Municipal.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados neste estudo consistiram em:

- Software QuantumGIS versão 3.0;
- Software DINAMICA EGO versão 4.11;
- Imagens de 2004, 2010 e 2014 do uso e cobertura da terra do banco de dados do Projeto TerraClass;
- Mapa das áreas prioritárias para intensificação de rebanho bovino, mapa de frigoríficos do estado do Mato Grosso, Mapa de áreas protegidas do estado do Mato Grosso, Mapa das redes de drenagem do estado do Mato Grosso, Mapa de rodovias e estradas vicinais, Mapa de vegetação do estado do Mato Grosso e Mapa de áreas urbanas no banco de dados do Centro de Sensoriamento (CSR) da UFMG.

É válido elucidar que o DINAMICA EGO (Environment for Geoprocessing Objects) é uma plataforma de modelagem desenvolvida pelo Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais. Através vários operadores, chamados 'functores', que executam operações matemáticas, lógicas e de análise espacial, o usuário pode elaborar modelos espacialmente explícitos, além de utilizar algoritmos para calibração e validação das simulações (SOARES-FILHO et al., 2009).

O DINAMICA utiliza o método bayesiano de pesos de evidência para realizar o cálculo que gera os mapas de probabilidade de mudança ou mapa do potencial espacial de mudanças (BONHAM-CARTER, 1994). Este método utiliza probabilidades condicionais para estabelecer a relação entre presença/ausência de mudança, dada a presença/ausência de determinado fator. Os pesos de evidência trabalham as probabilidades de transição relacionadas a cada determinante espacial, apenas posteriormente unindo-as num mapa global de probabilidades (LIMA et al 2013).

O modelo de simulação de mudanças inicia-se com a definição dos elementos ou estados de uma paisagem e suas possíveis transições. Em geral, a análise espacial das mudanças é realizada através da comparação de mapas de uso e cobertura da terra, comumente oriundos da classificação de imagens obtidas por sensores remotos. Esta comparação permite estimar os tipos de transições e as quantidades de mudança, ou seja, a intensidade de mudança para um intervalo de tempo discreto.

Desta forma, o software utiliza como dados de entrada principais ou input mapas de uso e cobertura da terra reclassificados em grupos por meio de técnicas de sensoriamento remoto. Ademais, o modelo emprega variáveis espaciais que procuram explicar o desmatamento para a transição observada na matriz de transição.

Como output ou dados de saída, o DINAMICA gera mapas de paisagem simulados (um para cada intervalo de tempo), os mapas de probabilidade de transição espacial, que representam a probabilidade de uma célula em uma posição (x, y) mudar de estado i para estado j (sendo i e j tipos de uso da terra e classe de cobertura da terra), e os mapas dinâmicos de variáveis espaciais (SOARES-FILHO, 2002).

Em relação às etapas metodológicas para aplicar o modelo de simulação de mudança do uso e cobertura da terra foram realizadas as seguintes atividades:

1. Seleção das imagens de uso e ocupação (TerraClass, 2014) dos anos de 2004, 2010 e 2014 para calibração e validação;
2. Separação em classes de uso e cobertura das imagens selecionadas;
3. Criação da matriz de transição entre 2004 e 2010;
4. Selecionar um conjunto de variáveis independentes para explicar o desmatamento, com foco na transição observada na multi matriz;
5. Calibração do modelo com as imagens de 2004 e 2010;
6. Cálculo dos pesos de evidências para as variáveis e verificar a correlação entre as variáveis explicativas escolhidas;
7. Realização da simulação de evolução do desmatamento a partir de 2010 até 2014, com finalidade de testar o modelo;
8. Verificar a similaridade (validação) entre o mapa preditivo de 2014 e observado de 2014;
9. Simulação do desmatamento até 2034;
10. Análise dos resultados

3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para este trabalho foi realizado um levantamento bibliográfico que consistiu em leituras sobre os temas mapeamento do uso e cobertura da terra, sensoriamento remoto, modelagem preditiva, entre outros, para dar base às discussões metodológicas e análise dos resultados.

A primeira etapa para a construção do modelo foi criar uma matriz de transição que descreve a mudança no uso e cobertura à medida que ocorre incrementos de tempo discreto, nesse caso, indo de 2004 até 2010, ou seja, 6 anos. A matriz de transição criada com múltiplos passos retornou o valor igual a 0,012 que significa dizer que a cada 1 incremento de tempo no modelo haverá um aumento de 0,012 de taxa de transição.

O functor utilizado para fazer o cálculo das taxas de transição foi o “*Determine Transition Matrix*”. No caso do trabalho a transição observada foi a de florestas para áreas de pastagem.

Além desses mapas um conjunto de variáveis foi selecionado para tentar explicar o desmatamento na região estudada, foram elas: áreas de intensificação a pecuária, hidrografia, estradas vegetação, áreas protegidas, presença de frigoríficos e atração urbana. Outra variável, distância para áreas de pastagens também foi utilizada. Para todas as variáveis, exceto a vegetação, por ser uma variável categórica, foi realizado o cálculo de distancia em relação ao desmatamento, por meio do functor “*Calc distance map*”. Este functor calcula a distância das células mais próximas à classe do mapa de entrada escolhida pelo usuário, neste caso a classe escolhida foi as áreas de pasto, definida como 4 no mapa de uso e cobertura reclassificado.

A etapa de calibração do modelo consistiu em encontrar os melhores ranges, incrementos ou intervalos das variáveis selecionadas, de forma a alterar o menos possível a estrutura original dos dados, para o cálculo dos pesos de evidência. O functor utilizado para os cálculos dos incrementos é o “*Determine Weights of evidence ranges*”. Depois de terem sido realizados vários testes foram encontrados os incrementos que apresentaram maior número de intervalos significantes. Os incrementos utilizados foram de 100 metros. Como a resolução adotada pelo trabalho foi também de 100 m, deve-se perceber que o

incremento adotado varia de um em um pixel. É válido frisar que as imagens de 2004 e 2010 foram utilizadas para calibrar o modelo.

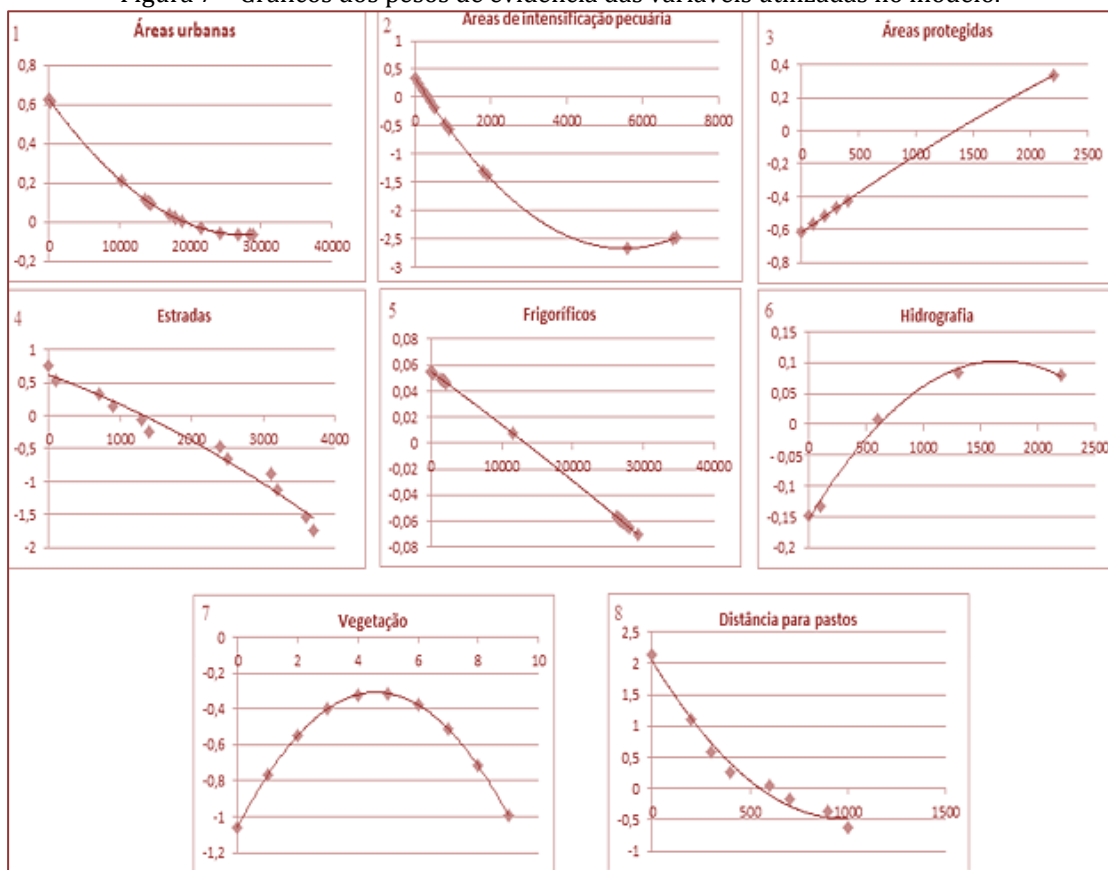
Para gerar os coeficientes dos pesos de evidência utiliza-se o functor “*Determine weights of evidence coefficients*” que é responsável por determinar o peso para variáveis espaciais selecionadas. Os pesos de evidência aqui apresentados são estimados com base na independência dos eventos (Teorema de Bayes), com elucidado na metodologia. Para esse modelo foi solicitado criar pesos para uma transição de 3 para 4, em que 3 são áreas florestadas e 4 áreas de pastagem.

Deve-se perceber que quanto mais negativo o peso menor a chance de o desmatamento ocorrer naquele pixel e quanto mais positivo, maior será a chance de desmatamento ocorrer.

Além disso, foi verificada a correlação entre as variáveis, através do functor “*Determine weights of evidence correlation*”, que devolve como resultado uma tabela de informações sobre os pares de variáveis correlacionadas. Os testes estatísticos analisado foram os testes de Cramer e Joint Uncertainty Information (BONHAM-CARTER, 1994). De acordo com estes métodos, as variáveis que apresentaram valores altos, geralmente acima de 0,6 ou 60%, apresentariam uma correlação muito forte, podendo comprometer o resultado do modelo e desta forma estas variáveis devem ser excluídas. Para o presente trabalho as variáveis utilizadas não apresentaram alta correlação e por isso nenhuma precisou ser excluída.

Na figura 7 é possível analisar as curvas de distribuição dos pesos de evidência por intervalo para cada variável utilizada no modelo.

Figura 7 – Gráficos dos pesos de evidência das variáveis utilizadas no modelo.



Para o gráfico 1 (distancia a áreas urbanas), deve-se perceber que a curva da função de regressão demonstra formato decrescente, além disso, à medida que a distancia dos centros urbanos aumenta os pesos demonstram uma tendência a diminuir. No entanto, com uma distancia aproximada de 20 km das áreas urbanas percebe-se a maior possibilidade de haver desmatamento e acima deste limiar os pesos são

negativos, diminuindo assim a chance de ocorrer desmatamento em áreas muito distantes dos centros urbanos.

Tal fato faz sentido, pois a abertura de novas pastagens seria mais difícil em áreas isoladas, pois a distância de grandes centros urbanos iria dificultar a comercialização e escoamento da madeira, gado, maquinário para abertura dos pastos, dentre outros produtos, como leite, carne e etc. Devido a isso, o desmatamento de áreas florestadas para pastos é mais improvável de ocorrer em áreas muito distantes de centros urbanos.

Em relação a distância para áreas de intensificação a pecuária (gráfico 2), é necessário deixar claro que esta variável foi utilizada pelo trabalho, pois nas imagens coletadas para área de estudo no projeto TerraClass, havia a presença de uma vasta área que não foi categorizada de forma definitiva, não deixando claro qual tipo de uso e cobertura era empregado. Desta forma, dados sobre as áreas de intensificação a pecuária bovina foram utilizados para complementar a precisão do modelo e as informações sobre a distância das áreas de pastos que foi prejudicada pela ausência de informações nas imagens coletadas.

Percebe-se que os pesos de evidência das áreas de intensificação a pecuária são positivos até o intervalo de aproximadamente 1,5 Km, o que demonstra que o desmatamento possui maiores chances de ocorrer em áreas bem próximas a pastagens previamente existentes. À medida que a distância aumenta das áreas de pasto a probabilidade de ocorrer o desmatamento diminui, assim como os pesos de evidência.

Isso pode ser explicado pelo fato de que a abertura de novas pastagens ocorre geralmente próxima a outras áreas de pastagem que existiam previamente. É mais provável e comum observar o desmatamento em uma área já desmatada e com presença de pastagens, onde a supressão vegetal ocorre para expandir os pastos. De forma contrária, é difícil observar a ocorrência de desmatamento em áreas isoladas, pois é mais custoso e trabalhoso de desmatar áreas intactas (RIVERO et al, 2011).

Os pesos de evidência para as áreas protegidas (gráfico 3) demonstram ser positivos acima de aproximadamente 1,5 Km, o que indica que em áreas mais distantes de áreas protegidas existe uma probabilidade maior de ocorrer desmatamento. Ao observar este gráfico, podemos perceber que em áreas próximas a áreas protegidas os pesos de evidência são negativos, o que demonstra que as áreas protegidas de fato exercem um papel fundamental para barrar ou diminuir a ocorrência de desmatamento, devido a maior fiscalização e leis que proíbem o desmatamento nestas áreas de conservação.

Ao analisar o gráfico dos pesos de evidência para as estradas (gráfico 4), percebe-se que os eventos relacionados ao desmatamento possuem maior chance de ocorrer a até aproximadamente 1,5 km, pois os pesos de evidência são positivos até este intervalo. Acima disso, percebe-se que os pesos demonstram valores negativos, o que diminui a chance de ocorrer desmatamento em áreas afastadas de estradas.

Esta análise corrobora o fato de que sem estradas próximas não haveria razão para realizar o desmatamento, pois o escoamento da madeira, do gado, dentre outros produtos seria um fator muito problemático, diminuindo a ocorrência desta atividade. Além disso, o deslocamento de maquinários seria muito prejudicado em áreas muito isoladas de estradas e rodovias, o que também diminuiria o desmatamento na região.

O gráfico 5 ilustra que até aproximadamente 11 Km de distância a frigoríficos percebe-se a ocorrência de desmatamento devido a proximidade com os estabelecimentos, o que facilita e incentiva a atividade da pecuária bovina. Desta forma, a proximidade com os frigoríficos pode aumentar o desmatamento, já que seriam abertas novas áreas de pastagem para criação de gado bovino em regiões próximas a frigoríficos. Além disso, a proximidade facilita o processo de escoamento da carne. Acima de 11 km os pesos de evidência são negativos, demonstrando que a probabilidade de ocorrer desmatamento é menor.

Ao analisar o gráfico dos pesos de evidência para distância da hidrografia (gráfico 6) percebe-se que os pesos são negativos até aproximadamente 500 metros, o que significa que a ocorrência do desmatamento seria menos provável nestas áreas. Acima deste limiar os pesos são positivos, o que indica que a probabilidade de ocorrer desmatamento é maior.

Este gráfico comprova a importância das Áreas de Preservação Permanentes (APP), pois a presença destas áreas de proteção em torno de rios e outros corpos hídricos, como por exemplo, nascentes, dificulta o avanço do desmatamento sobre estas áreas, devido à existência de leis e decretos que proíbem a supressão vegetal dentro das APPs.

Ao analisar o gráfico 7 percebe-se que a vegetação foi a variável que menos explicou a ocorrência de desmatamentos na área de estudo. Entre os intervalos de 10 e 12, que correspondem respectivamente a Floresta Ombrófila Densa Submontana com dossel emergente e Formação Pioneira com influência fluvial

sem palmeiras são os dois tipos de vegetação que menos explicam a ocorrência de desmatamento, possuindo os menores pesos de evidencia.

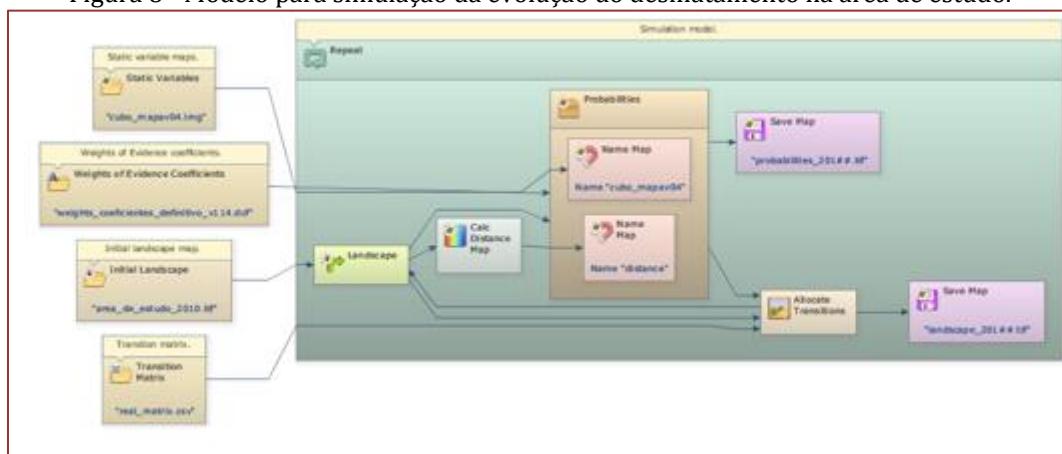
Ao analisar o gráfico 8 (distancia para áreas de pastos), percebe-se que os pesos de evidencia são positivos ate a aproximadamente 600 m de áreas de pastagem, o que demonstra que em áreas próximas a pastos pré existentes é mais provável que ocorra o desmatamento, pois é mais fácil que uma área de pasto se expanda do que a abertura de novas áreas isoladas. Desta forma, nas áreas distantes os pesos de evidencia são negativos, o que corrobora este fato para o modelo, demonstrando que em áreas afastadas de pastos é menos provável que ocorra o desmatamento.

Pode-se concluir, a partir disso, que os intervalos de variáveis que mais contribuíram para ocorrência do desmatamento foram a distancia para áreas de pastos no intervalo de 0 a 200m, distancia para áreas de intensificação a pecuária no intervalo de 0 ate 1,5 Km e distancia para áreas urbanas ate 5 Km. Os intervalos das variáveis que mais contribuíram para repelir o desmatamento foram a vegetação, a distancia para estradas acima de 3 Km, áreas protegidas no intervalo de 0 a 500 m e distância para áreas de intensificação a pecuária acima de aproximadamente 2 Km.

Para a simulação do modelo utilizou-se os dados de entrada (mapa reclassificado de 2010, o cubo de mapas que corresponde ao conjunto das variáveis utilizadas, os pesos ajustados e a matriz de transição) para configurar o modelo final (figura 17). Para esse modelo utilizou-se o funtor “*Mux Categorical Map*” que recebe o mapa inicial e armazena os mapas com as alterações de mudanças no uso de solo e probabilidade de mudança. Também foi usado o funtor “*Calc Weights of Evidence Probability Map*” que determina os mapas de probabilidade de mudança para cada intervalo de ano, indo de 2010 ate 2014.

Além disso, foi usado o “*Allocate Transitions*” que executa alocação de transições em um mapa de paisagem usando ao mesmo tempo os funtores “*Expander*” e “*Patcher*” de acordo com a matriz de transição, especificando as taxas líquidas, gerando um mapa de probabilidade e outro de paisagem com alterações na geometria das manchas das classes.

Figura 8 - Modelo para simulação da evolução do desmatamento na área de estudo.



Para determinar os valores do tamanho médio da mancha de desmatamento, tamanho da variância da mancha e isometria da mancha, foi utilizado o funtor “*Calc Mean Patch Sizes And Standard Deviations*”. Este funtor analisa a diferença na estrutura da paisagem por meio das métricas das classes calculadas (métricas da paisagem) e, portanto retorna o valor médio do avanço da mancha de desmatamento em hectares e o desvio padrão do avanço da mancha. Para calcular a variância, o valor fornecido pelo funtor do desvio padrão foi elevado ao quadrado. O tamanho médio da mancha foi de 15,0488 ha, o tamanho da variância foi de 9.023 e a isometria utilizada foi de 1.

Os mapas de probabilidade e paisagem para os anos de 2010 e 2014 demonstram que as áreas que possuem maior probabilidade de ocorrer desmatamento ou transição de floresta para pasto ocorrem nas bordas das áreas de pastagens como ilustrado pela figura 16, o que corrobora o fato de que o desmatamento para pastagens são mais prováveis de ocorrer em áreas já previamente ocupadas por outras pastagens. É mais provável observar um fenômeno de expansão das áreas de pasto do que ocorrer a abertura de novas fronteiras isoladas.

Figura 9 - Mapas de probabilidade dos anos de 2010 e 2014

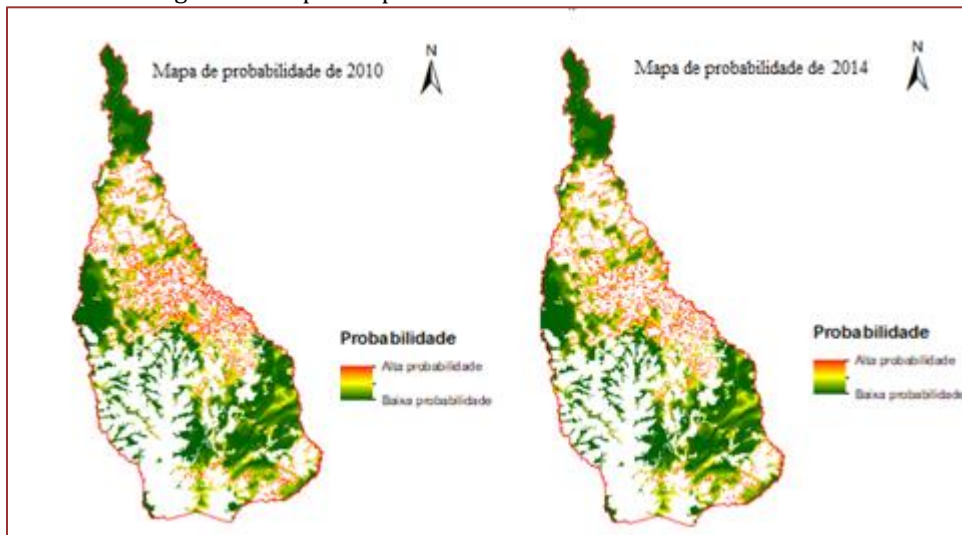
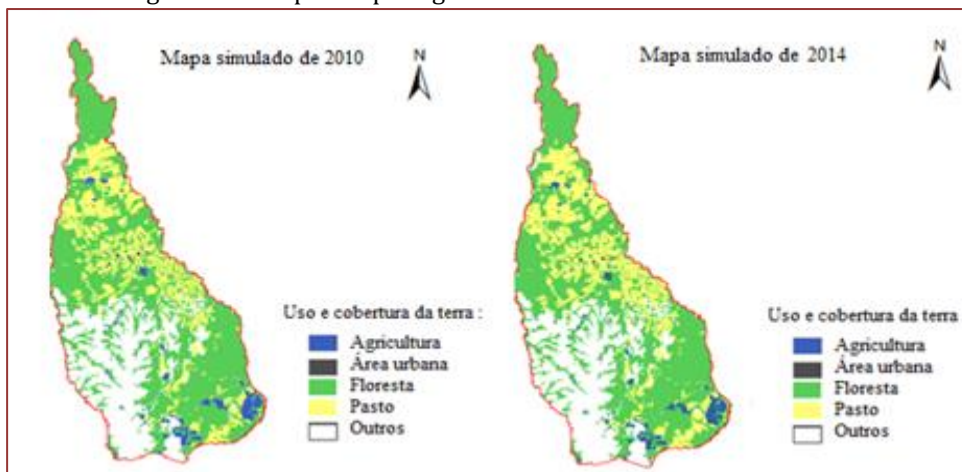


Figura 10 – Mapas de paisagem simulados dos anos 2010 e 2014



A validação do modelo foi feita a partir do funtor “*Calc Mult Window Similarity Of Differences*”, que utiliza uma função de decaimento exponencial, que de acordo com Constanza (1989), realiza uma comparação entre mapas em tamanhos de janelas crescentes. Neste trabalho, a similaridade foi calculada utilizando como mapa inicial o mapa de uso e cobertura da terra de 2010 e foi realizada uma comparação entre o mapa simulado pelo modelo para ano de 2014 e a imagem de uso e cobertura da terra coletada do projeto TerraClass para o ano de 2014. Além disso, a similaridade foi verificada ate uma janela de 11x11. É válido acrescentar que o trabalho considera como um bom resultado de validação por similaridade o valor utilizado por Delaneze (et al. 2014) igual ou acima de 0,5.

A Tabela 1 mostra que para janelas maiores os valores de máxima e mínima similaridade entre os mapas. Foi possível identificar que com uma janela de 11x11 a mínima similaridade de 0,14 e a máxima similaridade foi de 0,70. Além disso, para verificar o quanto as variáveis utilizadas pelo modelo explicam a ocorrência de desmatamento de florestas para áreas de pastagem foi realizado um modelo nulo (sem as variáveis explicativas) utilizando os mesmos parâmetros de “*patcher*” e “*expander*” que o modelo anterior.

Para o modelo nulo foi dado a cada pixel o valor meio (0,5) para assim criar um modelo aleatório, onde o desmatamento ocorre de forma aleatória. A validação por similaridade foi testada para o modelo nulo que retornou um valor de similaridade muito baixo, mesmo com uma janela de 11x11, como demonstrado pela tabela 2.

Tabela 1 – Similaridade, com múltiplas janelas, entre o mapa previsto e o mapa observado para 2014.

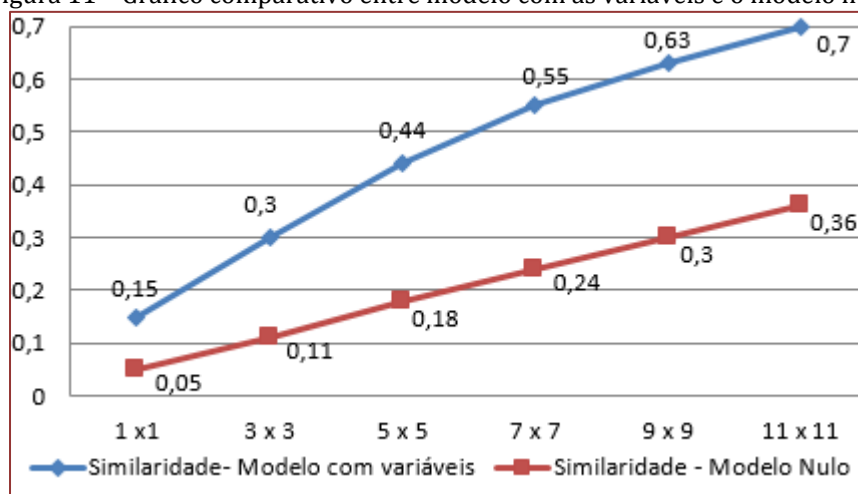
Similaridade do modelo com variáveis		
Janela	Similaridade Mínima	Similaridade Máxima
1 x 1	0.069846	0.154924
3 x 3	0.085606	0.308822
5 x 5	0.100149	0.444180
7 x 7	0.114282	0.551332
9 x 9	0.127856	0.638967
11 x 11	0.140436	0.708906

Tabela 2 – Similaridade, com múltiplas janelas do modelo nulo.

Similaridade do modelo nulo		
Janela	Similaridade Mínima	Similaridade Máxima
1 x 1	0.023808	0.052809
3 x 3	0.035274	0.116135
5 x 5	0.047110	0.182382
7 x 7	0.060581	0.246201
9 x 9	0.075375	0.305860
11 x 11	0.090958	0.360327

Através da análise das tabelas percebe-se que sem as variáveis o modelo perde grande parte de seu poder explicativo, pois enquanto a similaridade máxima do modelo com as variáveis foi de 0,70, enquanto que a do modelo nulo foi de 0,36. Ao comparar os dois modelos (figura 18), observa-se, para uma janela de 11x11, que as variáveis utilizadas explicaram aproximadamente 34% da ocorrência de desmatamento na região estudada.

Figura 11 – Gráfico comparativo entre modelo com as variáveis e o modelo nulo



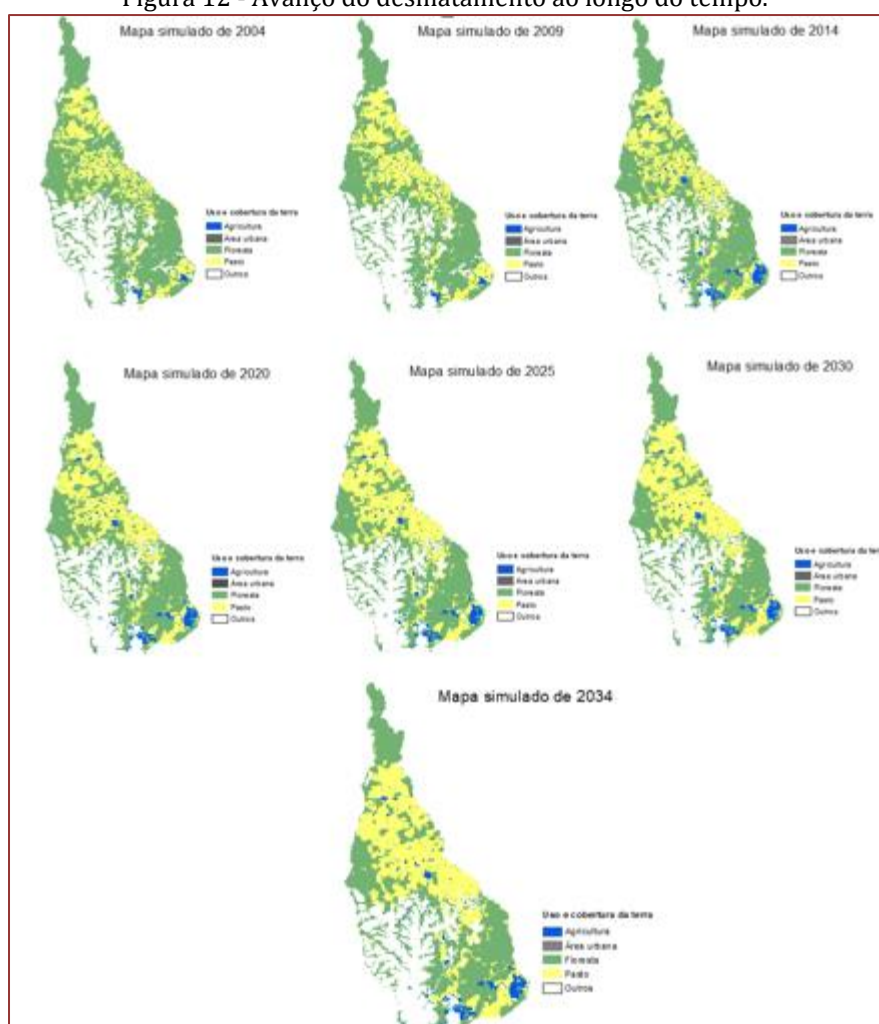
Depois de encontrar um resultado aceitável de validação o modelo foi utilizado para estimar a evolução do desmatamento para trinta anos. Os mesmos parâmetros foram aplicados a este modelo e por meio do funtor “For”, repetimos o modelo 30 vezes, resultando em 30 mapas de 2004 a 2034. Na Figura 19 pode ser visto a evolução do desmatamento a cada 5 anos e a Tabela 3 apresenta a diminuição de floresta, de um total inicial de 873.976 hectares.

Tabela 3 - Redução de florestas a cada 5 anos (Ha)

Ano	Desmatamento (Ha)
2004 - 2009	49.188
2009 - 2014	14.720
2014 - 2020	51.127
2020 - 2025	40.927
2025 - 2030	34.428
2030 - 2034	26.895

Observando a Figura 19 verifica-se que a evolução do desmatamento na área de estudo ocorre próximo de áreas anteriormente ocupadas por pastagens, ou áreas previamente desmatadas.

Figura 12 - Avanço do desmatamento ao longo do tempo.



4.CONCLUSÃO

Conclui-se que o modelo possui um ajuste aceitável para modelar a evolução do desmatamento na área de estudo e as variáveis utilizadas explicam bem o processo de transição de florestas para pastos. Neste contexto, o desmatamento tem maiores chances de ocorrer principalmente em áreas próximas a pastagens e a estradas e com distancia acima de 1,5 Km de áreas preservadas. Com isso percebemos a influência dos pesos atribuídos as variáveis: distancia para áreas de pasto, distancia para áreas de intensificação pecuária, distancia para áreas preservadas e distancia para estradas.

Verificou-se também que as áreas protegidas exercem papel fundamental para proteção e conservação das florestas, a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos nelas existentes. A ocorrência de desmatamentos é muito menor em áreas próximas a unidades de conservação, já que o uso deste território é restrito, garantindo que as atividades antrópicas sejam limitadas nestas áreas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Aguiar, A.P.D. Modelagem de mudanças de uso e cobertura do solo na Amazônia: Questões Gerais. In: Tutorial de Introdução à Modelagem Dinâmica Espacial. São José dos Campos: MCT/INPE. 2003.
- [2] Atlas nacional do Brasil. Milton Santos/ IBGE, Diretoria de Geociências. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.
- [3] Barbosa et. al. Cenários para pecuária de corte amazônica. 1.ed. - Belo Horizonte : Ed: IGC/UFM, 2015. 146p.
- [4] Bonham-Carter, G.F. Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS. New York, 1994 - Pergamon/Elsevier, 398 p.
- [5] Brasil. Ministério da Justiça. Fundação Nacional do Índio. Procedimentos para identificação de terras indígenas. Manual do Antropólogo-Coordenador, 1997. Disponível em: . Acesso em: 11 mar. 2011.
- [6] Brasil. Ministério das Minas e Energia. Secretaria- Geral. Projeto Radambrasil. Folha SD.21 Cuiabá; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1982.
- [7] Christofolletti, A. Modelagem de Sistemas Ambientais. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 236p. 1999.
- [8] Costanza, R., 1989. Model goodness of fit: a multiple resolution procedure. *Ecol. Modelling*, 47: 199--215.
- [9] Delaneze, M. E.; Riedel, P. S.; Marques, M. L.; Ferreira, M. V.. Modelagem dinâmica espacial para o monitoramento do crescimento urbano no entorno do duto orbel. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, N0 66/3, p. 473-484, Mai/Jun/2014.
- [10] De Castro, César Nunes. A agropecuária na região Centro-Oeste: Limitações ao desenvolvimento e desafios futuros. Texto para Discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2014.
- [11] Cepea, Esalq. USP. Centro de Estudos em Economia Aplicada, 2018.
- [12] Cidades, I.B.G.E. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=510792&search=mato-grosso|Brasnorte>> . Acesso em: Junho de 2019.
- [13] Hagen, A. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. *International Journal of Geographical Information Science*, 2003. Vol. 17, nº 3 , 235-249, DOI: 10.1080/13658810210157822
- [14] MAS, Jean-Francois; Kolb, Melanie, Paegelow, Martin,; Olmedo, Maria Teresa Camacho; Houet, Thomas. Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. *Environmental Modelling and Software*, Elsevier, 2014, pp.94-111. Disponível em <10.1016/j.envsoft.2013.09.010>. <hal-01187569>. Acesso em: 15 set. 2018.
- [15] Lambin, Eric F.; GEIST, Helmut J. Land-use and land-cover change: local processes and global impacts. Springer Science & Business Media, 2008.
- [16] Lima et. al. Dinamica Ego e Land Change Modeler para simulação de desmatamento na Amazônia brasileira: análise comparativa. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.
- [17] Oliveira, Marianne Silva. Detecção de mudanças de uso e cobertura da terra no Sinclinal Moeda (MG) no período de 1991 a 2011 e previsões de mudanças futuras através de modelo espacial de simulação. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2012.
- [18] Pnud – Programa das Nações Unidas Para o Desenvolvimento; Ipea -Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada; Fundação João Pinheiro. Atlas de desenvolvimento humano do Brasil de 2013. 2013. Disponível em:<http://atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m>. Acesso em: maio de 2019.
- [19] Projeto MapBiomias – Coleção 3.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, acessado em 15 jun. 19 através do link: <http://mapbiomas.org>
- [20] Sawyer, Donald R. Ocupación y desocupación de la frontera agrícola en el Brasil: un ensayo de interpretación estructural y espacial. In: Expansión de la frontera agropecuaria y medio ambiente de América Latina. Centro Internacional de Formación en Ciencias Ambientales, CIFCA, 1983.
- [21] Rivero, S.; Almeida, O.; Ávila, S.; Oliveira, W. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. *Nova Economia*, v. 19, n. 1, 26 jan. 2011.

- [22] Soares-Filho, B. S., Rodrigues, H. O. , Costa, W.L. Modeling Environmental Dynamics with Dinamica Ego. 2 ed (2010). Belo Horizonte, 2009. 120 p.
- [23] Soares-Filho, B. S.; Cerqueira, G. C.; Pennachin, C. L. Dinamica – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling*, v. 154, p. 217-235. 2002.
- [24] Soares-Filho, B. S.a; Garcia, R. A.; Rodrigues, H.; Moro, S.; Nepstad, D. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: Batistella, Mateus; Alves, Diogenes; Moran, Emilio. (Org.). *Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação*. São Paulo, 2008, v. 1. Soares-Filho, B. S.; Rodrigues, H; Follador, M. A hybrid analytical-heuristic method for calibrating land-use change models. *Environmental Modelling & Software*. V. 43, May 2013, P. 80-87
- [25] Soares-Filho, B.S.; Alencar, A.A.; Nepstad, D.C.; Cerqueira, G.C.; Diaz, M. Del 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* 10(5): 745-764, 2004.