



**MODELAGEM DA DINÂMICA DO DESMATAMENTO  
NA REGIÃO DO MATOPIBA ATÉ 2050**

**ADRIANO SARAIVA AGUIAR**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA-UnB**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**MODELAGEM DA DINÂMICA DO DESMATAMENTO  
NA REGIÃO DO MATOPIBA ATÉ 2050**

**ADRIANO SARAIVA AGUIAR**

**ORIENTADOR: Dr. ERALDO APARECIDO TRONDOLI MATRICARDI**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**PUBLICAÇÃO: PPGEFL.DM 274/2016  
BRASÍLIA/ DF MARÇO DE 2016**

**Brasília, 29 de março de 2016**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

MODELAGEM DA DINÂMICA DO DESMATAMENTO  
NA REGIÃO DO MATOPIBA ATÉ 2050

ADRIANO SARAIVA AGUIAR

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS FLORESTAIS.

APROVADO POR:

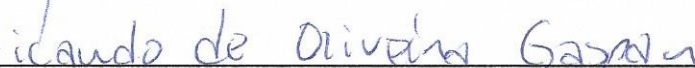


---

Prof. Dr. ERALDO APARECIDO TRONDOLI MATRICARDI  
(Departamento de Engenharia Florestal - UnB)  
(ORIENTADOR)

---

Prof. Dr. CARLOS HENKE DE OLIVEIRA  
(Instituto de Ciências Biológicas, UnB)  
(EXAMINADOR EXTERNO)



---

Prof. Dr. RICARDO DE OLIVEIRA GASPAR  
(Departamento de Engenharia Florestal - UnB)  
(EXAMINADOR INTERNO)

---

Prof. Dr. HUMBERTO ANGELO  
(Departamento de Engenharia Florestal - UnB)  
(SUPLENTE)

Brasília, 29 de março de 2016

## FICHA CATALOGRÁFICA

SAG282 Saraiva Aguiar, Adriano  
m Modelagem da dinâmica do desmatamento na região do MATOPIBA até 2050 / Adriano Saraiva Aguiar; orientador Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi. -- Brasília, 2016.  
95 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Ciências Florestais) -- Universidade de Brasília, 2016.

1. Modelagem Ambiental. 2. Sistema de informação geográfica . 3. Sensoriamento Remoto. 4. Fragmentação do Cerrado. 5. Projeção do desmatamento na região do MATOPIBA. I. Aparecido Trondoli Matricardi, Eraldo , orient. II. Título.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGUIAR, A. S. 2016. **Modelagem da dinâmica do desmatamento na região do MATOPIBA até 2050**. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.DM-274/2016. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 95 f.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Adriano Saraiva Aguiar

TÍTULO: Modelagem da dinâmica do desmatamento na região do MATOPIBA até 2050.

GRAU: Mestre

ANO: 2016

É concedido à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Adriano Saraiva Aguiar  
*adrianoaguiar2@hotmail.com*

## **AGRADECIMENTOS**

Antes de todos a agradeço a Deus, a minha família, amigos e colegas por todo o apoio. Ao professor Eraldo Matricardi, pela orientação e confiança em minha pessoa em desenvolver este trabalho. Agradeço imensamente ao Msc. Valderli Piontekowski, pela ajuda com o DINÂMICA EGO. Aos professores do Programa de mestrado em Ciências Florestais do departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília. À coordenação do Programa de mestrado em Ciências Florestais, pela atenção, suporte e disposição na prestação dos serviços. Agradeço também aos membros da banca, que dedicaram seu tempo para colaborar com o trabalho. Por fim, a todos que de uma forma ou outra colaboraram para que se tornasse possível essa pesquisa e concluísse o curso de mestrado.

## RESUMO

### MODELAGEM DA DINÂMICA DO DESMATAMENTO NA REGIÃO DO MATOPIBA ATÉ 2050.

**Autor:** Adriano Saraiva Aguiar

**Orientador:** Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

**Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais**

**Brasília, 29 de março de 2016.**

Os processos de conversão nos tipos de uso da terra no bioma Cerrado contribuíram para reduzir mais da metade de sua vegetação natural até o presente. Na região do MATOPIBA (MAranhão, TOcantins, PIAuí e BAhia) a maior parte do desmatamento está relacionada às atividades de expansão da produção de commodities agrícola. O monitoramento do desmatamento no Cerrado é possível com o uso de dados de sensoriamento e ferramentas de geoprocessamento, que associados ao desenvolvimento de modelos espacialmente explícitos podem contribuir para melhor compreensão do processo de desmatamento, permitindo simular as prováveis trajetórias futuras deste fenômeno. No presente estudo, foram estimadas as acurácias das bases de dados do desmatamento disponibilizadas pelo PMDBBS-IBAMA/CSR (Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélites), que foram utilizadas como dados de entrada no programa DINÂMICA EGO para a modelagem futura do desmatamento na região do MATOPIBA. Para a modelagem do desmatamento foram construídos e assumidos três cenários (tendencial, otimista e pessimista) de desmatamento para a região de estudo até 2050. No cenário otimista, foram assumidas baixas taxas de desmatamento (0,90% a.a.), observadas entre 2008 a 2010, e a efetiva implementação da Lei Federal Nº 9.985/2000, que estabelece o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza-SNUC, e da Lei Federal Nº 12.651/2012, que alterou o Código Florestal. No cenário tendencial, também denominado “o mesmo de sempre”, foi assumida a perspectiva atual de taxa de desmatamento (1,20% a.a.). No cenário pessimista assumiu-se a maior taxa de desmatamento (1,30% a.a.), observada entre 2002 a 2008 na região de estudo, além da ausência da efetiva fiscalização e monitoramento ambiental. Os resultados dos cenários simulados indicam um aumento de 14,1%, 21% e 21,7% do total desmatado na região do MATOPIBA até 2050 assumindo-se os cenários otimista, tendencial e pessimista, respectivamente. Tais resultados implicariam na perda de 29,1 milhões, 34,1 milhões, e 34,6 milhões de hectares de vegetação nativa nos cenários otimista, tendencial e pessimista, respectivamente, até 2050 na área de estudo. Como consequência do desmatamento simulado, o número total de fragmentos da vegetação natural deverá aumentar drasticamente na região em todos os cenários estudados, passando de aproximadamente 21 mil fragmentos observados em 2010 para mais de 122 mil fragmentos simulados no cenário (otimista) em 2050. Nos piores cenários (tendencial e pessimista) a fragmentação poderia ser superior a 181 mil fragmentos até 2050, com severas implicações negativas aos recursos naturais e comprometimento dos serviços ecossistêmicos da região (por exemplo, os corredores ecológicos, a biodiversidade e os recursos hídricos). Por fim, entende-se que os resultados deste estudo podem contribuir para o poder público, sociedade civil organizada e iniciativa privada para a reflexão e tomada de medidas mais efetivas para evitar sérios problemas socioambientais num futuro breve na região de estudo.

**Palavras chave:** DINÂMICA EGO, modelagem espacial, cenários futuros.

## **ABSTRACT**

### **MODELING OF THE DEFORESTATION DYNAMICS IN THE MATOPIBA REGION UNTIL 2050.**

**Author: Adriano Saraiva Aguiar**

**Advisor: Professor. Ph.D. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi**

**Postgraduate Programme in Forest Sciences**

**Brasilia, March 29 of 2016.**

The deforestation process has been responsible to destroy more than half of native vegetation in the Cerrado biome by 2013. In the MATOPIBA region, spatially located in the Brazilian states of **MA**ranhão, **TO**cantins, **PI**auí and **BA**hia), most of the deforestation occurred due to the expansion of agricultural commodities. The deforestation monitoring of Chaparral vegetation has been conducted based on remotely sensed data and geoprocessing tools, which associated to spatially explicit models may contribute to better understand and model this land use. In this study, we estimated the accuracy of deforestation database provided by PMDBBS-IBAMA/CSR (Project for Monitoring the Deforestation of Brazilian biomes by satellites). That database was used as input data of the DINÂMICA EGO software to predict the future deforestation in the MATOPIBA region. The deforestation model applied in this analysis was based on three future scenarios (business as usual, optimist, pessimist) for the study region between 2011 and 2050. For the optimist scenario it was assumed a low deforestation rate ( $0,9\% \text{ year}^{-1}$ ), which was observed between 2008 and 2010, and a successful enforcement of the Brazilian Federal Law 9.985/2000 (National System of Protected Areas, locally known as SNUC) and the Federal Law 2.651/2012 (Brazilian Forest Code). A more conservative deforestation pattern was assumed in the “business as usual” scenario with strong environmental law enforcement and intermediary deforestation rate ( $1.2\% \text{ year}^{-1}$ ). In the pessimist scenario, a higher deforestation rate ( $1.3\% \text{ year}^{-1}$ ) was assumed, lacking of environmental law enforcement and monitoring. These study results predicted an increase of approximately 14%, 21% and 22% of the total deforested land in the MATOPIBA region by 2050 in optimist, business as usual and pessimist scenarios, respectively. It estimates that 29.1, 34.1 and 34.6 million hectares will be deforested assuming the optimist, business as usual, and pessimist scenarios, respectively. Based on these study results, we predict that the cerrado fragmentation will drastically increase in the MATOPIBA region at any of studied scenario. The greatest forest fragmentation was estimated for the business as usual scenario (183.595 patches), immediately followed by the pessimist scenario (181.551 patches) and the optimist scenario (122.651 patches). A high fragmentation level (20.914 patches) was observed in 2010. In the worst scenarios (trend and pessimistic), the cerrado fragmentation can be greater than 181,1000 patches by 2050, which will heavily impact natural resources and ecosystem services (e.g. the ecological corridors, biodiversity, and water resources) in the study region. Finally, this study results can contribute to the governmental organizations, organized civil society, and private sector to define public policies to reduce deforestation rates and to mitigate social and environmental problems in the near future in the study area.

**Key-words:** DINÂMICA EGO, spatial modeling, future scenarios.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. JUSTIFICATIVA.....	14
3. OBJETIVOS.....	15
3.1. PRINCIPAL.....	15
3.2. ESPECÍFICOS.....	15
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
4.1. BIOMA CERRADO.....	15
4.2. DESMATAMENTO DO CERRADO.....	17
4.3. FRAGMENTAÇÃO E MÉTRICAS DA PAISAGEM.....	20
4.4. MATOPIBA.....	22
4.4.1. Quadro agrícola.....	22
4.4.2. Quadro agrário.....	22
4.4.3. Unidades de Conservação (UCs).....	23
4.4.4. Terras Indígenas (TIs).....	24
4.4.5. Assentamentos Rurais (ARs).....	24
4.4.6. Caracterização Ambiental.....	24
4.4.6.1. Bioma.....	24
4.4.6.2. Relevo.....	24
4.4.6.3. Hidrografia.....	25
4.4.6.4. Solos.....	25
4.4.7. Quadro de Infraestrutura.....	25
4.5. <i>SOFTWARE</i> DINÂMICA EGO.....	25
4.6. MODELOS DINÂMICOS DE SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS.....	26
5. METODOLOGIA.....	27
5.1. ÁREA DE ESTUDO.....	27
5.2. BASE DE DADOS.....	28
5.3. MÉTODOS.....	29
5.3.1. Análise da acurácia dos mapas de desmatamento do PMDBBS- IBAMA/CSR.....	29
5.3.2. Dados de entrada no modelo de simulação do desmatamento.....	32
5.3.3. Preparação dos mapas da paisagem inicial e final.....	33
5.3.4. Regionalização da área de estudo.....	34
5.3.5. Variáveis espaciais do modelo de simulação do desmatamento.....	35



5.3.5.1.	Cobertura Vegetal .....	36
5.3.5.2.	Solos .....	37
5.3.5.3.	Áreas Protegidas.....	38
5.3.5.4.	Distância das rodovias principais e secundárias.....	41
5.3.5.5.	Distância de ferrovias.....	42
5.3.5.6.	Distância dos rios principais.....	43
5.3.5.7.	Distância de centros urbanos.....	44
5.3.5.8.	Distância euclidiana dos Assentamentos Rurais.....	45
5.3.5.9.	Altitude .....	46
5.3.5.10.	Declividade.....	47
5.3.6.	Modelagem espacialmente explícita do desmatamento.....	48
5.3.6.1.	Geração da matriz de transição .....	49
5.3.6.2.	Calibração do modelo .....	49
5.3.6.3.	Criar e aplicar um modelo de simulação do desmatamento.....	51
5.3.6.4.	Validação do modelo .....	51
5.3.6.5.	Obtenção dos cenários futuros .....	53
5.3.7.	ANÁLISE DA FRAGMENTAÇÃO DA PAISAGEM .....	54
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	56
6.1.	ACURÁCIA DA BASE DE DADOS DO DESMATAMENTO PARA A ÁREA DE ESTUDO .....	56
6.2.	PARÂMETROS DE ENTRADA DO MODELO .....	57
6.3.	SIMULAÇÃO E VALIDAÇÃO.....	62
6.4.	CENÁRIOS FUTUROS MODELADOS.....	64
6.4.1.	Áreas protegidas.....	70
6.5.	FRAGMENTAÇÃO DO CERRADO.....	72
6.5.1.	Métricas de Área e Densidade de Borda .....	78
6.5.2.	Métricas de área de interior .....	79
6.5.3.	Métricas de forma .....	83
6.5.4.	Métricas de agregação .....	84
7.	CONCLUSÃO .....	87
	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	88

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Porcentagem da área dos Estados componentes do MATOPIBA coberta originalmente pelo bioma Cerrado. ....	16
<b>Tabela 2.</b> Porcentagem do desmatamento em cada estado brasileiro. ....	18
<b>Tabela 3.</b> Base de dados utilizada na modelagem do desmatamento da região do MATOPIBA. ....	28
<b>Tabela 4.</b> Classes do coeficiente <i>Kappa</i> . ....	31
<b>Tabela 5.</b> Métricas utilizadas na quantificação da estrutura da paisagem na região do MATOPIBA. ....	55
<b>Tabela 6.</b> Matriz de confusão para a classificação do desmatamento de 2010 do PMDBBS-IBAMA/CRS comparados com observações visuais em duas cenas <i>RapidEye</i> de 2011. ....	56
<b>Tabela 7.</b> Resultado da validação do índice de similaridade Fuzzy com diferentes dimensões de janela. ....	64
<b>Tabela 8.</b> Percentuais de desmatamento simulado até 2050 para a área de estudo e por Estado que compõe a região do MATOPIBA. ....	70
<b>Tabela 9.</b> Área total de remanescentes de vegetação natural, área média, desvio padrão, maior remanescente de vegetação nativa observado e simulado nos cenários tendencial, otimista e pessimista para a região do MATOPIBA. ....	77
<b>Tabela 10.</b> Métricas de Área/Borda do Cerrado para os três cenários no MATOPIBA. ....	79
<b>Tabela 11.</b> Área total (CA), Área de Interior Total (TCA) (em hectares) e porcentagem de Área de Interior (%CA) dos remanescentes de vegetação nativa para os três cenários no MATOPIBA. ....	80
<b>Tabela 12.</b> Número de manchas (NP), número de área de interior disjunta (NDCA), área média de núcleo (CORE_MN) e Índice médio da área de núcleo (CAI_MN) dos remanescentes de Cerrado no MATOPIBA. ....	82

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Limite e localização do bioma Cerrado conforme definição do IBGE e MMA (2004). .....	16
<b>Figura 2.</b> Localização da área de estudo (região do MATOPIBA). .....	27
<b>Figura 3.</b> Localização das cenas do satélite RapidEye, onde foram aleatorizados pontos para avaliação da acurácia das classificações do desmatamento na região do MATOPIBA. ....	30
<b>Figura 4.</b> Fluxograma dos procedimentos no programa DINÂMICA EGO para modelagem do desmatamento na região do MATOPIBA. ....	32
<b>Figura 5.</b> Dinâmica do desmatamento observada na região do MATOPIBA em 2002, 2008 e 2010 pelo PMDBBS-IBAMA/ CSR. ....	34
<b>Figura 6.</b> Limites das 65.535 otobacias (nível 6) utilizadas para regionalização da modelagem do desmatamento na região do MATOPIBA. ....	35
<b>Figura 7.</b> Distribuição espacial dos tipos de vegetação na região do MATOPIBA. ....	37
<b>Figura 8.</b> Distribuição espacial das classes de solos na região do MATOPIBA. ....	38
<b>Figura 9.</b> Localização das Terras Indígenas presentes no MATOPIBA. ....	39
<b>Figura 10.</b> Localização das Unidades de Conservação de Proteção Integral presentes no MATOPIBA. ....	40
<b>Figura 11.</b> Localização das Unidades de Conservação de Uso Sustentável presentes no MATOPIBA. ....	41
<b>Figura 12.</b> Distância euclidiana das rodovias principais e secundárias na região do MATOPIBA. ....	42
<b>Figura 13.</b> Distância euclidiana das ferrovias na região do MATOPIBA. ....	43
<b>Figura 14.</b> Distância euclidiana dos principais rios na região do MATOPIBA. ....	44
<b>Figura 15.</b> Distância euclidiana das sedes municipais (atração urbana) na região do MATOPIBA. ....	45
<b>Figura 16.</b> Distância euclidiana dos Assentamentos Rurais na região do MATOPIBA. ....	46
<b>Figura 17.</b> Altitude representada pelo Modelo de Elevação Digital TOPODATA para a região MATOPIBA. ....	47
<b>Figura 18.</b> Declividade derivada do Modelo de Elevação Digital TOPODATA da região do MATOPIBA. ....	48

<b>Figura 19.</b> Functores do DINÂMICA EGO onde são determinados os parâmetros para processamento das faixas e cálculo dos pesos de evidência.....	50
<b>Figura 20.</b> Método de comparação <i>Fuzzy</i> usando mapa de diferenças e uma função de decaimento constante.....	52
<b>Figura 21.</b> Desmatamento estimado para a região do MATOPIBA pelo PMDBBS-IBAMA/CRS em 2002, 2008 e 2010.....	57
<b>Figura 22.</b> Matrizes de transição de passo múltiplo (taxa anual) do desmatamento adotadas para os cenários Tendencial, Otimista e Pessimista. ....	57
<b>Figura 23.</b> Matrizes de transição de passo único (período de análise) do desmatamento correspondentes aos cenários Tendencial, Otimista e Pessimista. ....	58
<b>Figura 24.</b> Valores dos pesos de evidência para os intervalos de distância da variável dinâmica. ....	58
<b>Figura 25.</b> Pesos de Evidência derivados dos mapas de variáveis e aplicados na construção dos cenários futuros do desmatamento no MATOPIBA.....	61
<b>Figura 26.</b> Distribuição espacial da probabilidade de desmatamento (vegetação nativa para áreas desmatadas) estimado com base na série histórica de desmatamento ocorrida entre 2002 e 2010 para a região do MATOPIBA.....	63
<b>Figura 27.</b> Distribuição espacial das áreas que seriam desmatadas (46,7%) entre 2011 e 2050, assumindo-se as condições previstas no cenário tendencial na região do MATOPIBA. ....	65
<b>Figura 28.</b> Distribuição espacial das áreas que seriam desmatadas (39,8%) entre 2011 e 2050, assumindo-se as condições previstas no cenário otimista na região do MATOPIBA. ....	66
<b>Figura 29.</b> Distribuição espacial das áreas que seriam desmatadas (47,4%) entre 2011 e 2050 na região do MATOPIBA assumindo as condições previstas no cenário pessimista. ....	67
<b>Figura 30.</b> Quantidade de áreas desmatadas em hectares para cada cenário de estudo até 2050. ....	69
<b>Figura 31.</b> Quantidade de áreas desmatadas em hectares para as Unidades de Conservação em cada cenário de estudo até 2050.....	71
<b>Figura 32.</b> Fragmentação da vegetação de cerrado em classes de diferentes tamanhos (hectares) em 2010.....	72
<b>Figura 33.</b> Fragmentação da vegetação de cerrado em classes de diferentes tamanhos (hectares) em 2050 na região do MATOPIBA, simuladas na conjuntura prevista no cenário tendencial. ....	73
<b>Figura 34.</b> Fragmentação do Cerrado em classes de diferentes tamanhos (hectares) até o ano de 2050 no MATOPIBA, simuladas na conjuntura prevista no cenário otimista....	74

<b>Figura 35.</b> Fragmentação do Cerrado em classes de diferentes tamanhos (hectares) até o ano de 2050 no MATOPIBA, simuladas na conjuntura prevista no cenário pessimista.	74
<b>Figura 36.</b> Distribuição da soma das áreas em hectares nas diferentes classes em 2011 e 2050, nos cenários tendencial, otimista e pessimista.....	76
<b>Figura 37.</b> Porcentagem da paisagem ocupada pela vegetação natural (PLAND) e porcentagem da paisagem ocupada pela área de interior dos remanescentes de vegetação nativa (CPLAND) no cenário otimista projetado para a região do MATOPIBA até 2050. ....	81
<b>Figura 38.</b> Porcentagem da paisagem ocupada pela vegetação natural (PLAND) e porcentagem da paisagem ocupada pela área de interior dos remanescentes de vegetação nativa (CPLAND) no cenário pessimista projetado para MATOPIBA até 2050.....	81
<b>Figura 39.</b> Porcentagem da paisagem ocupada pela vegetação nativa (PLAND) e porcentagem da paisagem ocupada pela área de interior dos remanescentes de vegetação nativa (CPLAND) no cenário tendencial projetado para MATOPIBA até 2050. ....	81
<b>Figura 40.</b> (A, B e C) Média do Índice de Dimensão Fractal - FRAC_MN e (D, E, F) Média do Índice de Círculo Circunscrito - CIRCLE_MN dos remanescentes de Cerrado dos cenários otimista, tendencial e pessimista projetados para a região do MATOPIBA. ....	84
<b>Figura 41.</b> (A, B e C) Distância média Euclidiana do Vizinho mais Próximo - ENN_MN, (D, E e F) Desvio Padrão da Métrica de Distância Euclidiana do Vizinho mais Próximo - ENN_SD e (G, H e I) Intervalo do Vizinho mais Próximo - ENN_RA. ....	86

## 1. INTRODUÇÃO

A região do MATOPIBA, atualmente uma das mais promissoras do agronegócio no Brasil, vem apresentando safras crescentes de grãos e outros produtos oriundos da agricultura, tornando-se uma grande fronteira agrícola do Brasil na última década. O termo MATOPIBA combina em suas dimensões quatro Estados brasileiros, reunindo áreas do **MA**ranhão, **TO**cantins, **PI**auí e **BA**hia, partindo das iniciais destes quatro Estados à demarcação da fronteira agrícola do Brasil (MIRANDA et al., 2014a).

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) a região do MATOPIBA tem o preço da terra o grande motivador da expansão agrícola, sendo bastante produtiva e o volume de grãos produzido devem ultrapassar as expectativas nos próximos anos (BRASIL, 2015). Além disso, dados do estudo “Projeções do Agronegócio, Brasil 2014/2015 a 2024/2025”, indicam que a região do MATOPIBA deverá produzir 22,5 milhões de toneladas de grãos até 2025, um aumento de 16% em relação à safra de 2014/15.

Paralelo ao destaque econômico e produtivo no cenário nacional tem-se a preocupação ambiental com a região do MATOPIBA. Esta região se encontra no bioma Cerrado e apesar da sua dimensão e importância, o Cerrado é um dos ecossistemas mais ameaçados do planeta. O processo de ocupação dos solos deste bioma tem provocado, nas últimas décadas, transformações drásticas em sua paisagem natural (SILVA, 2000).

Segundo o INPE, mais de 41% da vegetação do Cerrado foi desmatada até 2013 (INPE, 2015). Tal proporção de desmatamento do bioma Cerrado está relacionada com suas vastas planícies, boas condições climáticas, solos de fácil correção e mão de obra barata que favoreceram o surgimento do celeiro agrícola atual (CHAVEIRO e BARREIRA, 2010).

O desmatamento da vegetação do Cerrado provoca vários danos ambientais. Além da destruição das áreas naturais convertidas em uso antrópico são degradados vários benefícios e serviços ecossistêmicos, incluindo, conservação do solo, a manutenção do clima, fauna, a regularização do estoque de carbono, entre outros (AMAZONAS, 2009).

O monitoramento do desmatamento de áreas naturais é essencial para o bioma Cerrado. As informações de sistemas de monitoramento possibilitam a elaboração e implementação de planos de conservação, como implantação de corredores ecológicos, que são essenciais no controle de fluxos biológicos na paisagem, reduzindo os riscos de extinção local e favorecendo recolonizações (METZGER, 2003).

O diagnóstico da vegetação de determinada área requer, entretanto, o conhecimento dos problemas ambientais decorrentes da ocupação e uso do solo. Esta informação pode ser obtida pelo estudo da utilização do solo, da água e da biodiversidade, em áreas geográficas definidas. E, neste contexto, o sensoriamento remoto se apresenta como uma ferramenta útil, porque permite a obtenção deste tipo de informação de forma confiável, e que constitui um instrumento indispensável na avaliação e monitoramento ambiental (MARQUES, 2011).

O monitoramento de áreas florestais assume um papel preponderante nas ações de planejamento, conservação e recuperação ambiental. Onde a ecologia da paisagem fornece indicadores espaciais relacionados às condições ecológicas de fragmentos florestais, as quais podem ser analisadas através do uso de Sistemas de Informação Geográfica e de imagens de satélites orbitais, permitindo aperfeiçoar a extração e análise das características ambientais da superfície terrestre (ALMEIDA, 2008).

Dessa forma, estudos sobre a cobertura e uso da terra com emprego de dados de Sensoriamento Remoto e técnicas de geoprocessamento têm promovido contribuições consideráveis no gerenciamento territorial e avaliação de impactos sobre os recursos naturais, possibilitando diversas análises e geração de resultados em um curto prazo e com baixo custo (FIGUEIREDO, 2005). Estes resultados possibilitam a criação de alternativas para promover o desenvolvimento em bases sustentáveis, para melhor conservação da natureza e convívio do homem (PIONTEKOWSKI, 2014).

O presente estudo buscou a construção de diferentes cenários e a modelagem futura da dinâmica do desmatamento na região do MATOPIBA até o ano de 2050. A modelagem foi baseada em variáveis espaciais com efeitos diretos sobre o desmatamento da vegetação nativa, apoiada em níveis de transição no processo de conversão da cobertura da terra. A maior parte dos dados utilizados para a modelagem foi obtida junto às instituições públicas que atuam na região de estudo. As análises e resultados aqui apresentadas, portanto, poderão ser aplicados pelo próprio governo e por organizações não governamentais para simular as potenciais áreas de expansão agrícola e na definição de estratégias e políticas para o controle do desmatamento e desenvolvimento sustentável na região.

## 2. JUSTIFICATIVA

A região formada pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, conhecida como MATOPIBA, tem uma dinâmica diferenciada de crescimento em relação à produção de grãos, sendo atribuídos crescimento e produção agrícola extraordinária na área do MATOPIBA (BRASIL, 2013).

O estudo “Projeções do Agronegócio, Brasil 2014/2015 a 2024/2025” revela que em 2014 e 2015 a produção na região do MATOPIBA respondeu por 11% da produção brasileira e ainda está crescendo. Este mesmo estudo afirma que a área de soja deve aumentar 9,7 milhões de hectares nos próximos 10 anos, chegando em 2025 a 41,2 milhões de hectares no Brasil. Do mesmo modo, os plantios de cana-de-açúcar ocuparão cerca de 2,3 milhões de hectares adicionais em todo o Brasil, representando um acréscimo de 30,8% sobre a área de soja atualmente cultivada (BRASIL, 2015). A expansão agrícola deverá ocorrer em áreas de grande potencial produtivo, como as áreas de Cerrado compreendidas na região que atualmente é chamada de MATOPIBA (CONAB, 2014).

Quando considerado apenas o cultivo da soja, a área do MATOPIBA deverá expandir 18,7% nos próximos 10 anos. Tal crescimento equivale à expansão de no mínimo 8,7 milhões de hectares, podendo ainda alcançar 11,4 milhões de hectares. Vale lembrar que a expansão deverá ser bem superior aos números apresentados, pois na área de expansão estimada não foram consideradas outros usos da terra, como exemplo, as pastagens (BRASIL, 2015).

Por outro lado, alguns segmentos da indústria acreditam em cenários mais moderados de crescimento. A ABIOVE (Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais) afirma que, devido à pressão crescente para evitar avanços em áreas nativas, a expansão da área de soja nos próximos anos deve ocorrer num cenário conservador. Neste caso, as projeções deste relatório indicam uma taxa média anual de crescimento de 2,7% para os próximos dez anos. Apesar de elevada, essa taxa está bem abaixo da taxa média observada na última década, que foi de 4,6% (ABIOVE, 2014).

Destaca-se ainda que o preço da terra continuará sendo um bom atrativo para a expansão agrícola na região de estudo. Apesar de suas deficiências de infraestrutura, os preços de terras ainda atrativos, o clima, possibilidade de implantação de grandes áreas e relevo favorável, têm sido alguns fatores que têm motivado investimentos na região (FONSECA e MIRANDA, 2014).

Diante disso, a área do presente estudo se apresenta como um grande centro brasileiro de expansão da agricultura de commodities na última década. Por esta razão,



trata-se de uma região de grande pressão do desmatamento sobre os recursos naturais, que pode se intensificar nos próximos anos. E, por isso, são relevantes os estudos que possam contribuir para o melhor entendimento da realidade e que permitam a projeção de cenários futuros do desmatamento para a região do MATOPIBA. Tais projeções poderão ser utilizadas como referência para a definição estratégica de políticas públicas de ocupação e conservação ambiental da região.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. PRINCIPAL**

Simular a dinâmica espaço-temporal do desmatamento para as próximas décadas para a região do MATOPIBA, assumindo cenários futuros prospectivos (tendencial, otimista e pessimista) para a região.

#### **3.2. ESPECÍFICOS**

- a) Construir cenários futuros de desmatamento na região do MATOPIBA tomando como base o período observado entre 2002 e 2010, as diretrizes do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza, o Código Florestal brasileiro e variáveis espacialmente explícitas;
- b) Modelar a dinâmica espacial do desmatamento de acordo com cada cenário construído para a região do MATOPIBA;
- c) Avaliar os impactos do desmatamento na fragmentação da paisagem natural até 2050 de acordo com os resultados de cada cenário simulado para a região de estudo.

### **4. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **4.1. BIOMA CERRADO**

O Brasil é composto por seis grandes biomas: Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga, Pantanal e Campos sulinos (COUTIHO, 2006). Destes biomas, o Cerrado é o segundo mais representativo, tanto em relação a sua área quanto em relação à sua diversidade biológica (KLINK, 1996).

O termo Cerrado é habitualmente utilizado para designar o mosaico de ecossistemas savânicos e campestres, além de intrusões florestais, que ocorrem no Brasil Central (EITEN, 1971). Originalmente, o Cerrado ocupava cerca de 24% da extensão territorial do Brasil (Figura1), ocorrendo em 10 estados (Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso

do Sul, Tocantins, Maranhão, Bahia, Piauí, Minas Gerais, São Paulo e Paraná) mais o Distrito Federal, desde o litoral maranhense até o noroeste do Paraná, passando pelo Planalto Central, chegando a ocorrer em pequenas porções no Paraguai e Bolívia, além de áreas descontínuas no norte do Brasil (BRASIL, 2007). Na Tabela 1 é mensurada a porcentagem de áreas ocupadas pelo cerrado em cada estado componente do MATOPIBA.

**Tabela 1.** Porcentagem da área dos Estados componentes do MATOPIBA coberta originalmente pelo bioma Cerrado.

Estado	Área de Cerrado (%)
Tocantins	92
Maranhão	65
Piauí	37
Bahia	27

Fonte: Adaptado de LAPIG/CI/TNC (2008).

A Figura 1 mostra os limites e a localização do bioma Cerrado sobre as unidades federativas e no território brasileiro.



**Figura 1.** Limite e localização do bioma Cerrado conforme definição do IBGE e MMA (2004).

O clima no bioma Cerrado apresenta características próprias. As precipitações variam entre 600 a 800 milímetros no limite com a Caatinga e 2.000 a 2.200 milímetros na interface com a Amazônia. É caracterizado por duas estações bem definidas: uma seca, de abril a setembro, e uma chuvosa, de outubro a março, com variações regionais (REATTO e MARTINS, 2005).

Além da rica biodiversidade, o Cerrado desempenha papel fundamental hidrológico no Brasil. O bioma envolve seis das oito grandes bacias hidrográficas brasileiras, com 94% da produção hídrica da bacia do São Francisco, 71% da Araguaia/Tocantins e 71% da do Paraná/Paraguai (LIMA e SILVA, 2008).

Apesar de sua relevância ambiental, o Cerrado é um dos ecossistemas mais ameaçados do planeta. Nas últimas décadas, houve alterações drásticas na paisagem natural deste bioma, devido aos processos de ocupação dos solos (SILVA, 2000). Segundo o INPE (2015), mais de 40% de sua vegetação natural foi destruída até 2013. O desmatamento é o fator de grande pressão sobre este bioma, seguido pelas queimadas e a urbanização, causando a destruição, fragmentação e isolamento de ambientes naturais (FURLEY, 1999).

#### **4.2. DESMATAMENTO DO CERRADO**

Em décadas passadas, o que se idealizava sobre o Cerrado era um espaço negativo, algo sem valor, algo a ser domado, de povo rústico e selvagem. Essa imagem foi inicialmente alimentada pelos naturalistas europeus, afirma (CHAVEIRO e BARREIRA, 2010).

Com a criação de Brasília, vieram incentivos para promover a ocupação do Cerrado. Como exemplo, a SUDECO – Superintendência do Desenvolvimento do Centro-Oeste (1967), o Plano de Integração Nacional (1970) e o Prodoeste-Programa de Integração do Centro Oeste (1971) que promoveram a mecanização dos processos produtivos do campo, uso dos insumos agrícolas e créditos agrícolas; com o IPEA – Instituto de Pesquisa Agrícola (1960) e a Embrapa (1973) vieram os incentivos com suporte técnico e assistência agrícola; e desde 2007 o PAC – Programa de Aceleração do Crescimento, com diversas obras de ampliação da rede logística, principalmente para o escoamento da produção agropecuária (CHAVEIRO e BARREIRA, 2010).

Com estes e outros estímulos, o Cerrado é o segundo bioma brasileiro que mais sofreu alterações com a ocupação humana, ficando atrás apenas do bioma Mata Atlântica. Com a crescente pressão para a abertura de novas áreas, visando incrementar a produção

de carne e grãos para exportação, tem havido um progressivo esgotamento dos recursos naturais da região (MMA e IBAMA, 2011).

Segundo (BORGES & SANTOS, 2009) nas três últimas décadas, o Cerrado vem sendo degradado pela expansão da fronteira agrícola brasileira, notadamente na região oeste da Bahia, região que mais vem evoluindo, no uso antrópico do solo no Cerrado. E segundo DA SILVA et al., (2015) a maior concentração de áreas desmatadas no Cerrado está no Mato Grosso, e na porção do extremo Oeste baiano com a junção das áreas do Maranhão, Piauí e Tocantins, área denominada como MATOPIBA.

Esses avanços da fronteira agropecuária formam o elemento majoritário nas taxas de desmatamento do Cerrado. Em termos históricos, entre 1970 e 1975, a taxa de desmatamento anual do Cerrado era estimada em 2% (KLINK e MOREIRA, 2002), e entre 1976 a 1996, cerca de 1,3% (MUELLER e MARTHA, 2008). Entre 1993 e 2002 estimava-se em 0,7% (GANEM, DRUMMOND e FRANCO, 2008), de 2002 a 2008, em 0,7% (CSR/IBAMA, 2011a), de 2008 a 2009 era de 0.4% (CSR/IBAMA, 2011a), e de 2009 a 2010 foi de 0,3% (CSR/IBAMA, 2011b).

Segundo os resultados do estudo denominado Projeto TerraClass Cerrado, em 2013 o bioma cerrado apresentava 54,5% da sua vegetação nativa. Ainda segundo o projeto, as áreas de pastagens ocupavam 29,5% do bioma, enquanto a agricultura anual representava 8,5% e as culturas perenes, 3,1%, totalizando 41,1% do uso da terra. Os resultados deste estudo por Estados são apresentados na Tabela 2 abaixo (INPE, 2015).

**Tabela 2.** Porcentagem do desmatamento em cada estado brasileiro.

Estados	Classe			
	Antrópico	Natural	Corpo D'água	Não observado
MT	39%	60%	0%	1%
MG	50%	48%	1%	1%
GO	57%	42%	1%	0%
MS	68%	31%	0%	0%
SP	81%	17%	13%	0%
DF	58%	41%	1%	0%
PR	62%	38%	0%	0%
RO	2%	98%	0%	0%
<b>Estados componentes do MATOPIBA</b>				
MA	21%	72%	12%	7%
TO	25%	72%	28%	1%
PI	16%	83%	3%	0%
BA	32%	67%	5%	0%
<b>TOTAL</b>	<b>43%</b>	<b>55%</b>	<b>1%</b>	<b>1%</b>

Fonte: TerraClass Cerrado 2013, Adaptado dos dados do INPE (2015).

O principal atrativo para o desmatamento e ocupação do Cerrado são suas vastas planícies, boas condições climáticas, solos de fácil correção e mão de obra barata, surgiu como uma nova fronteira agrícola a ser explorada (CHAVEIRO e BARREIRA, 2010).

A região do MATOPIBA, apesar das suas deficiências de infraestrutura, ainda apresenta preço das terras muito atrativos comparados com outras regiões brasileiras. Além disso, o clima, a possibilidade de implantação de grandes áreas e o relevo favorável, são fatores que favorecem muito os grandes investimentos na região (BRASIL, 2015). A pressão antrópica, portanto vem de encontro com a necessidade de conservação do Cerrado, causando a devastação de extensas áreas de vegetação ou habitats, propiciando a fragmentação florestal que provoca prejuízo ao bioma como um todo (GARIGLIO et al., 2010).

A partir desse problema, algumas iniciativas de mapeamento da cobertura vegetal e do uso antrópico do solo do bioma Cerrado foram elaboradas em escalas e objetivos distintos ao longo dos últimos anos.

Como exemplo, LORENSINI et al., (2015), avaliou a expansão da agricultura do bioma Cerrado na região do MATOPIBA com o intuito de identificar a época em que ocorreu o desmatamento das áreas de expansão da agricultura.

SALMONA (2013) objetivou em estudo de modelagem do desmatamento, gerar três diferentes cenários futuros para o bioma Cerrado, onde identificou uma intensificação futura do desmatamento na região do Oeste da Bahia, bem como para outras fronteiras agrícolas no Brasil.

Em 2008, a Universidade do Goiás - UFG, Laboratório de Processamento de Imagens – LAPIG, implantou o sistema SIAD Cerrado para o monitoramento da vegetação do Cerrado por satélite. Este projeto da UFG identificou que, entre 2002 e 2007, o Cerrado havia sofrido desflorestamento na ordem de 2,46 milhões de hectares (LAPIG/IESA, 2012).

O Ministério do Meio Ambiente – MMA e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, num esforço conjunto realizaram o projeto: Mapeamento de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros, com resultados de desmatamento anual dos biomas brasileiros, incluindo o Cerrado, para os anos de 2002, 2008 e 2010.

O mapeamento do desmatamento bem como dos fragmentos florestais é fundamental e importante. A partir de dados de monitoramento ambiental são obtidas informações que possibilitam possíveis planos de conservação, como implantação de

corredores ecológicos, que são essenciais no controle de fluxos biológicos na paisagem, reduzindo os riscos de extinção local e favorecendo recolonizações (METZGER, 2003).

O diagnóstico da vegetação de determinada área requer o conhecimento dos problemas ambientais decorrentes da ocupação e uso do solo. Esta informação pode ser obtida pelo estudo da utilização do solo, da água e da biodiversidade aplicadas em áreas geográficas definidas. O sensoriamento remoto pode ser uma ferramenta útil, porque permite a obtenção deste tipo de informação de forma confiável, constituindo um instrumento na avaliação e monitoramento ambiental (MARQUES, 2011).

O monitoramento de áreas florestais assume um papel importante nas ações de planejamento, conservação e recuperação ambiental. Onde a ecologia da paisagem fornece indicadores espaciais relacionados às condições ecológicas de habitats, as quais podem ser analisadas através do uso de Sistemas de Informação Geográfica e de imagens de satélites orbitais, permitindo potencializar a extração e análise das características ambientais da superfície terrestre (ALMEIDA, 2008).

#### **4.3. FRAGMENTAÇÃO E MÉTRICAS DA PAISAGEM**

O processo de desmatamento em florestas leva a formação de fragmentos isolados de vegetação, cercadas por ambientes desmatados. A fragmentação é considerada uma das maiores ameaças para os ecossistemas, tanto em relação à biodiversidade quanto aos recursos naturais (SAUNDER et al., 2002).

A fragmentação se caracteriza pela ruptura de uma unidade da paisagem, que inicialmente apresentava-se ininterrupta, surgindo assim parcelas menores com dinâmicas diferentes das existentes no ambiente original (METZGER, 2003).

Segundo METZGER (2001) o processo de fragmentação leva à formação de uma paisagem em mosaico com a estrutura constituída por manchas ou fragmentos.

Em que as atividades humanas resultam em impactos na mudança da cobertura da terra, perda de tipos de cobertura e na fragmentação de áreas (SAUNDER et al., 2002).

E de acordo com ODUM e BARRET (2007), o tamanho e a qualidade dos fragmentos de habitat assim como a sua disposição na paisagem, afetam a abundância de animais e plantas e processos ecológicos da paisagem. Segundo (GUSTAFSON, 1998) as métricas de paisagem dividem-se em duas categorias nos mapas:

1. Composição do mapa;
2. Configuração espacial do mapa;

A primeira categoria é facilmente quantificada e refere-se a características relacionadas com a variedade e abundância de tipos de manchas no interior da paisagem, e requer integração em relação a todos os tipos de manchas, uma vez que, as métricas de composição são definidas ao nível da paisagem. A segunda é mais complexa de quantificar e tem como objetivo a descrição das características espaciais de manchas individuais ou as relações espaciais entre múltiplas manchas (GUSTAFSON, 1998).

As métricas de área quantificam a composição da paisagem e fornecem a respeito dela informações importantes sobre a dinâmica de populações vegetais e animais (VOLOTÃO, 1998).

As métricas de forma são responsáveis pela configuração da paisagem. O principal aspecto da forma do fragmento é a sua relação com o efeito de borda (VOLOTÃO, 1998). Em que o ideal, no entanto, é que elas sejam o mais próximo possível da forma circular, pois esse formato minimiza a relação borda-área, cujo centro se encontra mais distante das bordas do que qualquer outra forma, especialmente as alongadas (PRIMACK e RODRIGUES, 2001).

As métricas de área central são consideradas medidas da qualidade de habitats, uma vez que indicam quanto há realmente de área efetiva de um fragmento. As métricas de proximidade e isolamento se baseiam na distância entre vizinhos mais próximos (VOLOTÃO, 1998). Essas métricas são importantes, pois definem o grau de isolamento da paisagem, e indicam a existência ou necessidade de implantação de elementos de conexão, como os corredores ecológicos (VIDOLIN et al., 2011).

As métricas utilizadas para quantificação dos padrões espaciais da paisagem são agrupadas em índices de composição e de disposição, em que MCGARIGAL et al., (2002) define em três níveis indicadores, sendo:

**1º** - Nível de fragmentos ou manchas: caracteriza o contexto espacial da mancha ou fragmento de determinado tipo de cobertura do solo, individualmente;

**2º** - Nível de classes de fragmentos ou categorias de cobertura do solo: considera a configuração em conjunto de todos os fragmentos ou manchas de um determinado tipo de cobertura do solo;

**3º** - Nível de paisagem: neste tipo de medida são integrados todos os tipos de fragmentos e classes de fragmentos pertencentes à paisagem, em um único valor;

Por fim, a modelagem geográfica, pode constituir como um método de investigação de regularidades de padrões ambiental, funcionando como um instrumento de explicação e previsão de fenômenos da paisagem (NEVES et al., 2006).

#### **4.4. MATOPIBA**

Para uma melhor compreensão, a expressão MATOPIBA é dada pela soma das iniciais dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, sendo estes os Estados formadores da região agrícola. Outros termos utilizados para a região é MAPITO e MAPITIBA, sendo o último mais difundido entre os estrangeiros (MIRANDA et al., 2014).

O Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (GITE) do MATOPIBA desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) elaborou a delimitação da região. Esta delimitação está sendo utilizada em trabalhos de pesquisa da Embrapa e no planejamento dos processos de governança fundiária do INCRA e entre outras Instituições, sendo esta delimitação utilizada neste trabalho. O principal critério de delimitação territorial do MATOPIBA teve como base as áreas de Cerrado existentes nesses Estados (MIRANDA et al., 2014a).

A seguir são apresentados os quadros (**Quadro agrícola, Quadro agrário e Quadro natural**) do MATOPIBA em que apresentam detalhes e características da região submetida ao processo de modelagem.

##### **4.4.1. Quadro agrícola**

Os dados do último censo agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) revelaram que em 2006 a região contava com um total de 324.326 estabelecimentos agrícolas, que somavam uma área equivalente a 33.929.060 ha. Segundo o censo, seis produtos lideravam a totalidade da produção na região. A soja alcançava 25% do valor total da produção seguido de mais dois produtos (bovinos e algodão herbáceo) e a soma destes galgava 50% do total, e adicionando mais três produtos (milho, arroz e leite de vaca) chegava a 75% do total (IBGE, 2006).

##### **4.4.2. Quadro agrário**

Tratando-se do quadro agrário, o MATOPIBA possui dentro de seus limites territoriais um complexo quadro, em virtude da pluralidade de problemas fundiários característicos do território nacional no que diz respeito ao conjunto de Unidades de



Conservação (UCs), Terras Indígenas (TIs), e Projetos de Reforma Agrária por meio de Assentamentos Rurais (ARs). Nas últimas décadas foram criadas e legalmente atribuídas quase mil áreas distribuídas nas categorias acima citadas (FONSECA e MIRANDA, 2014).

#### **4.4.3. Unidades de Conservação (UCs)**

Segundo o Ministério do Meio Ambiente, as Unidades de Conservação (UCs) dividem-se em dois grupos: Unidades de Proteção Integral (PI), com regras e normas mais restritivas, e Unidades de Uso Sustentável (US), nos quais as atividades de coleta e uso dos recursos naturais são permitidas, desde que controladas e mantidas a sua sustentabilidade. Ressalta-se ainda que a sua natureza administrativa, as UCs podem também pertencer à esfera municipal, estadual ou federal. Na região do MATOPIBA das quarenta e duas unidades de conservação, uma está sob responsabilidade municipal (1.458 hectares), vinte e duas estão sob a administração estadual (5.615.772 hectares) e dezenove são de natureza federal (3.221.535 hectares) (FONSECA e MIRANDA, 2014).

Nesse contexto, vale citar a Lei Federal Nº 9.985/2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), determina em seu Art. 25 que as unidades de conservação, exceto Área de Proteção Ambiental e Reserva Particular do Patrimônio Natural, devem possuir uma Zona de Amortecimento (GARBELINI, 2011). A Zona de Amortecimento (ZA) é um acréscimo de áreas protegidas ao redor das UCs nas quais a ocupação e o uso fica sujeitos a normas e regulamentações definidas pelo órgão responsável pela administração da unidade de conservação.

A ZA tem como propósito de minimizar os impactos negativos sobre a unidade e pode ser definida no ato de criação da unidade ou posteriormente na aprovação de seu Plano de Manejo. Esta Zona pode abranger distâncias variadas de acordo com estudos específicos realizados, e/ou seguir uma resolução nº 428/2010 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabelece uma faixa de três quilômetros a partir do limite da UC, quando a ZA não estiver definida. Com a aplicação da legislação em vigor, somando-se a área das quarenta e duas Unidades de Conservação (8,8 milhões de hectares) com a área das Zonas de Amortecimento de três quilômetros (2,6 milhões de hectares), adotadas nos cenários hipotéticos deste estudo, ter-se-ia cerca de 11,4 milhões de hectares destinados para conservação.

#### **4.4.4. Terras Indígenas (TIs)**

De acordo com dados fornecidos pela Fundação Nacional do Índio (FUNAI) existem vinte e oito terras indígenas na região do MATOPIBA. Juntas, elas abrangem um total de 4.157.189 hectares, sendo 39% da área total das categorias de unidades de conservação. Nas partes dos estados da Bahia, Maranhão e Tocantins que fazem parte da região do MATOPIBA, há terras indígenas, exceto no estado do Piauí que não tem nenhum território indígena nesta região de estudo (FUNAI, 2014).

#### **4.4.5. Assentamentos Rurais (ARs)**

Segundo o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), no ano 2014 no país existiam 9.203 assentamentos da reforma agrária, sendo 865 destes localizados na região do MATOPIBA. Os projetos de assentamento localizados no MATOPIBA envolvem um total de 3.706.699 hectares, no qual vivem aproximadamente 100 mil famílias assentadas.

As observações da distribuição espacial dos projetos de assentamento na região do MATOPIBA apontam a predominância de assentamentos nas porções Norte e Oeste do MATOPIBA, embora os assentamentos possam ser observados em menor quantidade em todo o território da região de estudo. O Estado do Maranhão, seguido pelo Tocantins, apresentam o maior número de assentamentos, comparados com os demais Estados que compõe a região do MATOPIBA (INCRA, 2014).

#### **4.4.6. Caracterização Ambiental**

##### **4.4.6.1. Bioma**

Segundo (MIRANDA et al., 2014a) o bioma Cerrado foi um dos critérios utilizados na delimitação territorial do MATOPIBA, pois as áreas de Cerrado existentes nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Sendo que para concluir a totalidade a área MATOPIBA soma-se o Remanescente do Bioma Amazônia e Caatinga.

As áreas de Cerrado se dividiam em formações florestais, savânicas, formações de pioneiras e vegetação secundária (MAGALHÃES e MIRANDA, 2014).

##### **4.4.6.2. Relevo**

O Serviço Geológico do Brasil produziu em 2006 o Mapa da Geodiversidade do Brasil, dividindo o país em 21 compartimentos de relevo identificados segundo as qualidades morfológicas. No MATOPIBA ocorrem 19 destes compartimentos. O mais

representativo compartimento é o das colinas amplas e suaves, seguido do domínio das chapadas e platôs e o domínio das colinas dissecadas e morros baixos. Juntos, estes compartimentos representam 46% do MATOPIBA (CPRM, 2006).

#### **4.4.6.3. Hidrografia**

A região do MATOPIBA envolve três as bacias hidrográficas: Bacia do Rio Tocantins, Bacia do Atlântico – Trecho Norte/Nordeste e Bacia do Rio São Francisco. Por estas correm os principais rios da região: Rio Tocantins, Rio Araguaia, Rio São Francisco, Rio Parnaíba, Rio Itapicuru, Mearim, Gurupi e Pindaré. Com vistas à gestão dos recursos hídricos foram definidas as regiões hidrográficas, que no MATOPIBA dividem-se em quatro bacias hidrográficas: Atlântico Nordeste Ocidental, Parnaíba, São Francisco e Tocantins-Araguaia (MAGALHÃES e MIRANDA, 2014).

#### **4.4.6.4. Solos**

No MATOPIBA ocorrem 12 classes de solos, quantidade esta baseada no 1º nível do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). O latossolo é a classe dominante no MATOPIBA com cerca de 28 milhões de hectares ou 38% do total da área distribuídos em toda a região. O neossolo é a segunda maior classe de solos encontrada no MATOPIBA, este ocorre em 18 milhões de hectares sendo 25% da área de estudo. Em terceiro lugar estão os plintossolos, com cerca de 14 milhões de hectares totalizando 19,2% da área. Ressalta-se que os plintossolos pétricos respondem por 13,10% dos solos desta classe (EMBRAPA, 2006).

#### **4.4.7. Quadro de Infraestrutura**

Quanto à infraestrutura ou a logística da região do MATOPIBA, as rodovias somam 25.039 quilômetros entre vias primárias e secundárias. As ferrovias totalizam 1.473 quilômetros, sendo a, estrada de ferro Carajás, ferrovia norte-sul e Cia ferroviária nordeste (IBGE, 2004).

### **4.5. SOFTWARE DINÂMICA EGO**

DINÂMICA EGO (*Environment for Geoprocessing Objects*) é um *software* livre criado e mantido pelo Centro de Sensoriamento Remoto do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (RODRIGUES et al., 2007).

O *software* é um modelador de simulação da dinâmica espacial de paisagens que permite a partir da probabilidade de transição das células para outra condição, identificar a dinâmica de formação e evolução de padrões espaciais de fenômeno diversos na vegetação (SOARES-FILHO, 2014). A transição das células para outra condição depende do seu estado atual e da condição das células vizinhas, considerando um conjunto de regras de transição para alterar seu estado (FEARNSIDE et al., 2009).

A simulação espacial através de modelos auxilia a compreensão de fenômenos e processos antrópico no ambiente, possibilitando determinar como eles evoluem diante de diferentes cenários (RODRIGUES et al., 2007). Por esta razão o DINÂMICA EGO tem sido aplicado em numerosos estudos ambientais, incluindo a modelagem de desmatamento na Amazônia, mudanças na cobertura e uso do solo na Floresta Atlântica e na floresta seca do México, entre outros (SOARES-FILHO et al., 2009).

#### **4.6. MODELOS DINÂMICOS DE SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS**

Na condição da acelerada dinâmica de alteração causada pelo uso do solo na região estudada é indispensável o planejamento focado ao meio ambiente que garanta a preservação dos recursos naturais, providenciando a qualidade de vida das populações envolvidas (SALMONA, 2013).

Diante disso, em diferentes regiões do planeta a preocupação com as tendências de mudança de uso do solo levaram pesquisadores a utilizar ferramentas capazes de modelar cenários futuros. Como exemplo, pode-se citar o estudo denominado “Brasil 2040: cenários e alternativas de adaptação à mudança do clima” (PNUD, 2014), que buscou compreender as possíveis variações do clima no Brasil nos próximos anos, de forma a embasar políticas públicas de adaptação em cinco grandes áreas: saúde, recursos hídricos, energia, agricultura e infraestrutura (costeira e de transportes). Os cenários para estudo foram construídos, utilizando dois modelos climáticos globais usados pelo IPCC, o painel do clima das Nações Unidas, sendo posteriormente regionalizados para o Brasil pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE.

O bioma Cerrado também em 2012 foi submetido a estudos de modelagem dinâmica do uso e cobertura do solo, esta pesquisa foi executada usando o *software* DINÂMICA-EGO em que modelaram o cenário da paisagem do Cerrado para o ano de 2050 (FERREIRA JR. et al., 2012).

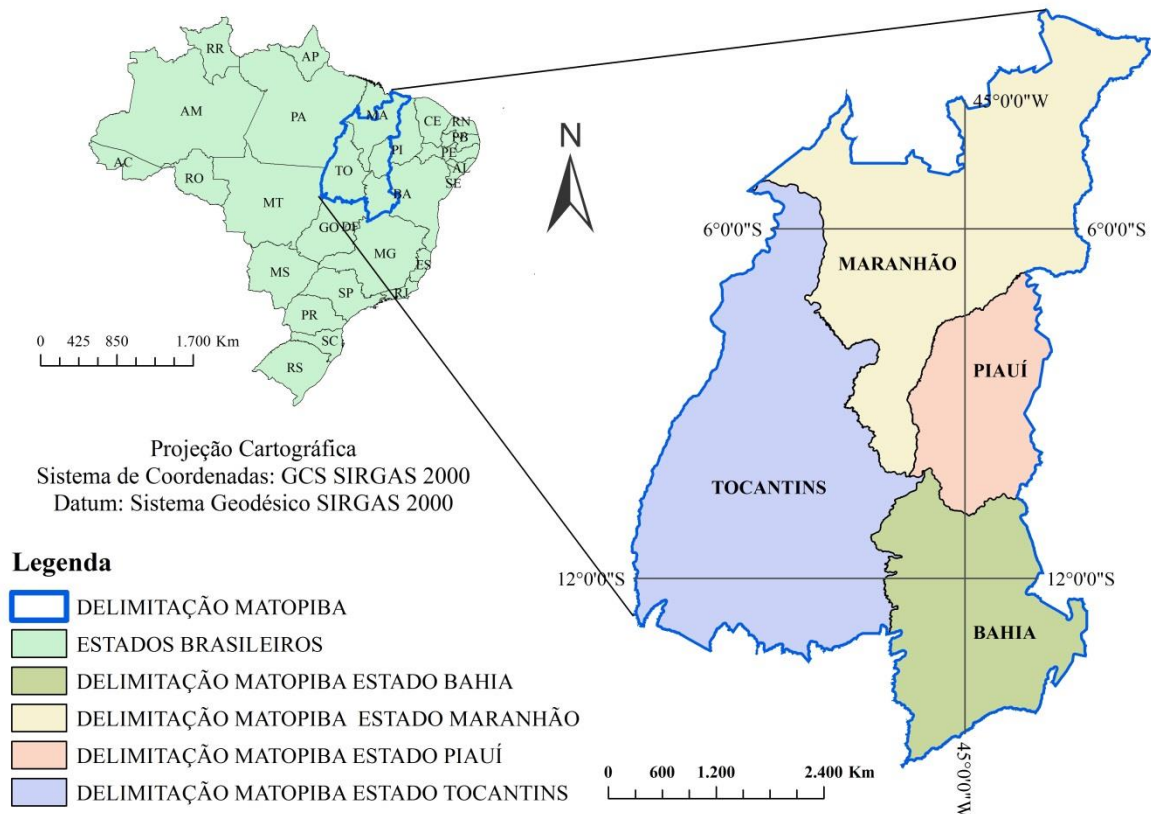
Portanto, com base em técnicas de modelagem de simulação da mudança do uso do solo, aliado há variáveis explicativas de uma dada área onde ocorre mudança de uso do

solo, pode ser projetado para o futuro, em que a análise baseia-se na mudança de uso do solo ocorrida entre dois períodos conhecidos (inicial e final) (VALDIVIESO e SENDRA, 2010).

## 5. METODOLOGIA

### 5.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo envolve quatro estados brasileiros, o estado do Tocantins, a porção sudoeste do estado do Piauí, sul, oeste e nordeste do Maranhão e oeste da Bahia, localizado entre os meridianos 50° 45' e 41° 45' de longitude oeste e os paralelos 2° 15' e 15° 15' de latitude Sul (Figura 2). Adotou-se neste estudo o limite da região do MATOPIBA proposto pelo Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (GITE) do MATOPIBA (MIRANDA et al., 2014a). A região de estudo envolve uma área superior a 73 milhões de hectares, com perímetro de 7.270 quilômetros.



**Figura 2.** Localização da área de estudo (região do MATOPIBA).

## 5.2. BASE DE DADOS

Para atender os objetivos deste estudo, foram adquiridos dados espaciais de instituições governamentais que atuam em nível nacional ou regional, em diferentes formatos. Incluiu-se os dados de desmatamento de 2002, 2008 e 2010, limites da área de estudo e dos Estados brasileiros, limites de áreas protegidas, infraestrutura (rodovias e ferrovias), principais rios e localização das cidades da região de estudo. Os dados foram utilizados para compor variáveis espaciais que apresentam relação teórica com o desmatamento. A Tabela 3 apresenta detalhes da base de dados utilizada neste estudo.

**Tabela 3.** Base de dados utilizada na modelagem do desmatamento da região do MATOBIPA.

Parâmetros	Origem	Escala / Resolução	Tipo	Ano
<b>Desmatamento e áreas protegidas</b>				
Desmatamento do Cerrado	PMDBBS-IBAMA/CSR	1:250.000	vetor	2011
<b>Dados sociais</b>				
UC de Proteção Integral	ICMBio-MMA	1:250.000	vetor	2009
UC de Uso Sustentável	ICMBio-MMA	1:250.000	vetor	2009
<b>Dados fundiários</b>				
Assentamentos Rurais	INCRA	-	vetor	2009
Terras indígenas	FUNAI	-	vetor	2009
<b>Dados geográficos</b>				
Rodovias <sup>1</sup>	DNIT	1:1.000.000	vetor	2009
Principais ferrovias	IBGE	1:1.000.000	vetor	2009
Cidades	IBGE	1:250.000	pontos	2009
Principais rios	ANA	1:250.000	vetor	2010
Limites Políticas	IBGE	1:500.000	vetor	2009
<b>Hidrografia</b>				
Bacias Nível 6	ANA	1:250.000	vetor	-
<b>Dados biofísicos</b>				
Tipos de vegetação	IBGE	1:250.000	vetor	2013
Solos	IBGE	1:5.000.000	vetor	2013
<b>Dados de relevo</b>				
Modelo Digital de Elevação (MDE)	INPE/TOPODATA	Resolução espacial de 30m	matricial	2011
<b>Acurácia dos dados</b>				
Cenas <i>RapidEye</i> (2335207, 2234325, 2334815, 2333410)	GeoCatálogo (MMA)	Resolução espacial de 5,5m	matricial	2011

Nota: <sup>(1)</sup> Rodovias principais e secundárias.

Os dados de desmatamento utilizados neste estudo foram produzidos no contexto do Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélites (PMDBBS-IBAMA/CSR), para os anos de 2002, 2008 e 2010.

Os Modelos de Elevação Digital (MED) utilizados neste estudo foram obtidos do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA), produzidos pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE). Estes dados foram originalmente produzidos pelo

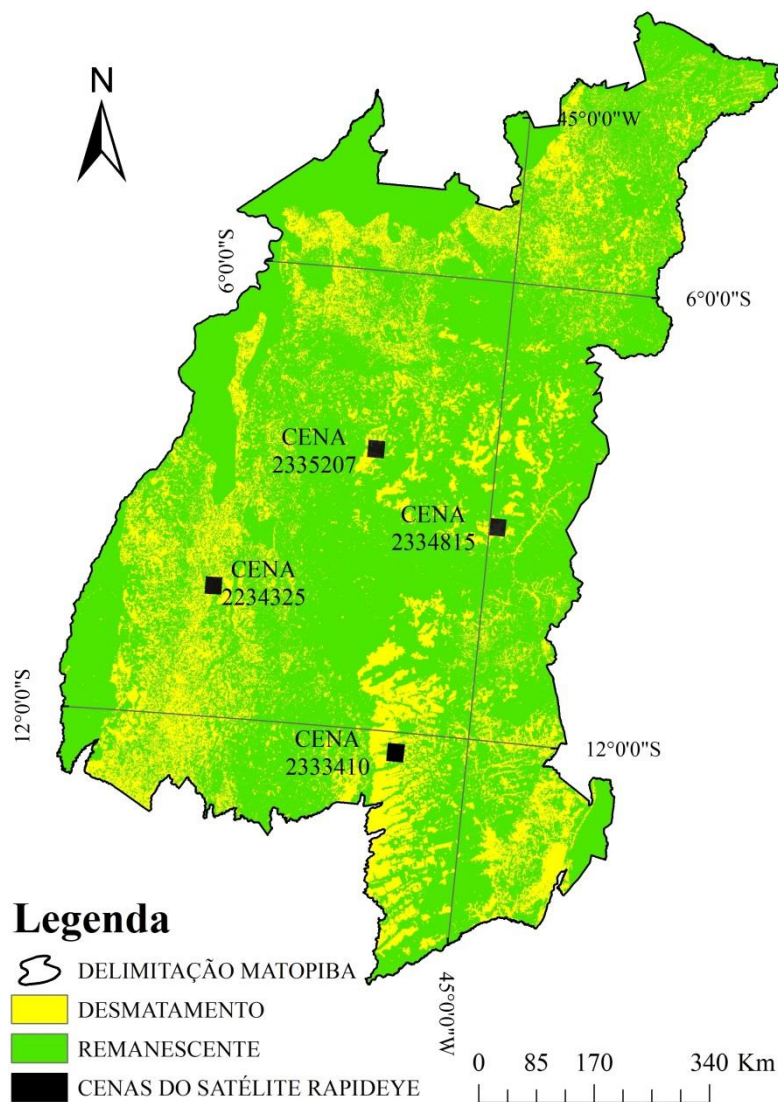
projeto SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) coordenado pela NASA (Agência Espacial Americana) utilizados para gerar mapas de altitude e declividade.

Os aplicativos computacionais utilizados para organização e geração dos resultados deste estudo foram o *software* ArcMap®, que é a aplicação central do ArcGIS®, versão 10.1, o Fragstats® versão 4.2 para a estimativa das métricas da paisagem, e o *software* DINÂMICA EGO®, versão 3.0.1, um programa de domínio público, com plataforma de modelagem ambiental.

### **5.3. MÉTODOS**

#### **5.3.1. Análise da acurácia dos mapas de desmatamento do PMDBBS-IBAMA/CSR.**

A avaliação da confiabilidade dos dados do desmatamento foi feita a partir da análise da acurácia da base de dados do desmatamento disponibilizado pelo PMDBBS-IBAMA/CSR. Para isso foram comparados os dados do PMDBBS-IBAMA/CSR com quatro cenas (imagens) de 2011 selecionadas do satélite *RapidEye*: cena 2335207 localizada no estado do Maranhão, a cena 2234325 localizada no estado do Tocantins, cena 2334815 localizada no estado do Piauí e a cena 2333410 localizada no estado da Bahia (Figura 3). Tais cenas foram utilizadas como “verdade terrestre” para comparar com a classificação das áreas desmatadas e não desmatadas produzidas pelo PMDBBS-IBAMA/CSR (Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélites). A escolha das quatro cenas foi feita de forma aleatória em áreas que recobre a região de estudo. A escolha do ano (2011) dos dados de desmatamento para a avaliação da acurácia foi feita em função da disponibilidade dos dados do satélite *RapidEye*, o mais próximo possível do período efetivo do mapeamento conduzido pelo PMDBBS-IBAMA/CSR.



**Figura 3.** Localização das cenas do satélite *RapidEye*, onde foram aleatorizados pontos para avaliação da acurácia das classificações do desmatamento na região do MATOPIBA.

As imagens utilizadas no presente estudo foram adquiridas pelo satélite *RapidEye*, composto por uma constelação de 5 microssatélites. Todos os microssatélites estão equipados com o sensor REIS (*RapidEye Earth Imaging System*), com resolução espacial de 5,5 metros, e 5 bandas (azul, verde, vermelho, vermelho limítrofe e infravermelho), com resolução radiométrica de 12 bits para todas as bandas. Estas imagens foram disponibilizadas pelo portal GeoCatálogo, do Ministério do Meio Ambiente e utilizadas exclusivamente para esta análise.

Foram aleatorizados 100 pontos em cada imagem *RapidEye*, totalizando 400 pontos aleatórios para checagem das classes produzidas pelo PMDBBS-IBAMA/CSR a partir de interpretação visual sobre as imagens de alta resolução espacial do *RapidEye*.



Após a verificação das classes (desmatado e não desmatado) correspondentes a cada ponto aleatorizado, a quantidade de erros e acertos por classe foi inserida em uma matriz de confusão, comparando a referência (imagens *RapidEye*) e os dados da classificação feita pelo PMDBBS-IBAMA/CSR.

A partir da utilização da matriz de confusão foram então estimadas a exatidão global (Equação 1) e o coeficiente *Kappa* (Equação 2) (CONGALTON e GREEN, 1999).

$$EG = \frac{TA}{n} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

EG = exatidão global;

TA = total de acertos;

n = número total de pontos amostrados;

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})} \quad (2)$$

Onde:

K = coeficiente *Kappa*;

N = número total de pontos amostrados;

r = número de linhas da matriz de erro;

x<sub>ii</sub> = valor na linha i e coluna i;

x<sub>+i</sub> = total da coluna i;

x<sub>i+</sub> = total da linha i;

Para referência da qualidade da classificação do desmatamento conduzida pelo PMDBBS-IBAMA/CSR, foram utilizadas as classes do coeficiente *Kappa* (Tabela 4) sugeridas por LANDIS e KOCH (1977).

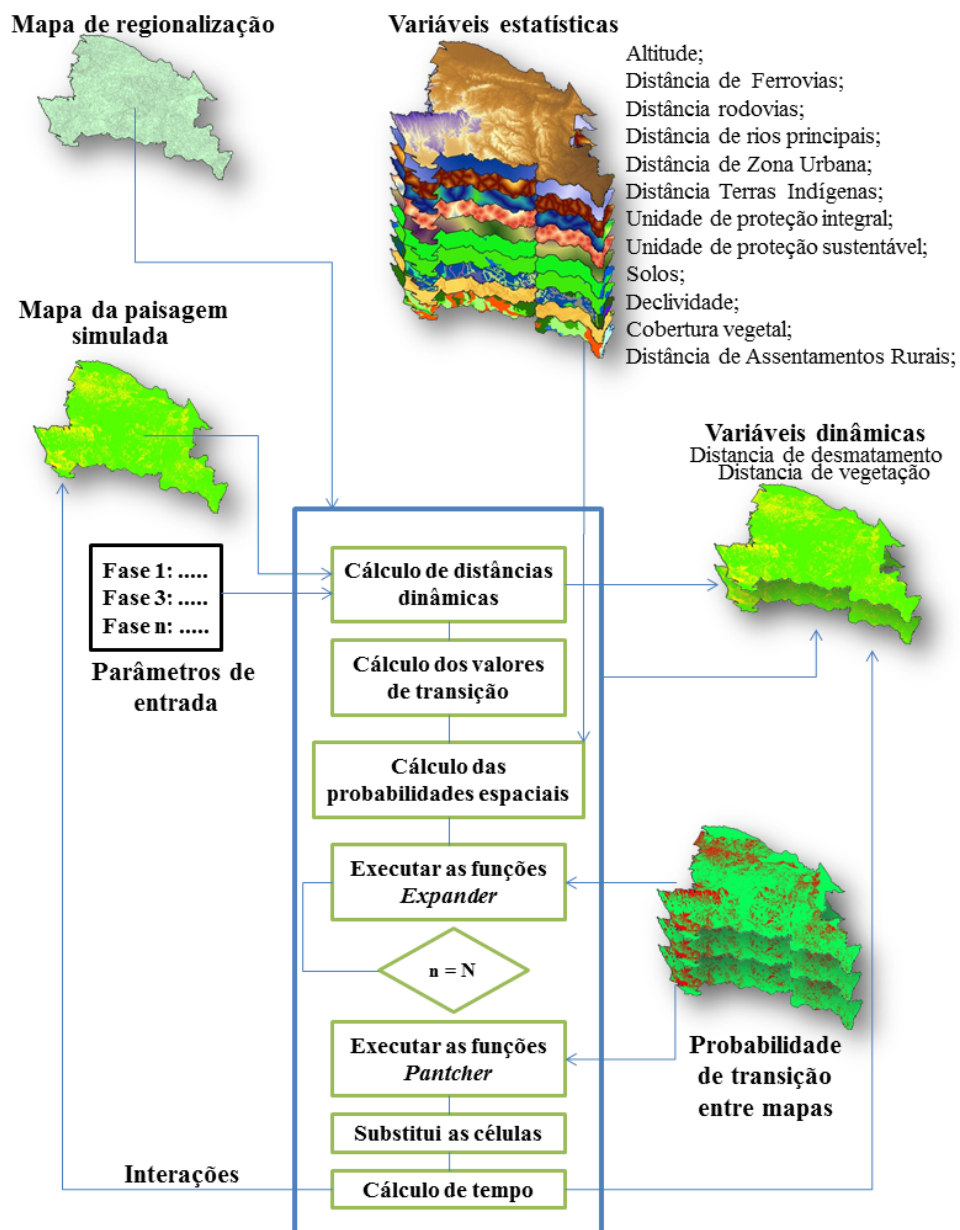
**Tabela 4.** Classes do coeficiente *Kappa*.

Coeficiente <i>Kappa</i>	Exatidão
< 0	Péssimo
0 – 0,2	Ruim
0,21 – 0,4	Razoável
0,41 – 0,6	Moderada/ Boa
0,61 – 0,8	Muito Boa
0,81 – 1,0	Excelente

Fonte: LANDIS e KOCH (1977).

### 5.3.2. Dados de entrada no modelo de simulação do desmatamento

Os dados de entrada no modelo de simulação incluíram as variáveis espacialmente explícitas relacionadas ao desmatamento. No caso da área do presente estudo, optou-se pela regionalização utilizando as microbacias, pois estas costumam refletir mais fielmente os efeitos das alterações observadas da paisagem e os parâmetros de entrada, resultando em melhor estimativa da probabilidade de transição do fenômeno de estudo (desmatamento). Na Figura 4, estão representadas as principais etapas seguidas para a concepção do modelo utilizando o *software* DINÂMICA EGO.



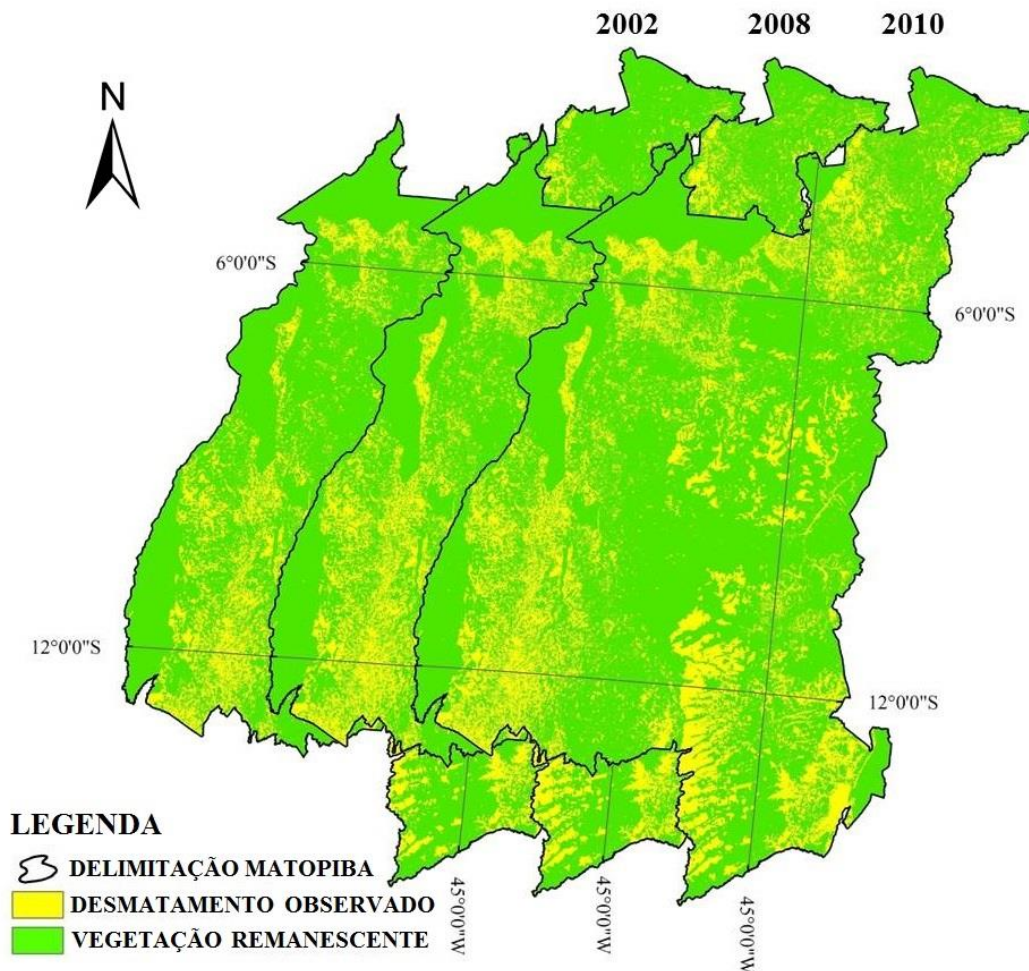
**Figura 4.** Fluxograma dos procedimentos no programa DINÂMICA EGO para modelagem do desmatamento na região do MATOPIBA.  
Fonte: Adaptado de SOARES-FILHO (2002).

### **5.3.3. Preparação dos mapas da paisagem inicial e final**

Um dos requisitos básicos no processo de modelagem no DINÂMICA EGO é a uniformidade dos dados de entrada do modelo. Todas as matrizes representando as variáveis desejadas para o modelo devem estar precisamente com o mesmo tamanho (números de linhas e colunas), resolução espacial e sistema de projeção e datum (PIONTEKOWSKI, 2014). Assim, para a geração dos mapas inicial e final de desmatamento, bem como o ano intermediário dentro do período, todos os dados temáticos vetoriais (polígonos) foram convertidos para o formato matricial com resolução espacial de 90 x 90 metros, abrangendo todo o território da região do MATOPIBA. Os dados do desmatamento da área de estudo foram sintetizados em classes de áreas desmatadas (recebendo código “1”) e não desmatadas (adotando código “2”).

Os dados matriciais do desmatamento (inicial e final) de entrada no modelo foram usados para obtenção das taxas médias anuais de conversão de vegetação para o período desejado, resultando na estimativa dos valores de transição (pesos de evidências).

Assim, com base nos dados do desmatamento do PMDBBS-IBAMA/CSR, observou-se que foram desmatados na área de estudo 12.894.798 hectares, 17.667.483 hectares e 18.751.734 hectares em 2002, 2008 e 2010, respectivamente. A partir destes totais desmatados, estimou-se as taxas de desmatamento correspondentes ao período 2002 a 2008, 2002 a 2010 e 2008 a 2010. As taxas de desmatamento observadas entre 2002 e 2010 e 2008 e 2010 foram utilizadas nos cenários tendencial e otimista, respectivamente. No período entre 2008 e 2010 foi observada a menor taxa de desmatamento, utilizada como referência no cenário otimista. A taxa média de desmatamento foi observada entre 2002 e 2010 e, portanto, utilizada como referência no cenário tendencial. Por fim, a maior taxa de desmatamento observada no período entre 2002 e 2008 foi utilizada como referência no cenário pessimista, representando assim as condições esperadas neste cenário para a região de estudo (Figura 5).



**Figura 5.** Dinâmica do desmatamento observada na região do MATOPIBA em 2002, 2008 e 2010 pelo PMDBBS-IBAMA/ CSR.

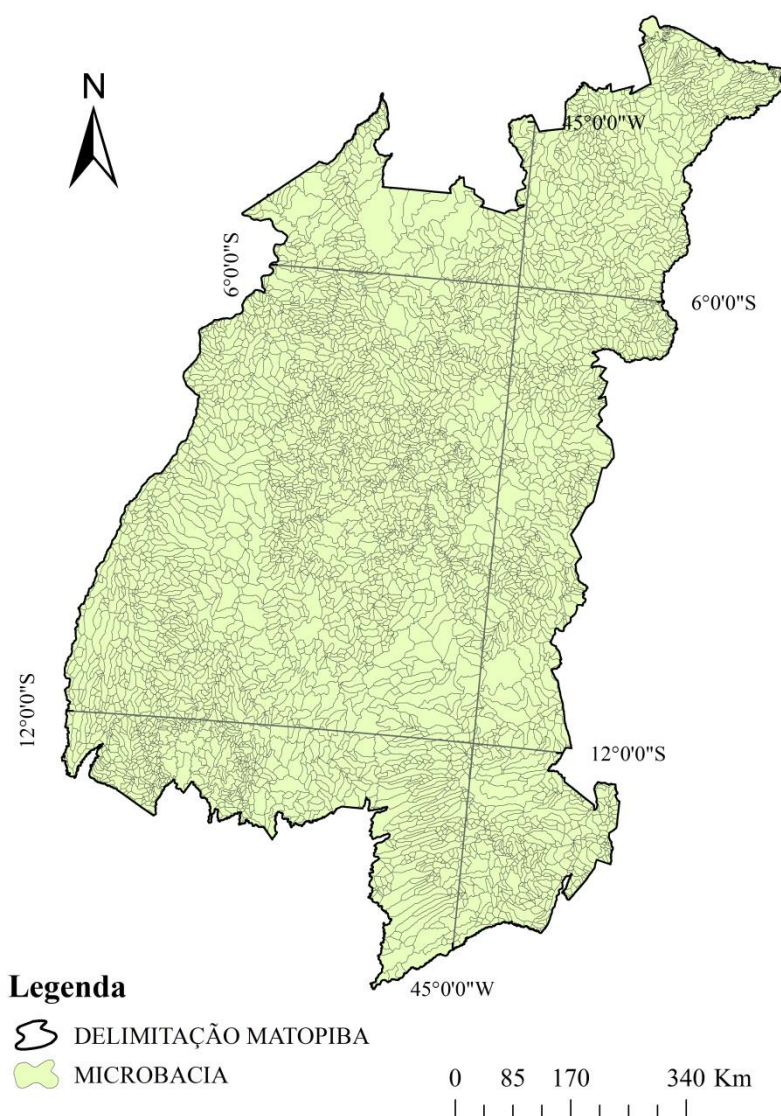
#### 5.3.4. Regionalização da área de estudo

A modelagem espacial de variáveis de interesse no DINÂMICA EGO pode ser feita utilizando uma variável de regionalização. A utilização de “regiões” de referência, como é o caso do uso de limites de microbacias hidrográficas ou de municípios, contribui para o aumento da efetividade das variáveis explicativas do fenômeno de interesse no processo de modelagem (SOARES-FILHO et al., 2009).

No presente estudo foram utilizadas as microbacias que fazem parte da área de estudo como unidades de regionalização. Neste caso, assumiu-se uma série de fatores que influenciam o desmatamento que ocorre de forma diferenciada no contexto de cada unidade da regionalização, o que resulta numa modelagem onde a situação local pode ser influenciada por fenômenos particulares (SOARES-FILHO et al., 2009).

Assim, os limites originais das microbacias em formato vetorial foram convertidos para o formato matricial, com resolução espacial de 90 metros. No formato matricial, foi atribuído um código diferente para cada unidade (microbacia).

Os limites das microbacias utilizados foram definidos pelo conjunto de ottobacias das áreas de contribuição dos trechos da rede hidrográfica codificadas segundo o método de Otto Pfafstetter para classificação de bacias. Adotou-se o nível 6 das microbacias, seguindo a classificação baseada numa numeração crescente a partir dos rios com drenagem para o mar, seguindo seus afluentes da jusante para montante. De um modo geral, a região do MATOPIBA envolve 65.535 ottobacias de nível 6, com tamanho médio de 11.576 hectares (Figura 6).



**Figura 6.** Limites das 65.535 ottobacias (nível 6) utilizadas para regionalização da modelagem do desmatamento na região do MATOPIBA.

### 5.3.5. Variáveis espaciais do modelo de simulação do desmatamento

Todas as variáveis foram processadas e ajustadas em Sistema de Informação Geográfica (ArcMap®) de maneira a apresentarem os mesmos critérios espaciais e

formatação. Inicialmente, as variáveis em formato “vetorial” foram projetadas para o Sistema de Projeção *South America Albers Equal Area Conic*. Na sequência, os dados vetoriais foram convertidos para formato matricial. Para todas as variáveis espaciais temáticas em formato matricial foi adotado a resolução espacial de 90 x 90 metros e tamanho da matriz de 11.826 colunas e 15.911 linhas. Os dados adquiridos originalmente em formato matricial foram adequados aos mesmos parâmetros de projeção cartográfica, resolução espacial e limite da área de estudo.

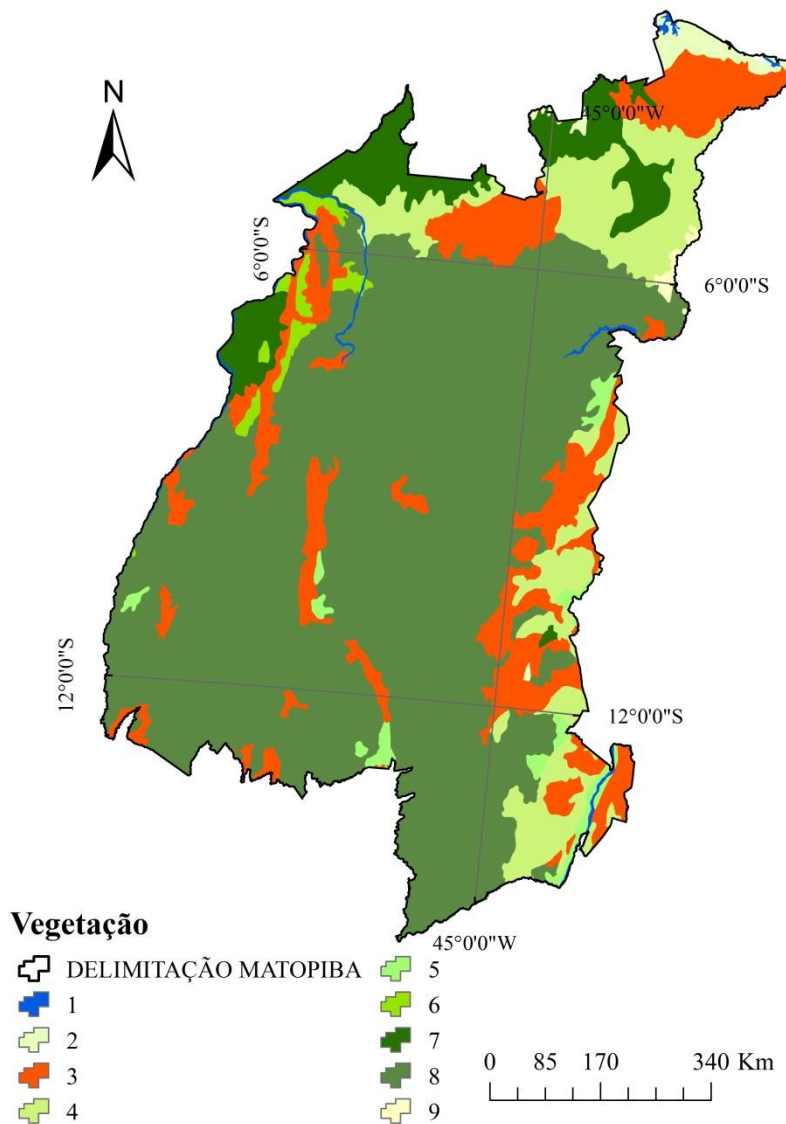
As variáveis espaciais categóricas em formato matricial utilizadas inicialmente na modelagem deste estudo incluíram: Desmatamento, cobertura vegetal, solos e áreas protegidas (Terras indígenas e Unidade de Conservação de Proteção Integral e Uso Sustentável). No conjunto das variáveis estáticas contínuas foram utilizadas as distâncias das rodovias principais e secundárias, as distâncias dos rios principais, as distâncias dos assentamentos rurais, as distâncias de zonas urbanas, as distâncias de ferrovias, a altitude e a declividade do terreno.

As variáveis que tratam das distâncias foram construídas a partir de estimativas das distâncias euclidianas. Na distância euclidiana cada *pixel* possui um valor específico que descreve uma distância no mapa em relação ao objeto de referência. Essas distâncias foram ajustadas e obtidas no sistema DINÂMICA EGO por calibração automática baseado no algoritmo de generalização de linhas. Por fim, as distâncias das áreas desmatadas, considerada uma variável dinâmica, foi estimada automaticamente no sistema DINÂMICA EGO, variando a cada ano no processo de modelagem do desmatamento na região de estudo, a partir do surgimento de novos desmatamentos. Os detalhes de cada variável utilizada na modelagem do desmatamento futuro para a região do MATOPIBA estão apresentados a seguir.

#### **5.3.5.1. Cobertura Vegetal**

A variável cobertura vegetal constitui o arranjo de nove classes com as principais tipologias florestais da região do MATOPIBA (Figura 7).



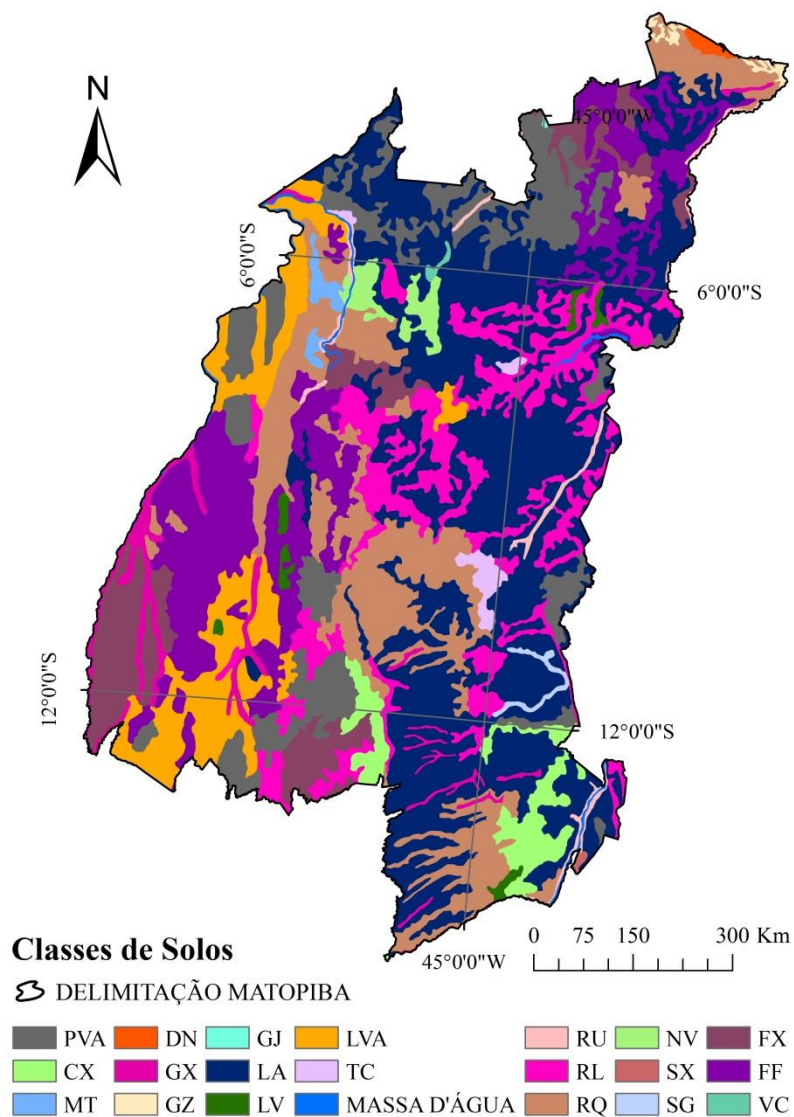


**Figura 7.** Distribuição espacial dos tipos de vegetação na região do MATOPIBA.

### 5.3.5.2. Solos

A Figura 8 apresenta a distribuição espacial das vinte classes de solos e uma de corpos de água presentes na região do MATOPIBA.

1-Massa d'água, 2-Áreas das Formações Pioneiras, 3-Áreas de Tensão Ecológica, 4- Floresta Estacional Decidual, 5-Floresta Estacional Semidecidual, 6-Floresta Ombrófila Aberta, 7-Floresta Ombrófila Densa, 8-Savana, 9-Savana Estépica.



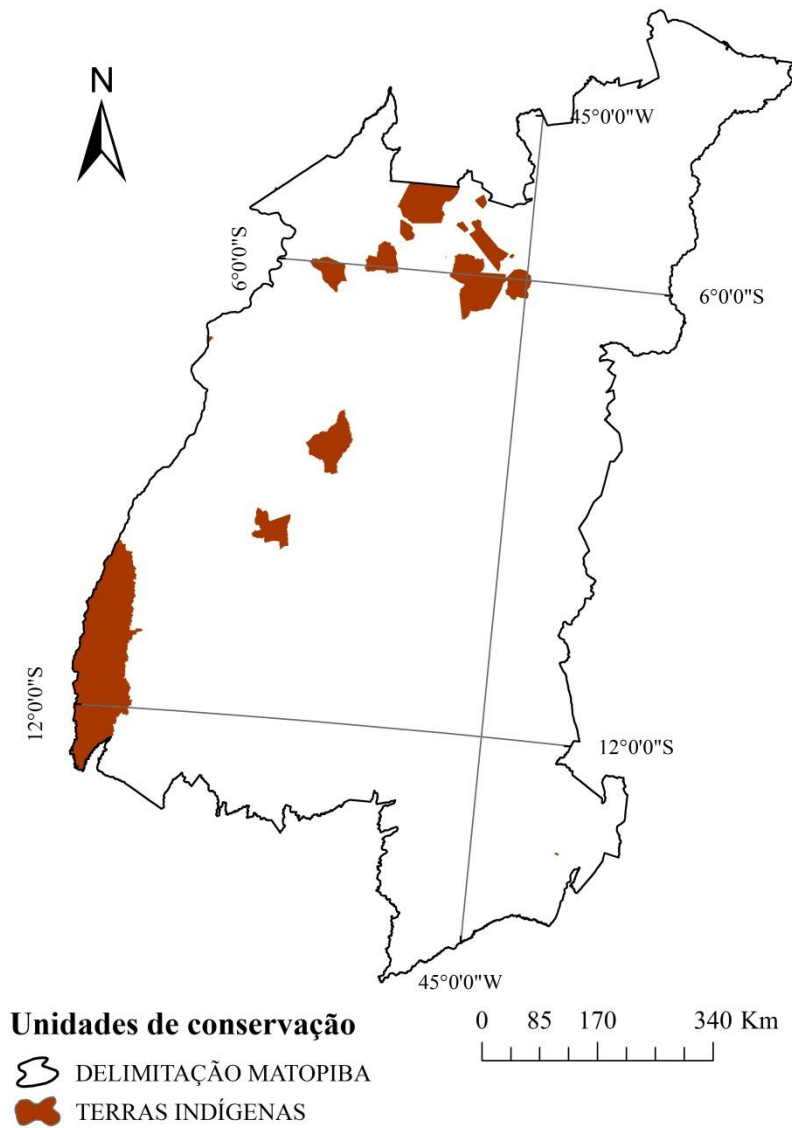
**Figura 8.** Distribuição espacial das classes de solos na região do MATOPIBA.

### 5.3.5.3. Áreas Protegidas

As Figuras 9, 10 e 11 apresentam as Terras Indígenas e Unidades de Conservação que compõe a região de estudo, respectivamente.

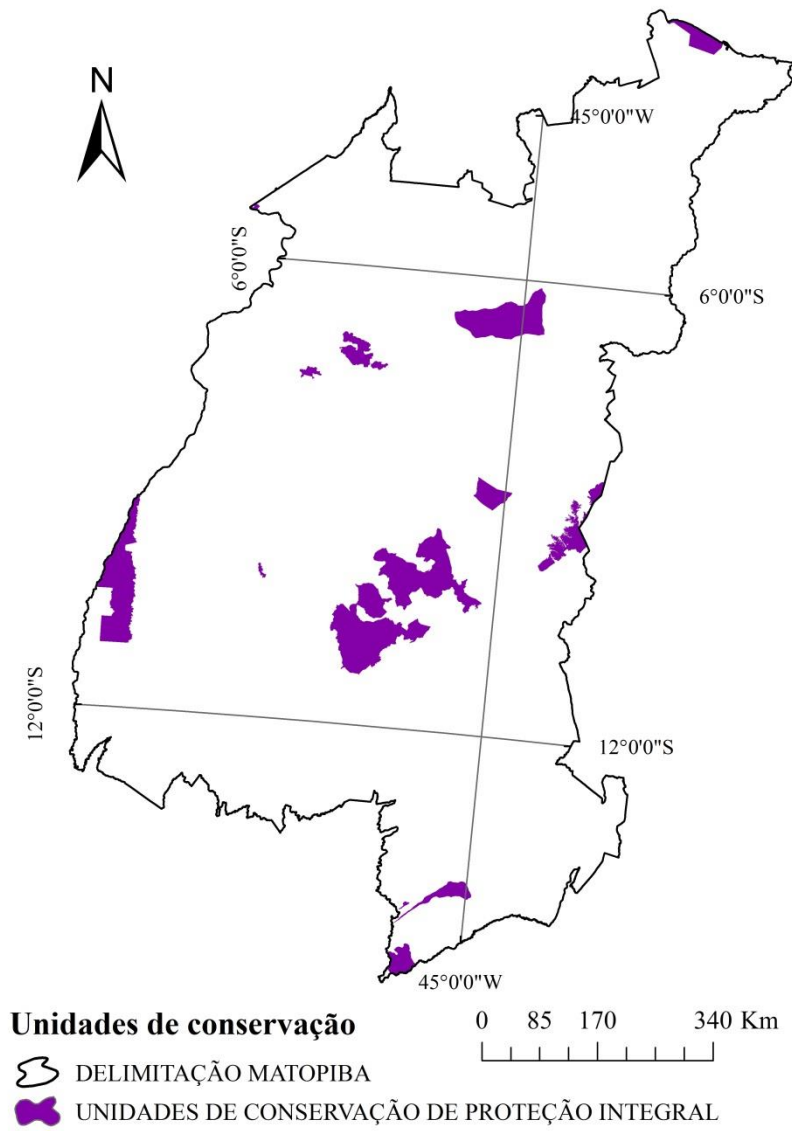
PVA: Argilossolo Vermelho-Amarelo, CX: Cambissolo Háplico, LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo, GX: Gleissolo Háplico, GZ: Gleissolo Sáfico, GJ: Gleissolo Tiomórfico, MT: Chernossolo Argilúvico, LA: Latossolo Amarelo, RL: Neossolo Litólico, TC: Luvissole Crômico, RU: Neossolo Flúvico, RQ: Neossolo Quartzarênico, NV: Nitossolo Vermelho, FF: Plintossolo Pétrico, SX: Planossolo Háplico, SG: Planossolo Hidromórfico, FX: Plintossolo Háplico, LV: Latossolo Vermelho, VC: Vertissolo Cromado, DN: Dunas.



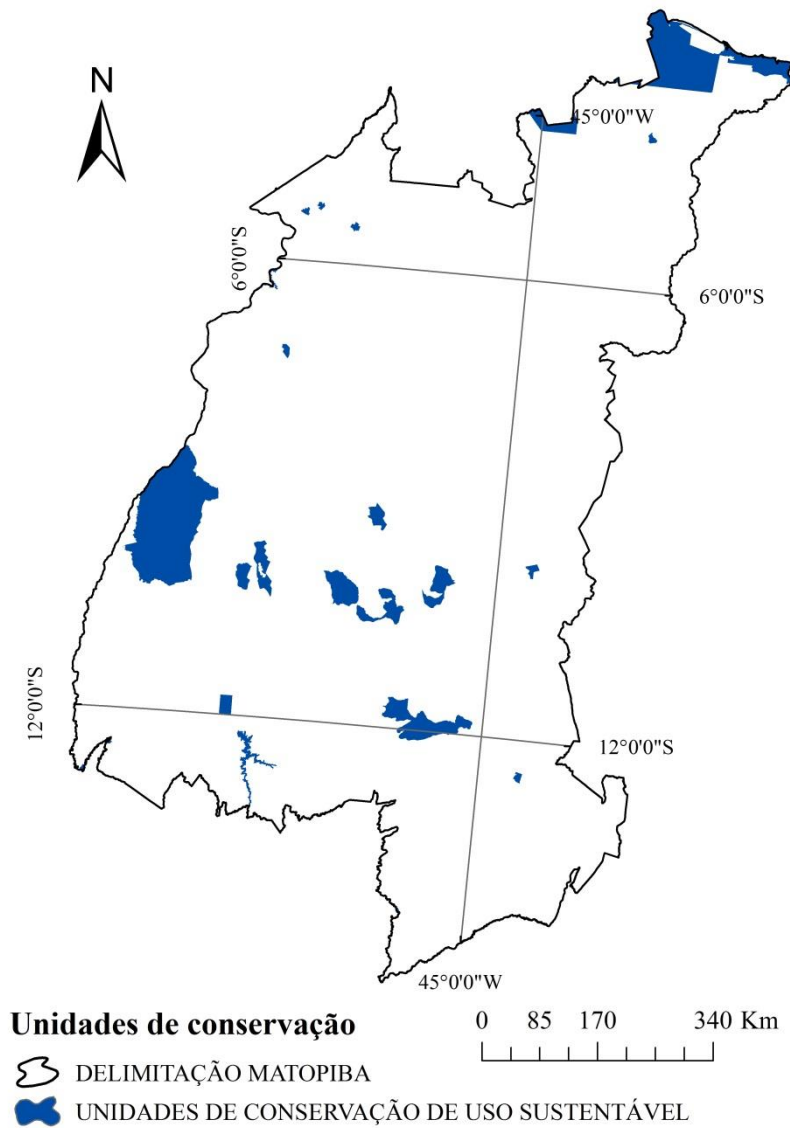


**Figura 9.** Localização das Terras Indígenas presentes no MATOPIBA.

As unidades de Conservação são integradas pelas categorias de Proteção Integral e de Uso Sustentável.



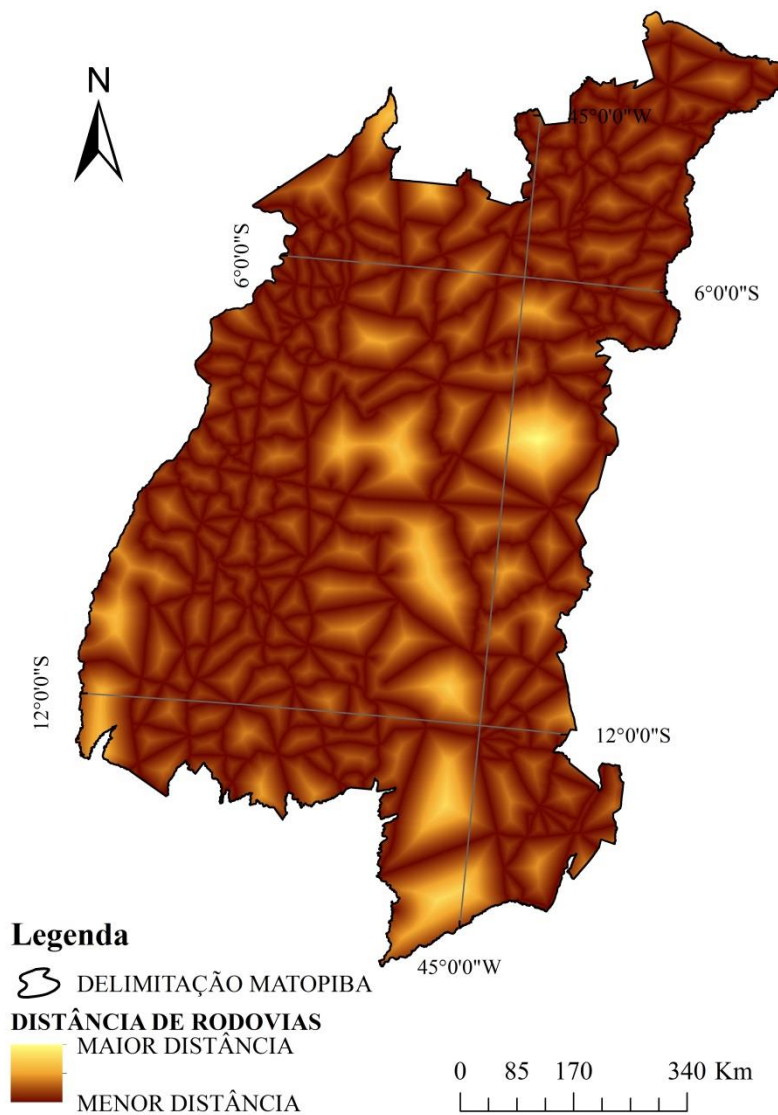
**Figura 10.** Localização das Unidades de Conservação de Proteção Integral presentes no MATOPIBA.



**Figura 11.** Localização das Unidades de Conservação de Uso Sustentável presentes no MATOPIBA.

#### 5.3.5.4. Distância das rodovias principais e secundárias

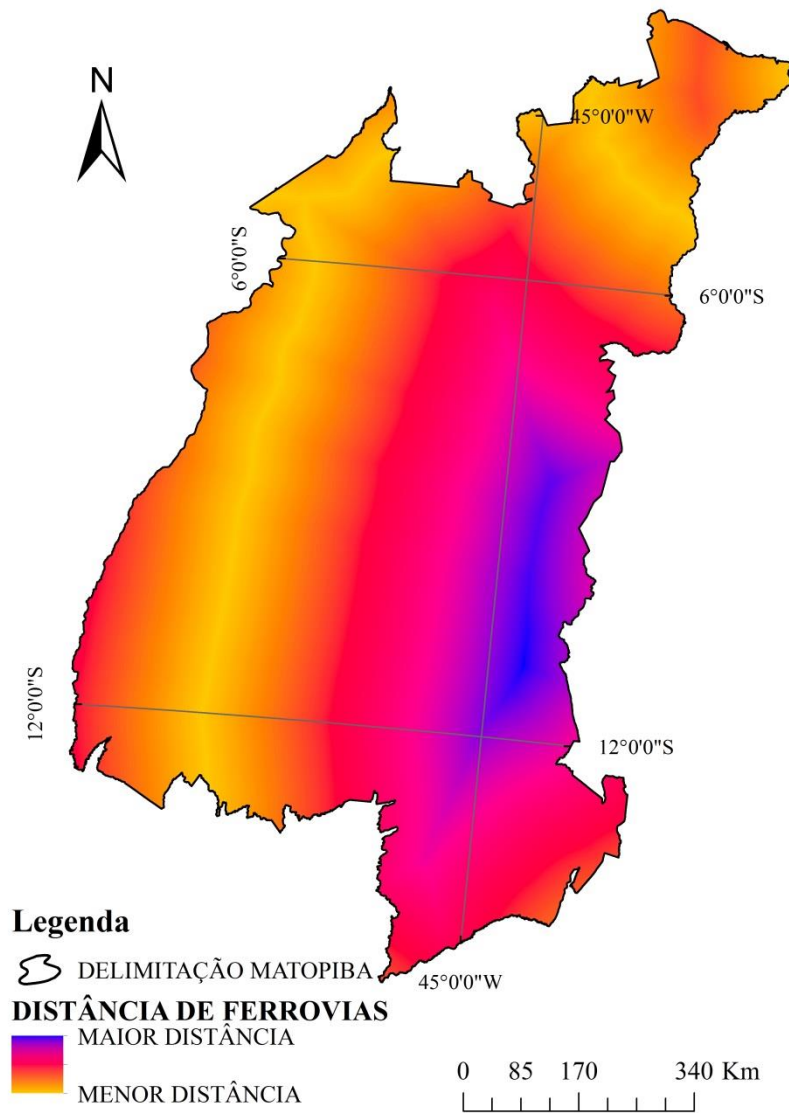
A Figura 12 apresenta a distância euclidiana das rodovias principais e secundárias da região do MATOPIBA.



**Figura 12.** Distância euclidiana das rodovias principais e secundárias na região do MATOPIBA.

#### 5.3.5.5. Distância de ferrovias

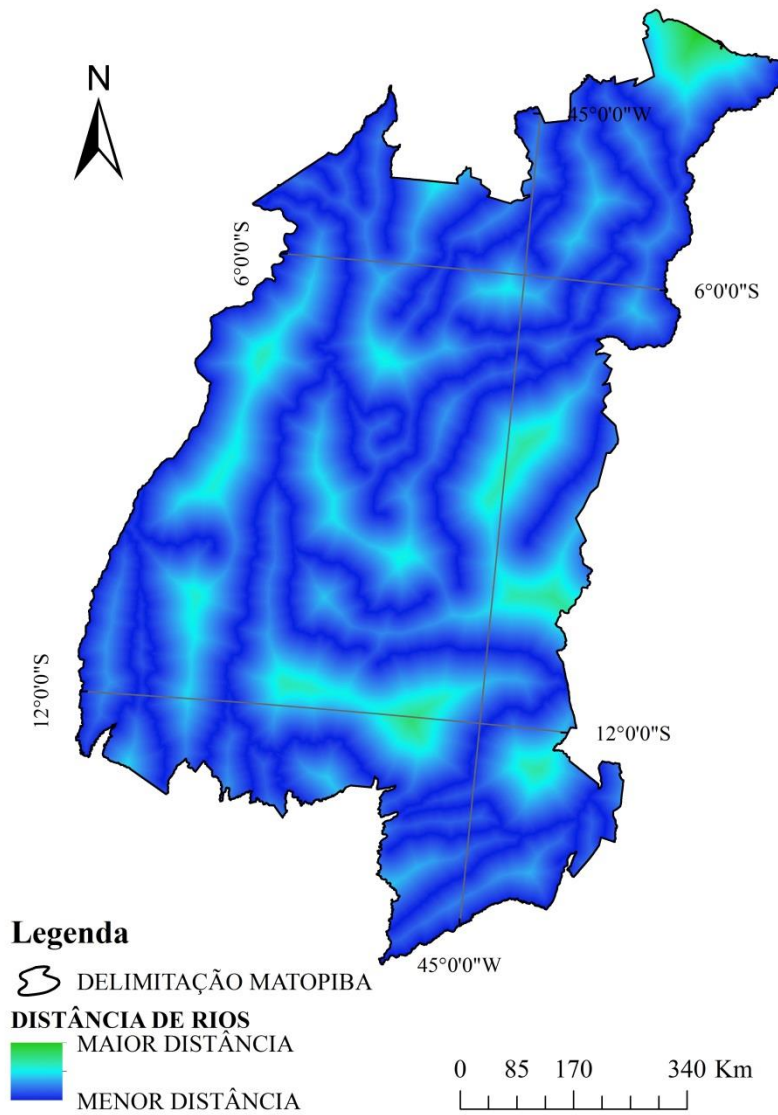
A Figura 13 apresenta a distância euclidiana das ferrovias na região do MATOPIBA.



**Figura 13.** Distância euclidiana das ferrovias na região do MATOPIBA.

### 5.3.5.6. Distância dos rios principais

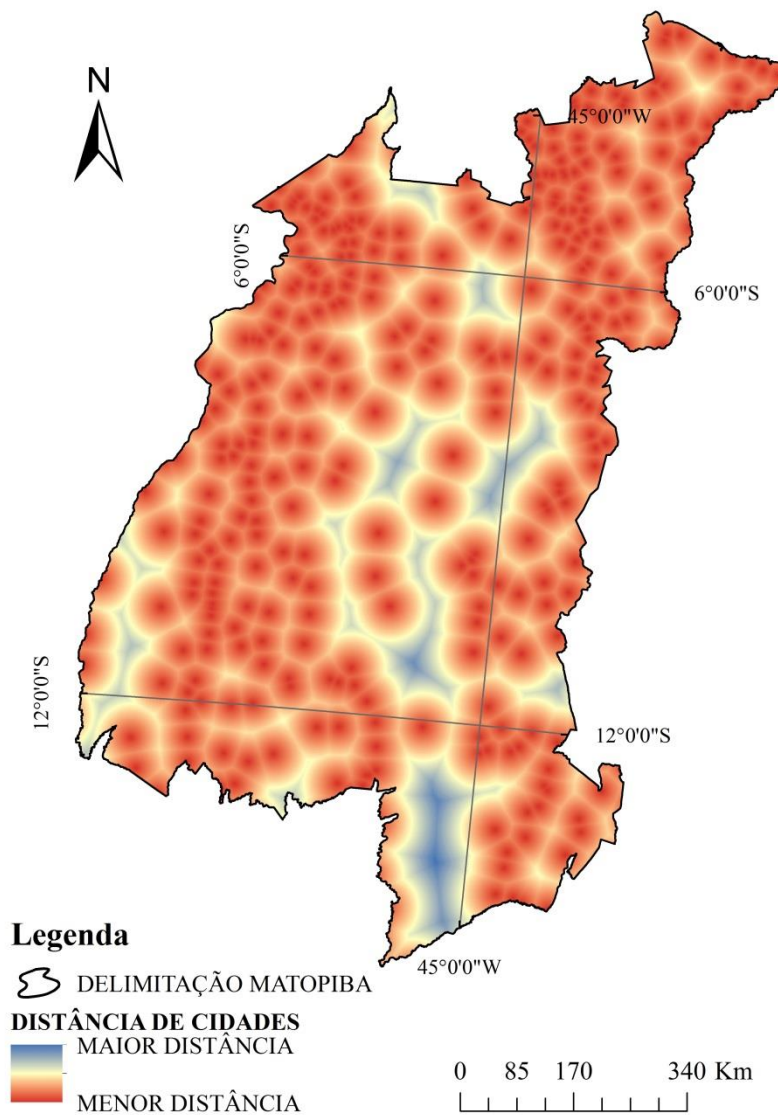
A Figura 14 apresenta a distancia euclidiana dos principais rios na região do MATOPIBA.



**Figura 14.** Distância euclidiana dos principais rios na região do MATOPIBA.

### 5.3.5.7. Distância de centros urbanos

A Figura 15 apresenta a distância euclidiana das sedes municipais da região do MATOPIBA.

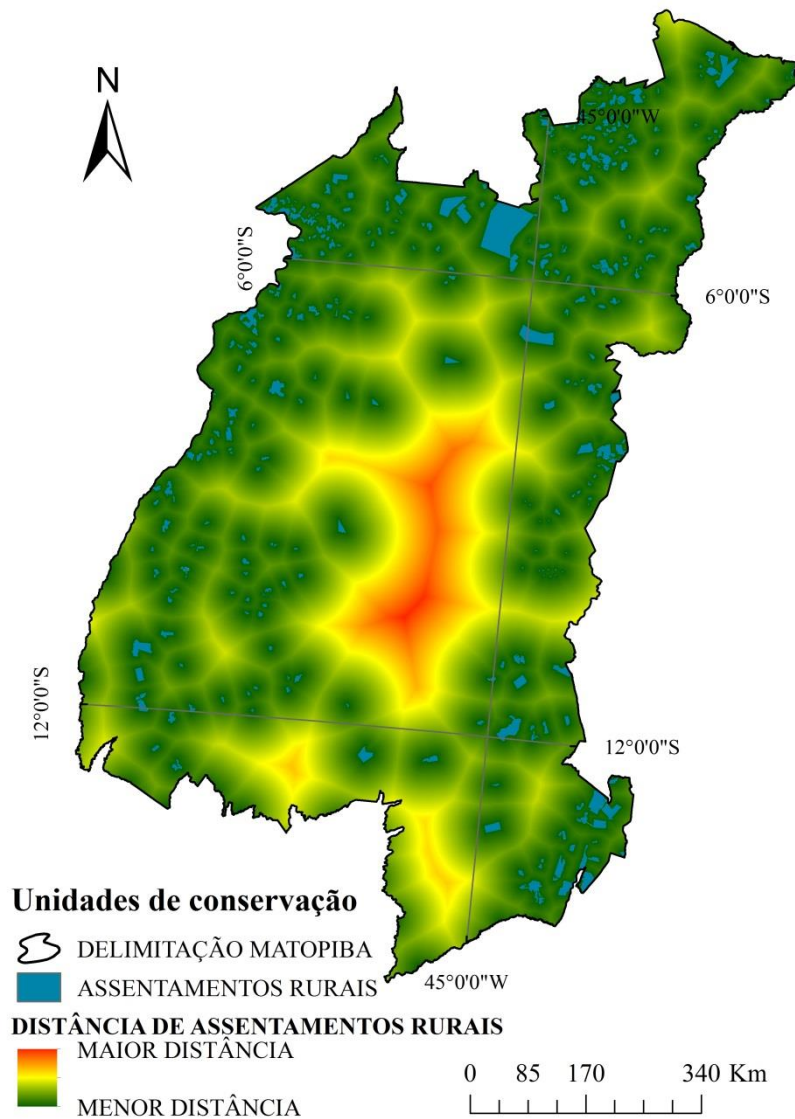


**Figura 15.** Distância euclidiana das sedes municipais (atração urbana) na região do MATOPIBA.

#### 5.3.5.8. Distância euclidiana dos Assentamentos Rurais

A Figura 16 apresenta a distância euclidiana dos assentamentos rurais na região do MATOPIBA.



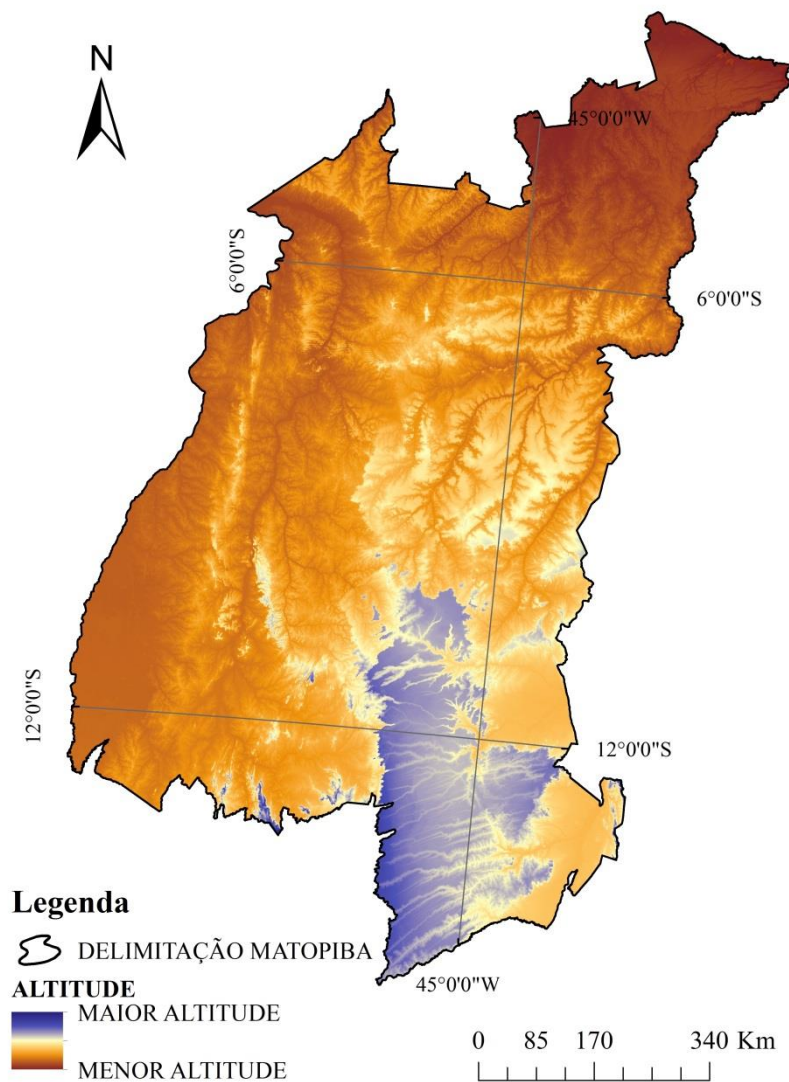


**Figura 16.** Distância euclidiana dos Assentamentos Rurais na região do MATOPIBA.

### 5.3.5.9. Altitude

A Figura 17 apresenta o Modelo de Elevação Digital produzido pelo programa SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) e disponibilizado pelo projeto TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE) na base de dados de relevo e da topografia do Brasil.

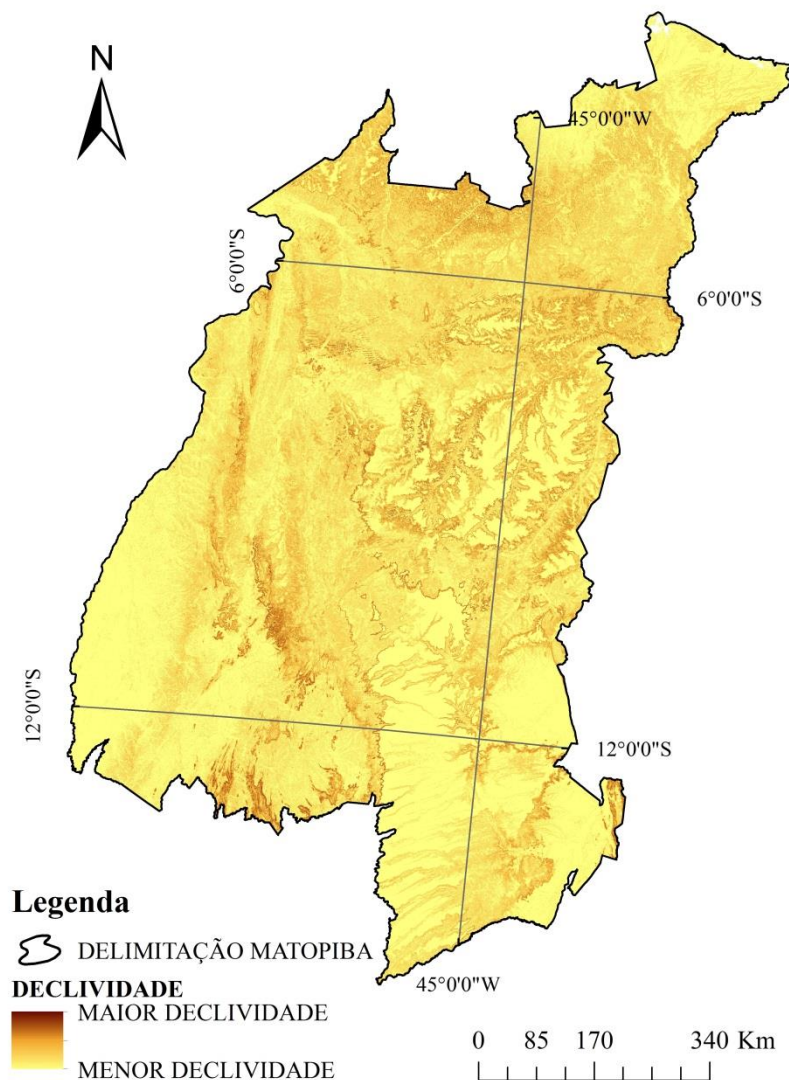




**Figura 17.** Altitude representada pelo Modelo de Elevação Digital TOPODATA para a região MATOPIBA.

#### 5.3.5.10. Declividade

A Figura 18 apresenta a declividade derivada do Modelo de Elevação Digital TOPODATA.



**Figura 18.** Declividade derivada do Modelo de Elevação Digital TOPODATA da região do MATOPIBA.

### 5.3.6. Modelagem espacialmente explícita do desmatamento

Foi utilizado o *software* DINÂMICA EGO para a modelagem espacialmente explícita do desmatamento na região do MATOPIBA. As etapas da modelagem incluem a geração de matrizes de transição temporal do desmatamento, a calibração do modelo com base em dados observados, a criação do modelo de simulação do desmatamento, a validação do modelo e a construção e aplicação de cenários futuros para a região de estudo.

A seguir, são apresentadas as cinco etapas para obtenção dos cenários simulados e projetados do desmatamento na região do MATOPIBA utilizando o sistema DINÂMICA EGO.

- 1) Geração das matrizes de transição;
- 2) Calibração do modelo;
- 3) Criar e aplicar um modelo de simulação do desmatamento;
- 4) Validação do modelo;
- 5) Geração de cenários futuros;

As etapas foram desenvolvidas e processadas em modelos separados, onde cada etapa foi responsável por produzir um resultado, que se tornou um dado de entrada nas etapas subsequentes da modelagem.

#### **5.3.6.1. Geração da matriz de transição**

A matriz de transição compreendeu o processo de estimativa das taxas de transição ou mudanças na paisagem ocorridas entre o ano inicial e final do período de estudo. No presente estudo, as taxas de transição corresponderam às taxas de desmatamento observadas em período pré-definidos de interesse e utilizadas para estimar o desmatamento em anos futuros. Para a estimativa das taxas de transição foi utilizada a ferramenta *Determine Transition Matrix*, um *functor*<sup>1</sup> da modelagem no DINÂMICA EGO, que permite estimar as taxas denominadas “*Single Step*” (Passo Único) e “*Multiple Step*” (Passo Múltiplo) (SOARES-FILHO et al., 2009). O termo “*Single Step*” refere-se à matriz de transição ocorrida durante todo período de tempo da análise (global) e o termo “*Multiple Step*” refere-se à matriz de transição gerada por intervalo de tempo durante o período da análise (SOARES-FILHO et al., 2009).

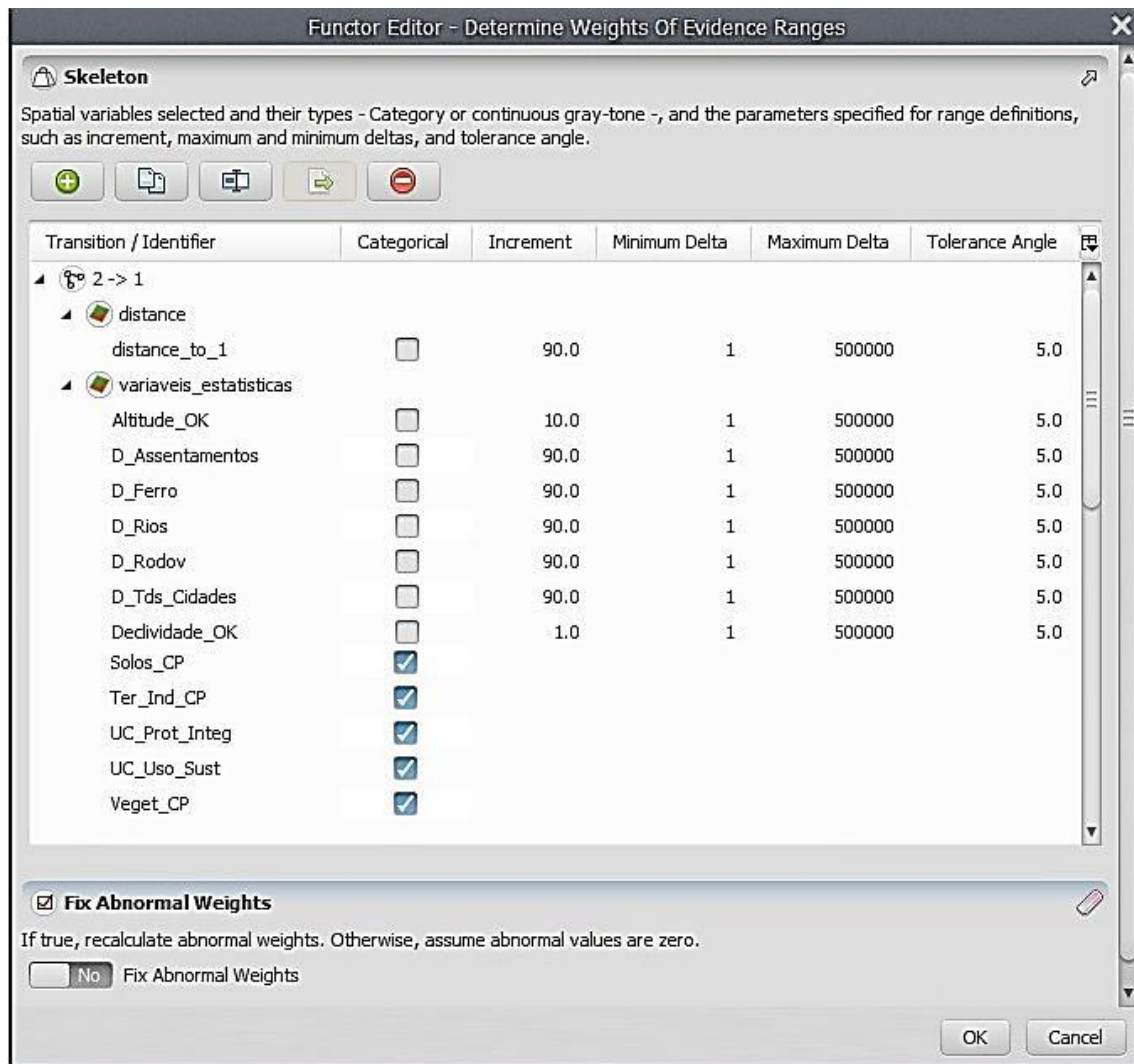
#### **5.3.6.2. Calibração do modelo**

Para a calibração do modelo, foram estimadas faixas de distâncias para as variáveis estáticas contínuas e para cada uma dessas faixas foi calculado os pesos de evidência em relação ao objeto de referência dos mapas de variável.

As variáveis dinâmicas e as variáveis estáticas contínuas necessitam dos parâmetros de classificação conforme ilustrado na Figura 19. Os parâmetros definidos foram: o incremento mínimo, que no caso de mapas de distâncias são equivalente à resolução das células (90 metros); os deltas máximos/mínimos e ângulos de tolerância foi utilizado os parâmetros sugeridos pela ferramenta “*Determine Weights Of Evidence Ranges*”.

As variáveis estáticas categóricas foram definidas apenas como variáveis de categoria (Figura 19) e os pesos de evidência foram estimados para cada tipo específico de categoria de cada variável. As variáveis estáticas contínuas (declividade, altitude e as

distâncias euclidianas) foram reclassificadas em intervalos ou faixas de interesse. No caso da variável declividade (estimada em graus), adotou-se um incremento de 1° para cada intervalo. Para a variável altitude (em metros), o incremento definido foi de 10 m (Figura 19).



**Figura 19.** *Functores* do DINÂMICA EGO onde são determinados os parâmetros para processamento das faixas e cálculo dos pesos de evidência.

<sup>1</sup> *Functor*: Ferramentas responsáveis pela efetivação de tarefas específicas no DINÂMICA EGO (SOARES-FILHO et al., 2009).

### 5.3.6.3. Criar e aplicar um modelo de simulação do desmatamento

Para o desenvolvimento do modelo de simulação do desmatamento no programa DINÂMICA EGO, foram utilizadas como entrada: a matriz de transição “*Multiple Step*”; os pesos de evidências calculados; o mapa de desmatamento inicial; os mapas de variáveis estáticas e o mapa de microbacias da região MATOPIBA.

Essencialmente, o modelo possui duas funções na plataforma do programa DINÂMICA EGO que são responsáveis pelo processo de transição das células de um estado a outro. As funções são “*expander*” e “*patcher*”. O “*expander*” tem papel de expandir o desmatamento a partir das áreas já desmatadas e a função “*patcher*” de criar novas áreas de desmatamento (SOARES-FILHO, 2009).

É necessário determinar o percentual de células que vão sofrer mudança em cada período de tempo do cenário por “*expander*” através da função “*Modulate change matrix*”, ficando automaticamente ao programa providenciar o restante para a função “*patcher*”. Neste trabalho o percentual definido para “*expander*” foi de 70%, obtido através de sucessivos testes, até atingir um resultado que evidenciou um melhor efeito espacial da simulação do desmatamento na área de estudo.

Em seguida, foi necessário estabelecer no modelo a média, a variância e a isometria nas funções “*expander*” e “*patcher*”. Para “*expander*”, a média utilizada foi de 9 hectares, a variância de 18 hectares e a isometria de 1,6, sendo utilizados os mesmos parâmetros para “*patcher*”. Esses valores foram determinados após testes de validações sucessivas.

Logo depois da fixação dos parâmetros supracitados, o modelo foi executado gerando como saída um mapa simulado final para o ano de 2010. Igualmente foi originado o mapa de probabilidade, indicando as áreas mais susceptíveis ao desmatamento, de acordo com os pesos de evidência gerados anteriormente.

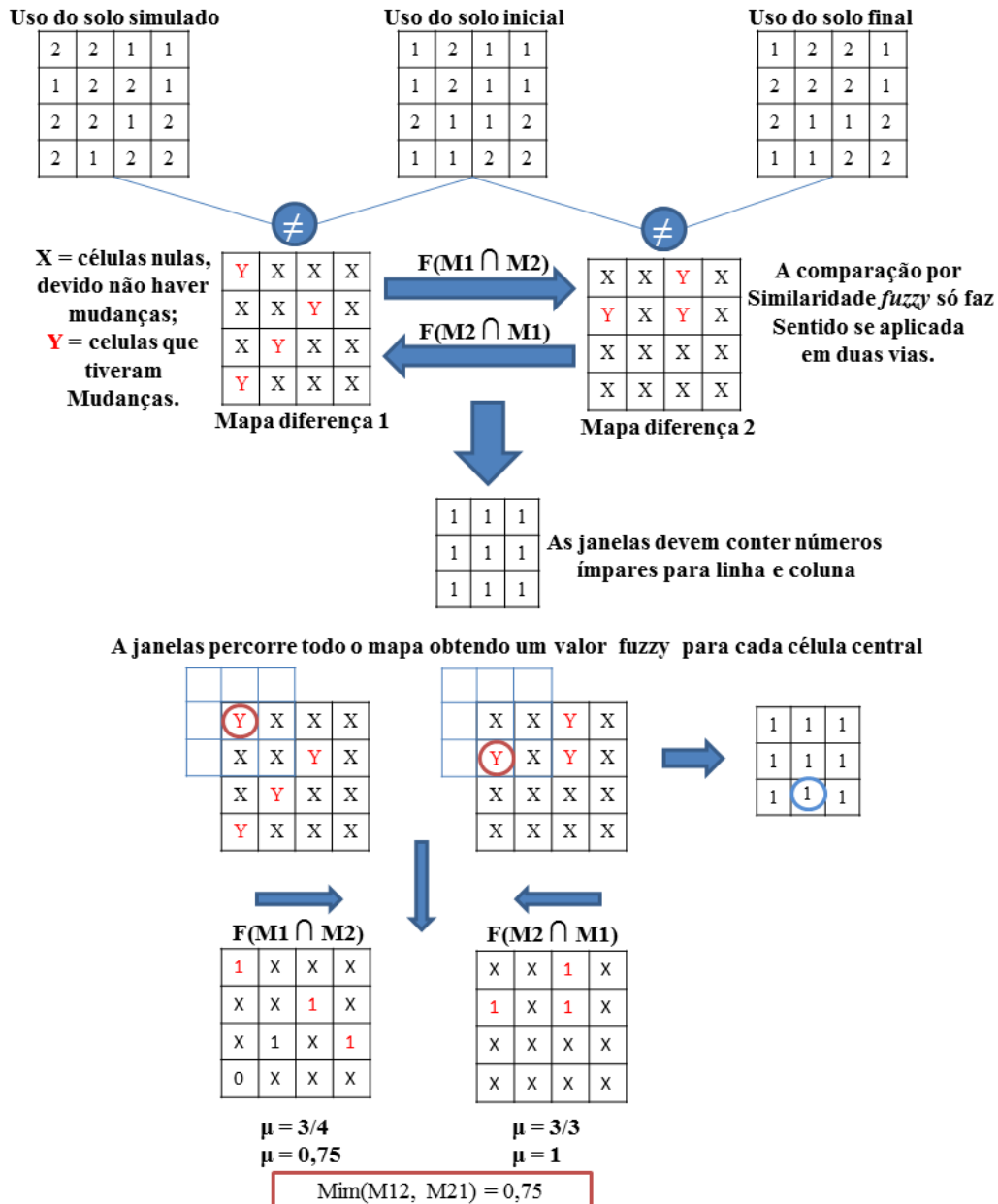
### 5.3.6.4. Validação do modelo

Esta etapa consiste em investigar a similaridade mínima entre o desmatamento simulado e o desmatamento de referência (observado). Para isso, foi usado o mapa de cobertura da terra simulado para o ano 2010, e o desmatamento (observado) do ano correspondente, proveniente do PMDBBS do IBAMA/CSR para o Cerrado na região do MATOPIBA.

A validação foi feita aplicando o método da similaridade *Fuzzy*, que consiste na comparação dos dados produzidos a partir do modelo e observados do desmatamento utilizando as diferenças para distintos tamanhos de janelas. Esta comparação é feita com

função de decaimento constante que utiliza janelas de tamanhos diferentes de 1x1 a 13x13 *pixels* (HAGEN 2003) (Figura 20).

No processo de modelagem, o *software* computa as diferenças entre os mapas de uso do solo inicial (2002) e final (2010) e logo, relaciona as diferenças entre o mapa de uso base (2002) e o mapa simulado para o ano de 2010. Dessa forma, os mapas de diferenças são usados em funções que derivam de valores de similaridade mínima para cada tamanho de janela.



**Figura 20.** Método de comparação *Fuzzy* usando mapa de diferenças e uma função de decaimento constante.

Fonte: Adaptado de SOARES-FILHO (2009).

### 5.3.6.5. Obtenção dos cenários futuros

A elaboração de cenários é um instrumento que pode servir para compreender e antecipar as mudanças potenciais no futuro e, assim, melhorar as tomadas de decisões. Entretanto, os cenários não são previsões em sentido exato, mas apresentam a visão de diferentes futuros alternativos, plausíveis e imaginados (CHERMACK, 2007). Neste estudo, foram elaborados três cenários: Cenário Tendencial, Otimista e Pessimista.

**CENÁRIO TENDENCIAL:** Neste cenário foram consideradas as perspectivas atuais dos padrões de desmatamento denominado de “o mesmo de sempre”, utilizando a taxa média anual da série histórica de desmatamento observado entre 2002 e 2010 para a calibração dos pesos de evidências.

**CENÁRIO OTIMISTA:** A particularidade principal desse cenário foi a aplicação da Lei Federal Nº 9.985/2000 que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) e determinou no Art. 25 uma Zona de Amortecimento deve ser observada no entorno das unidades de conservação, exceto em Áreas de Proteção Ambiental e Reserva Particular do Patrimônio Natural.

A Zona de Amortecimento tem como propósito minimizar os impactos negativos sobre a unidade e pode ser definida no ato de criação da unidade ou posteriormente na aprovação de seu Plano de Manejo. Tais Zonas devem abranger distâncias variadas de acordo com estudos específicos realizados, e/ou seguir uma resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 428/2010. Esta resolução define uma faixa de três quilômetros a partir do limite da Unidade de Conservação, quando a Zona de Amortecimento não estiver definida por estudos específico ou plano de manejo da Unidade.

Outro fator considerado neste cenário foi o que estabelece o Código Florestal, (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012) em relação aos dois tipos de áreas protegidas dentro das propriedades rurais: as Reservas Legal (RL), definidas como uma parcela de área natural da propriedade reservada para preservação, em que suas dimensões são definidas de acordo com o Bioma que a propriedade se encontra, e as Áreas de Preservação Permanente (APP) compostas pelas margens de rios, cursos d'água, lagos, lagoas e reservatórios, bem como topos de morros ou encostas com declividade elevada, existentes na propriedade rural.

Dessa forma, levou-se em consideração neste Cenário a faixa mínima para a zona de amortecimento de três quilômetros para as Unidades de Conservação e duzentos metros de Áreas de Proteção Permanente para os principais rios. No ultimo caso, considerou que uma largura média do leito destes rios variando de duzentos e seiscentos metros.

Por fim, neste Cenário foi utilizada a taxa média anual de desmatamento a série histórica observada entre 2008 e 2010 para calibração dos pesos de evidências.

**CENÁRIO PESSIMISTA:** Neste cenário, foi utilizada a taxa anual de desmatamento observada entre 2002 e 2008, considerada superior aos demais períodos observados (2002-2010 e 2008-2010). Esta taxa de desmatamento utilizada na modelagem no Cenário Pessimista influenciou diretamente a quantidade desmatada no futuro e a estimativa dos pesos de evidências relacionados ao comportamento das variáveis em relação aos novos desmatamentos. Neste Cenário, assumiu-se também a ausência da fiscalização ambiental do desmatamento e da implantação do Cadastro Ambiental Rural (CAR) como exigências do Código Florestal instituído pela Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012.

### 5.3.7. ANÁLISE DA FRAGMENTAÇÃO DA PAISAGEM

Para estimar as métricas de fragmentação da paisagem natural na região do MATOPIBA, foi utilizado o *software* Fragstats®, versão 4.2 (MCGARIGAL, 2013). O Fragstats® é constituído num conjunto de ferramentas que quantifica a estrutura da paisagem referente à cobertura da terra a partir de índices estatísticos (LANG & BLASCHKE, 2009).

Para analisar os padrões espaciais da paisagem, foram utilizados os dados oriundos da modelagem do desmatamento na região do MATOPIBA, usando os arquivos matriciais simulados a partir dos três cenários correspondentes ao ano 2050. Os parâmetros dos dados utilizados no FRAGSTATS foram:

- a. A resolução espacial (*cell size*) de 90 m;
- b. Valor do fundo (*Background*) em 999, indicando que todas as categorias com esse valor não serão analisadas;
- c. Mesmo número de linhas (*Rows*) e de colunas (*Columns*) nos mapas fornecidos pelo *software* DINÂMICA EGO;
- d. Tipo de regra de vizinhança definida com oito células.
- e. Borda dos fragmentos estabelecida foi de 200 metros e utilizou-se um raio de busca de 100 m para o cálculo do Índice de Proximidade.



Além disso, para a análise da fragmentação no FRAGSTATS foram adotados os códigos 1 = desmatamento e 2 = remanescente da vegetação natural. A análise da fragmentação foi enfocada na classe “2”, estimando-se as seguintes métricas da paisagem: Métricas de Área, Densidade e Borda, Métricas de área de interior, Métricas de forma e Métrica de agregação (Tabela 5).

**Tabela 5.** Métricas utilizadas na quantificação da estrutura da paisagem na região do MATOPIBA.

Métrica	Variável	Grupo
Número de fragmentos	NP	
Área do maior fragmento (%)	LPI	
Porcentagem de fragmentos de mesma classe na paisagem (%)	PLAND	
Área de classe (hectares)	CA	Área, Densidade e Borda
Área média dos fragmentos (hectares)	AREA_MN	
Densidade de bordas (metros/ hectares)	ED	
Densidade de manchas (número por 100 hectares)	PD	
Total da área de Interior (hectares)	TCA	
Porcentagem de área de Interior	%CA	
Número de áreas centrais disjuntas (adimensional)	NDCA	
Índice de área central médio (%)	CAI_MN	Área de interior
Área média de núcleo	CORE_MN	
Porcentagem da paisagem ocupada pela área de interior	CPLAND	
Média do Índice de Dimensão Fractal	FRAC_MN	Métricas de forma
Média do Índice de Círculo Circunscrito	CIRCLE_MN	
Distância média Euclidiana do Vizinho mais Próximo (metros)	ENN_MN	
Desvio Padrão da Métrica Distância Euclidiana do Vizinho mais Próximo (metros)	ENN_SD	Métrica de agregação
Intervalo do Vizinho mais Próximo (metros)	ENN_RA	

Por fim, os resultados das métricas obtidas no *Fragstats* para cada cenário estudado (Tendencial, Otimista e Pessimista) foram agrupados e tabulados para as devidas análises.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. ACURÁCIA DA BASE DE DADOS DO DESMATAMENTO PARA A ÁREA DE ESTUDO

Os resultados da avaliação da acurácia da classificação do desmatamento do PMDBBS-IBAMA/CRS para o ano de 2010 estão apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6.** Matriz de confusão para a estimativa da acurácia da classificação do desmatamento de 2010 do PMDBBS-IBAMA/CRS comparados com observações visuais em duas cenas *RapidEye* de 2011.

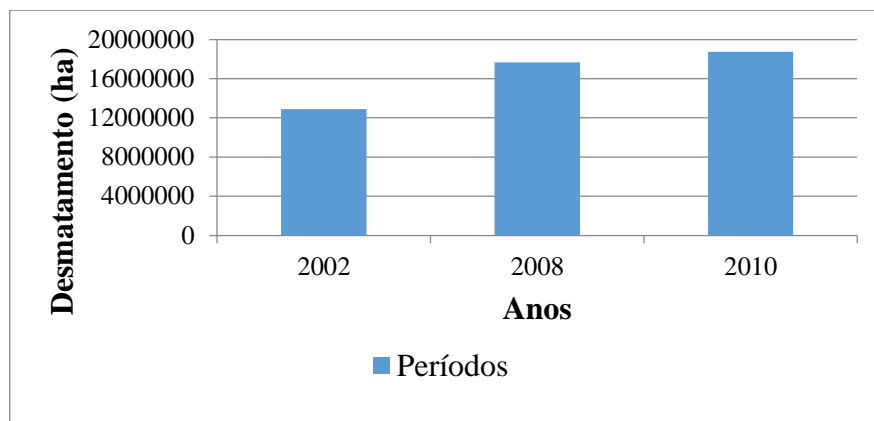
		CLASSIFICAÇÃO			Erro de Comissão (%)
		Desmatado	Remanescente	$\Sigma$	
VERDADE	Desmatado	196*	31*	227*	7,10
	Remanescente	15*	158*	173*	16,4
	$\Sigma$	211*	198*	400*	
	Erro de Omissão (%)	13,66	8,67	Erro global (%)	11,5

Exatidão global = 88,5%; coeficiente *Kappa* global = 0,76; \* pontos amostrados.

Os resultados da acurácia indicam que o mapeamento conduzido pelo PMDBBS-IBAMA/CRS apresentou boa conformidade dos dados de detecção e estimativas do desmatamento. Tomando como referência a classificação de acurácia proposta por LANDS E KOCH (1977), o resultado da classificação do desmatamento na região do MATOPIBA avaliado neste estudo pode ser considerado muito bom (*Kappa* global superior a 61%). Da mesma forma, analisando os valores de acurácias sugeridos por FOODY (2002), a classificação do desmatamento conduzida pelo PMDBBS-IBAMA/CRS pode ser considerada boa, pois apresentou uma Acurácia Global superior a 85%.

Os erros de comissão ocorrem ao incluir um objeto na classe a qual ele não pertence e erros de omissão quando um objeto é excluído da classe a que pertence, como verificado na Tabela 6 (CONGALTON e GREEN, 1999).

De modo geral, os resultados dos estudos conduzidos pelo PMDBBS-IBAMA/CRS, revelam que haviam sido desmatados 12.894.798, 17.667.484 e 18.751.734 de hectares de cerrado na região do MATOPIBA até 2002, 2008, 2010 respectivamente (Figura 21).



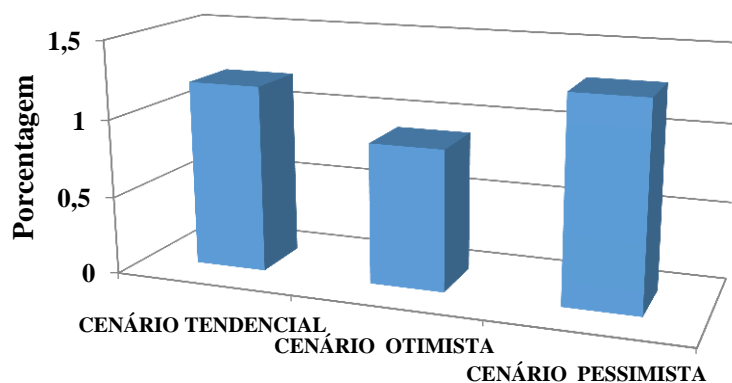
**Figura 21.** Desmatamento estimado para a região do MATOPIBA pelo PMDBBS-IBAMA/CRS em 2002, 2008 e 2010.

Os dados do PMDBBS-IBAMA/CSR revelaram que entre 2002 e 2008 foi o período com maior taxa de desmatamento ( $1,3\% \text{ ano}^{-1}$ ), seguido imediatamente pelo período entre 2002 e 2010, com uma taxa de  $1,2\% \text{ ano}^{-1}$ .

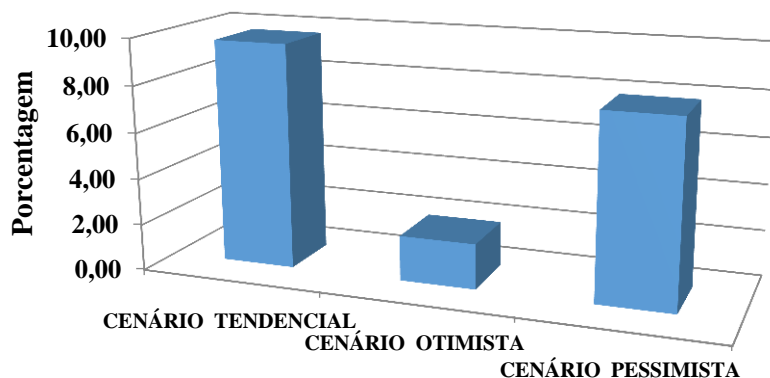
## 6.2. PARÂMETROS DE ENTRADA DO MODELO

Inicialmente, foram obtidos no DINÂMICA EGO as matrizes de transição global *Single Step* (Único Passo) e anuais *Multi Step* (Múltiplos Passos) referentes às séries históricas de desmatamento nos períodos de 2002 a 2010, 2002 a 2008 e 2008 a 2010.

Foram estimados na matriz de transição de Múltiplos Passos as taxas anuais de desmatamento de 1,2%, 0,9% e 1,3% (Figura 22) para os períodos entre 2002 e 2010, 2008 e 2010 e 2002 e 2008, respectivamente. A partir da matriz de transição *Single Step* (Passo Único), estimou-se as taxas de desmatamento de 9,71%, 1,95% e 7,91% para os períodos de 2002 a 2010, 2008 a 2010 e 2002 a 2008 (Figura 23).



**Figura 22.** Matrizes de transição de passo múltiplo (taxa anual) do desmatamento adotadas para os cenários Tendencial, Otimista e Pessimista.



**Figura 23.** Matrizes de transição de passo único (período de análise) do desmatamento correspondentes aos cenários Tendencial, Otimista e Pessimista.

A partir dos resultados das matrizes de transição, foram estimadas as probabilidades de transição para cada célula (90 x 90 metros) na área de estudo, utilizando valores de pesos de evidência obtidos para as variáveis espaciais utilizadas nesta análise. Como exemplo desta etapa, a Figura 24 apresenta os resultados das estimativas dos pesos evidência da variável “distância de áreas desmatadas”.

Transition: 2->1 Variable: distance/distance_to_1					
Range	Possible Transitions	Executed Transitions	Weight Coefficient	Contrast	Significant?
0 <= v < 180	3784970	842133	0.977920005590218	1.05695446358417	yes
180 <= v < 270	3079326	639366	0.889851543266142	0.945437923693714	yes
270 <= v < 360	2126407	414962	0.812205035488825	0.845502367980254	yes
360 <= v < 450	1889610	352766	0.757430113256505	0.784306758963752	yes
450 <= v < 540	2351458	416499	0.693154051650629	0.723257299803955	yes
540 <= v < 630	1614224	274011	0.641695823646756	0.660178003403453	yes
630 <= v < 720	1769133	287206	0.588212589053613	0.606438739456591	yes
720 <= v < 810	1693659	266092	0.549226645631722	0.565243623822404	yes
810 <= v < 900	1450827	218758	0.500627354594818	0.512839623487467	yes
900 <= v < 990	1441835	209501	0.457174708988849	0.46806367019139	yes
990 <= v < 1080	1218712	172990	0.42988236205278	0.438410213238046	yes
1080 <= v < 1170	1344031	182558	0.378735032229862	0.386867840341608	yes
1170 <= v < 1260	1344076	176701	0.341057528805227	0.348270297317226	yes
1260 <= v < 1350	1148605	145426	0.297849537140655	0.303122546657396	yes
1350 <= v < 1440	1094991	134826	0.265991321140692	0.270419125589914	yes
1440 <= v < 1530	1019396	122510	0.238375303240851	0.24202402916454	yes
1530 <= v < 1620	1082633	125610	0.198465851713087	0.201643174340203	yes
1620 <= v < 1710	1016861	115329	0.172804782637045	0.175373697670713	yes
1710 <= v < 1800	935003	102600	0.135632641803071	0.137456609216293	yes
1800 <= v < 1890	873964	93469	0.106812904348228	0.108138712769597	yes
1890 <= v < 1980	943004	98051	0.0753181545759014	0.076314997450239	yes

**Figura 24.** Valores dos pesos de evidência para os intervalos de distância da variável dinâmica.

A primeira coluna (*Range*) representa as diferentes faixas ou categorias, a segunda coluna (*Possible Transitions*) são os tamanhos das faixas ou categorias em células, a

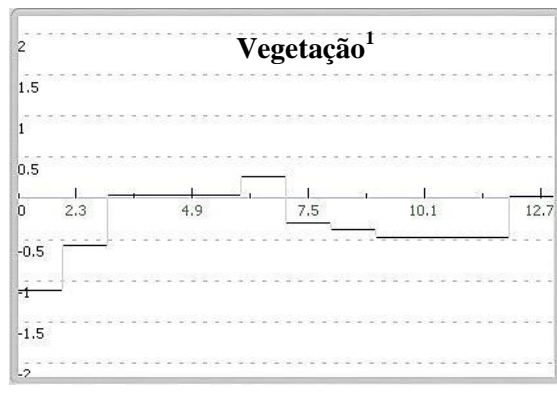
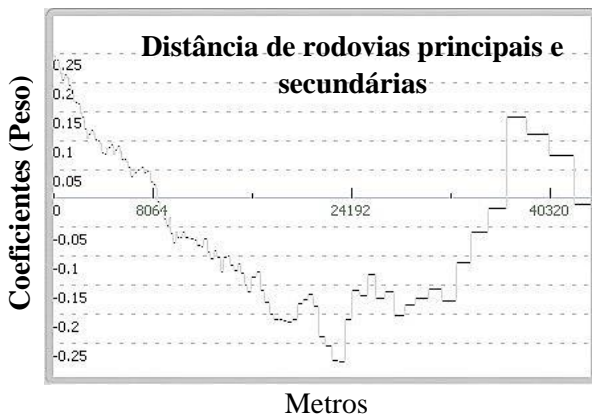
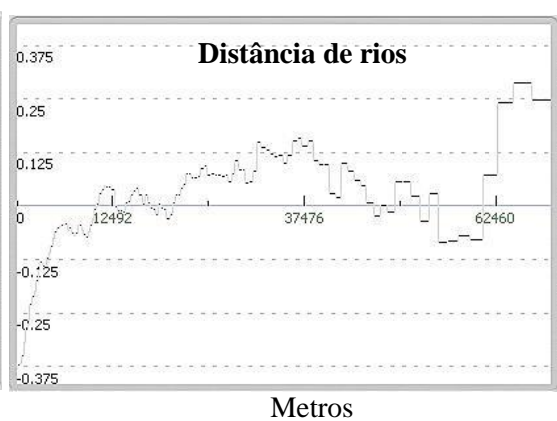
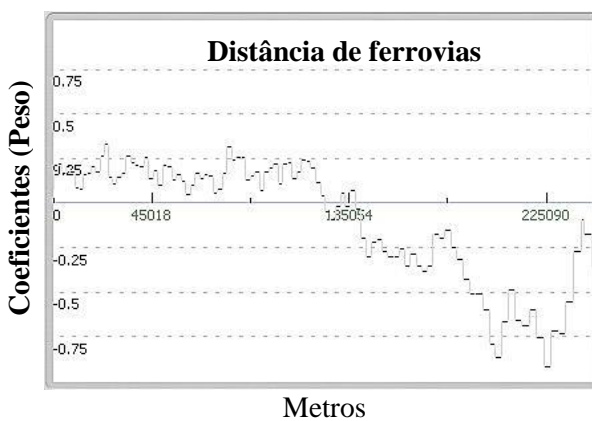
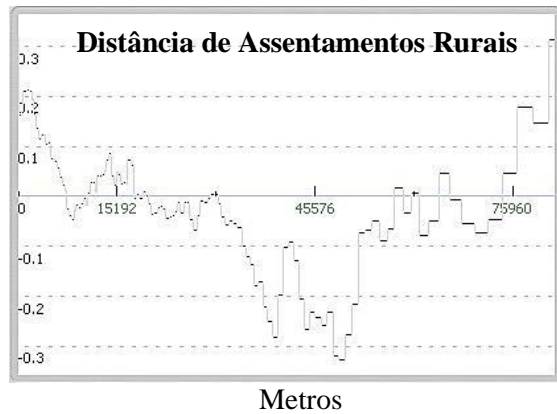
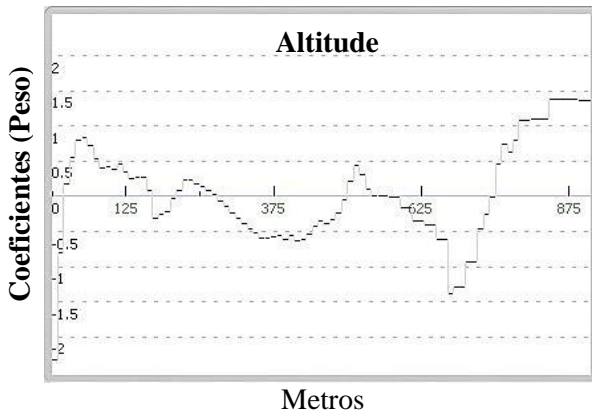
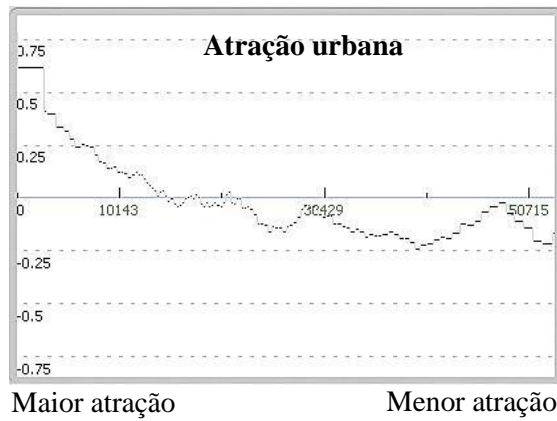
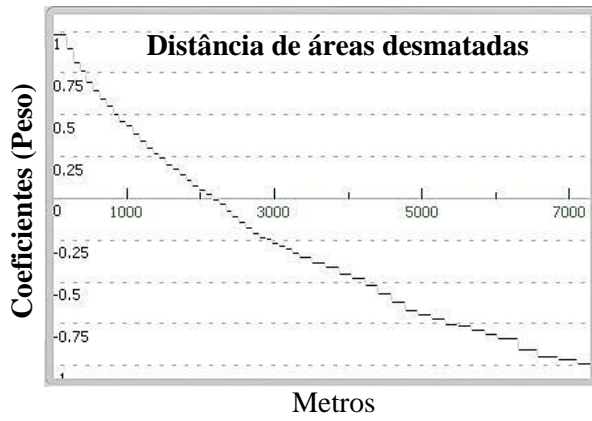
terceira coluna (*Executed Transitions*) mostra o número de transições ocorridas dentro de cada faixa ou categoria, a quarta coluna (*Weight Coefficient*) mostra os coeficientes dos pesos de evidências obtidos, e a quinta coluna (*Contrast*) é a medida do contraste, que mede o efeito de associação/repulsão. Nessa coluna, quanto mais próximo de zero forem os valores, menores serão os efeitos e quanto maiores forem os valores, maior será a atração. Por outro lado, valores maiores e negativo, maior será a repulsão.

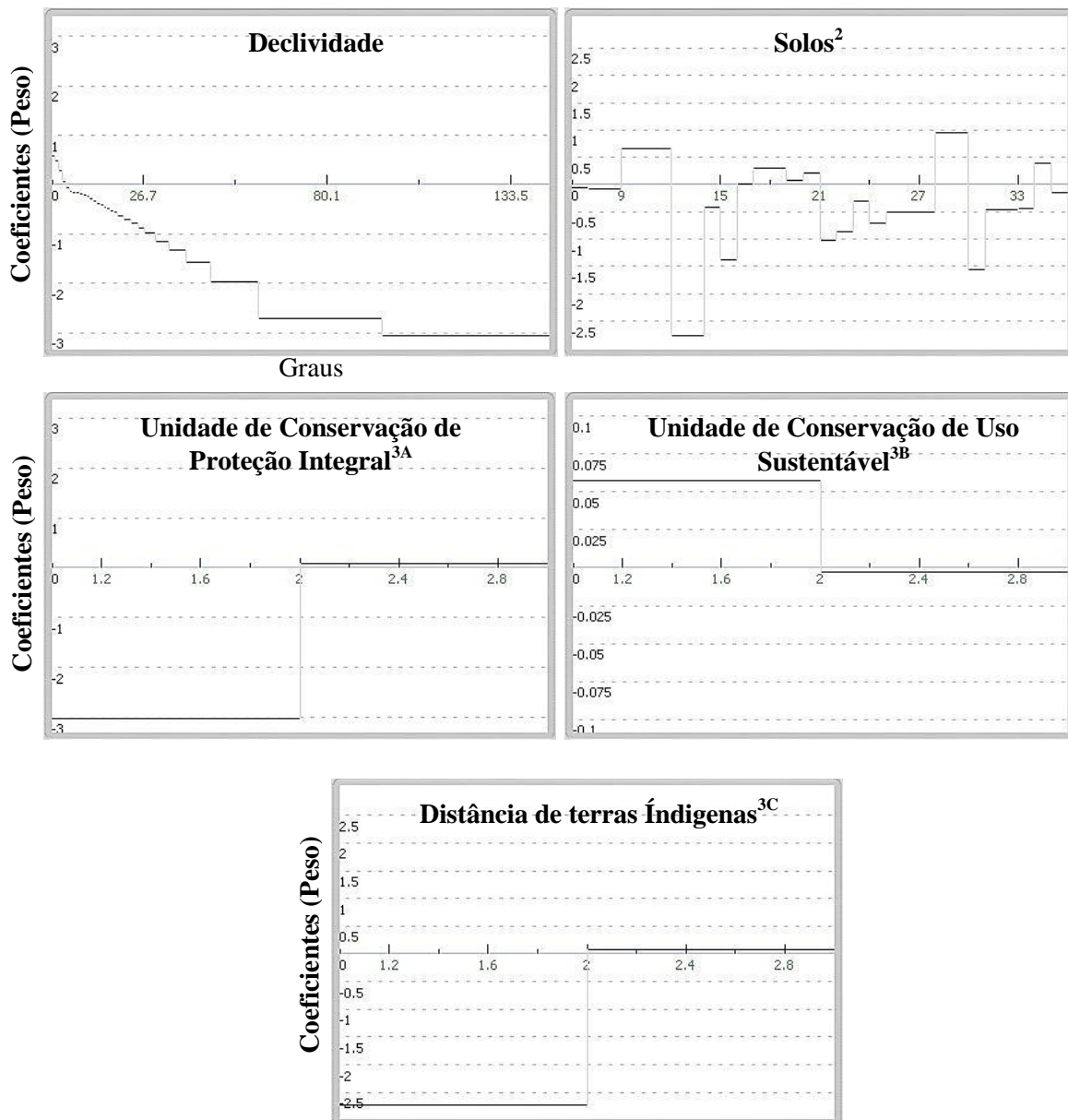
A coluna (*Significant*) refere-se à existência ou não de significância estatística para transição. O comportamento do peso de evidência (*Weight Coefficient*) indica se uma determinada célula que compõe a matriz da área de estudo é ou não favorável à transição ao uso da terra no período. Os valores positivos indicam que a célula é favorável e os valores negativos indicam que a célula é desfavorável à ocorrência de transição ao uso da terra (desmatamento).

De acordo com as características de cada cenário, as variáveis foram organizadas para promover a ideia de conservação e antropismo. Como exemplo pode-se mencionar a utilização adequada das taxas de transição vegetação/desmatamento, onde os pesos foram utilizados de acordo com as características de cada cenário de interesse.

Na construção dos cenários, foram estimados valores similares aos apresentados na Figura 24 para cada variável e período. Em todos os casos utilizou-se a estratégia de regionalizado por microbacias.

A Figura 25 apresenta os coeficientes dos pesos de evidência de cada mapa de variável aplicados nas transições estimadas com base no mapeamento do desmatamento observado no período entre 2002 e 2010. Os resultados apresentados na Figura 25 revelam o comportamento dos pesos extraídos de cada variável de forma geral para a região do MATOPIBA. Para a calibração do modelo, os pesos foram estimados de forma regionalizada, por microbacias hidrográfica.





**Figura 25.** Pesos de Evidência derivados dos mapas de variáveis e aplicados na construção dos cenários futuros do desmatamento no MATOPIBA.

<sup>1</sup> Referencial das classes da esquerda para direita: 1-Massa d'água, 2-Áreas das Formações Pioneiras, 3-Áreas de Tensão Ecológica, 6- Floresta Estacional Decidual, 7-Floresta Estacional Semidecidual, 8-Floresta Ombrófila Aberta, 9-Floresta Ombrófila Densa, 12-Savana, 13-Savana Estépica.

<sup>2</sup> Referencial das classes da esquerda para direita: 6-Argilossolo Vermelho-Amarelo, 7-Cambissolo Háplico, 9-Chernossolo Argilúvico, 12-Dunas, 14-Gleissolo Háplico, 15-Gleissolo Sálico, 16-Gleissolo Tiomórfico, 17-Latossolo Amarelo, 19-Latossolo Vermelho, 20-Latossolo Vermelho-Amarelo, 2-Luvisolo Crômico, 22-Massa d'água, 23-Neossolo Flúvico, 24-Neossolo Litólico, 25-Neossolo Quartzarênico, 28-Nitossolo Vermelho, 30-Planossolo Háplico, 31- Planossolo Hidromórfico, 33-Plintossolo Háplico, 34-Plintossolo Pétrico, 35- Vertissolo Cromado.

<sup>3A</sup> Referencial das classes da esquerda para direita: 1-Terra indígena, 2-Outras áreas.

<sup>3B</sup> Referencial das classes da esquerda para direita: 1-Unidades de Conservação de Proteção Integral, 2-Outras áreas.

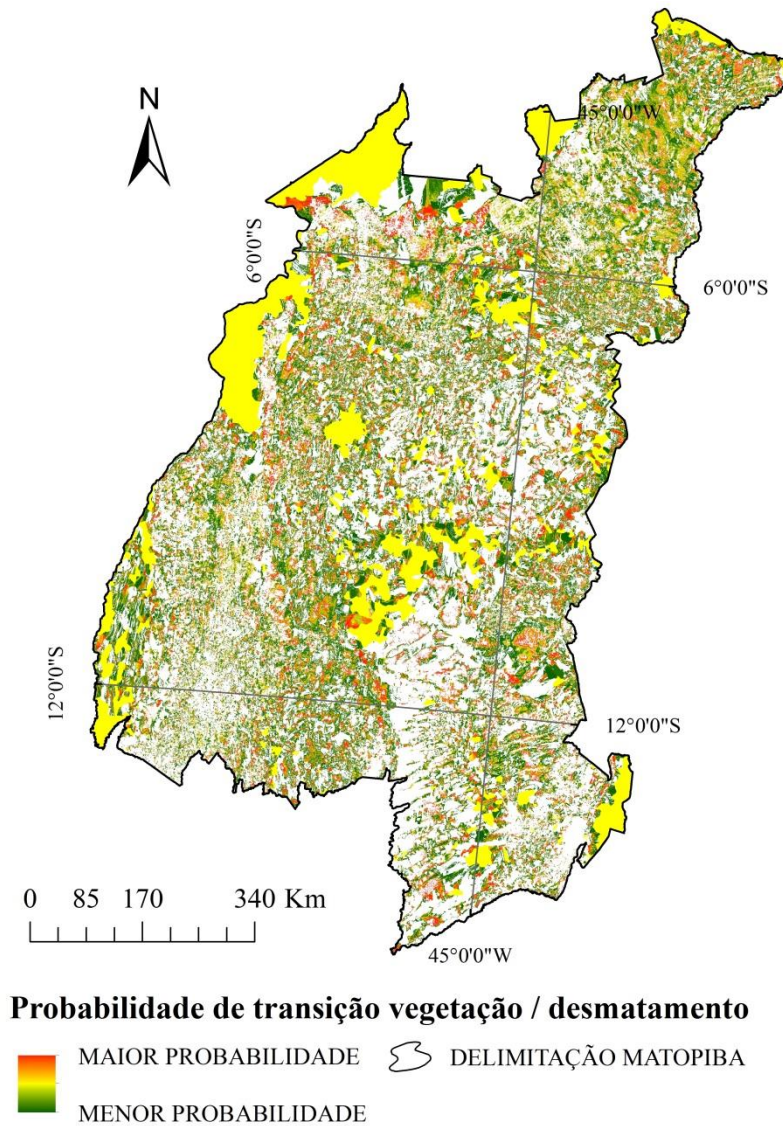
<sup>3C</sup> Referencial das classes da esquerda para direita: 1-Unidades de Conservação de Uso Sustentável, 2- Outras áreas.

### **6.3. SIMULAÇÃO E VALIDAÇÃO**

Nesta etapa foi utilizada a série histórica de desmatamento do período de 2002 a 2010. Para isso foram produzidos os mapas de probabilidade e os mapas simulados de transição da cobertura da terra referente ao ano 2010. O mapa de probabilidade contém valores diferentes em cada célula, responsáveis por indicar transições possíveis ao processo de mudança de uso da terra.

A cor em tom avermelhado (Figura 26) indica áreas com maior probabilidade de transição (desmatamento), as cores com tons alaranjado e amarelado representam áreas com alta e média probabilidade de transição, as cores em tons de verde claro e verde escuro indicam áreas com baixa e muito baixa probabilidade de transição e a cor branca indica áreas onde não há probabilidade estatisticamente significativa para a transição de vegetação nativa para desmatamento. Em geral, as células já desmatadas assumem a cor branca, definindo-as sem probabilidades de serem reclassificadas como desmatamento, ao tempo que se encontram nessa situação. Na Figura 26 é apresentada a distribuição espacial da probabilidade de desmatamento estimado no período de 2002 a 2010.





**Figura 26.** Distribuição espacial da probabilidade de desmatamento (vegetação nativa para áreas desmatadas) estimado com base na série histórica de desmatamento ocorrida entre 2002 e 2010 para a região do MATOPIBA.

A Figura 26 revela ainda que a maior parte dos remanescentes de vegetação nativa na área de estudo apresenta probabilidade alta (cor vermelha, laranja e amarelo) de serem desmatados no futuro. Tais áreas estão distribuídas espacialmente em toda região de estudo, embora hajam algumas concentrações nos estados do Tocantins, Maranhão e Bahia. Estas áreas carecem cuidados especiais para conservação ambiental nas próximas décadas.

O desmatamento simulado para o ano de 2010 foi construído com base nas taxas de desmatamento observadas no período de 2002 a 2010. Dessa forma, o desmatamento observado até 2010 foi utilizado como base para validação do desmatamento simulado para o mesmo ano. O índice de similaridade *Fuzzy* foi então utilizado para a análise quantitativa

das diferenças entre o desmatamento observado e o simulado. Os resultados do índice de similaridade *Fuzzy* permitiram a avaliação do modelo com as múltiplas variáveis selecionadas para representar o desmatamento na área de estudo (Tabela 7). Com base nos resultados da avaliação célula a célula, observou-se que 51% delas foram idênticas entre o desmatamento simulado e o observado (referência). Em janelas 5x5 células, o índice de similaridade foi estimado em 71%. SEGUNDO BARNI (2009), um valor do índice de similaridade superior a 50%, em janelas de 5x5 células, indica que o resultado pode ser considerado satisfatório, desde que haja similaridade entre os padrões de distribuição espacial do fenômeno em estudo (nessa investigação, o desmatamento) observado (referência) e simulado.

**Tabela 7.** Resultado da validação do índice de similaridade *Fuzzy* com diferentes dimensões de janela.

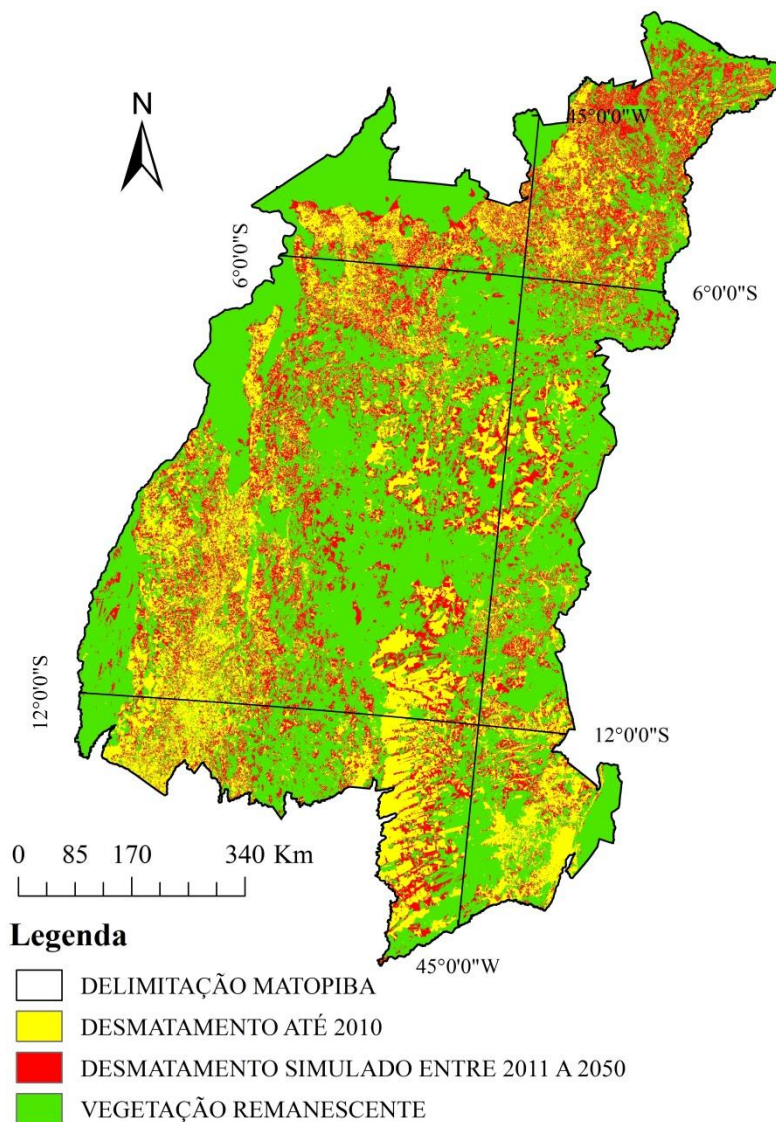
MODELO	TAMANHO DAS JANELAS	ÍNDICE DE SIMILARIDADE
	( <i>Pixel</i> )	<i>Fuzzy</i>
SIMULAÇÃO DE 2002 a 2010	1 x 1	0,51
	3 x 3	0,63
	5 x 5	0,71
	7 x 7	0,77
	9 x 9	0,81
	11 x 11	0,84
	13 x 13	0,87

O índice de similaridade *Fuzzy* com função de decaimento constante tende a aumentar com o aumento da resolução espacial (dimensões dos *pixels* das imagens) adotada nas análises. O aumento dos valores do índice de similaridade também tende a saturar quando atingem determinadas resoluções. Esse comportamento demonstra que para janelas com resolução muito degradada (grandes), o índice de similaridade se torna ineficiente para avaliar o ajuste entre o mapa de referência e o simulado (XIMENES et al., 2008).

#### 6.4. CENÁRIOS FUTUROS MODELADOS

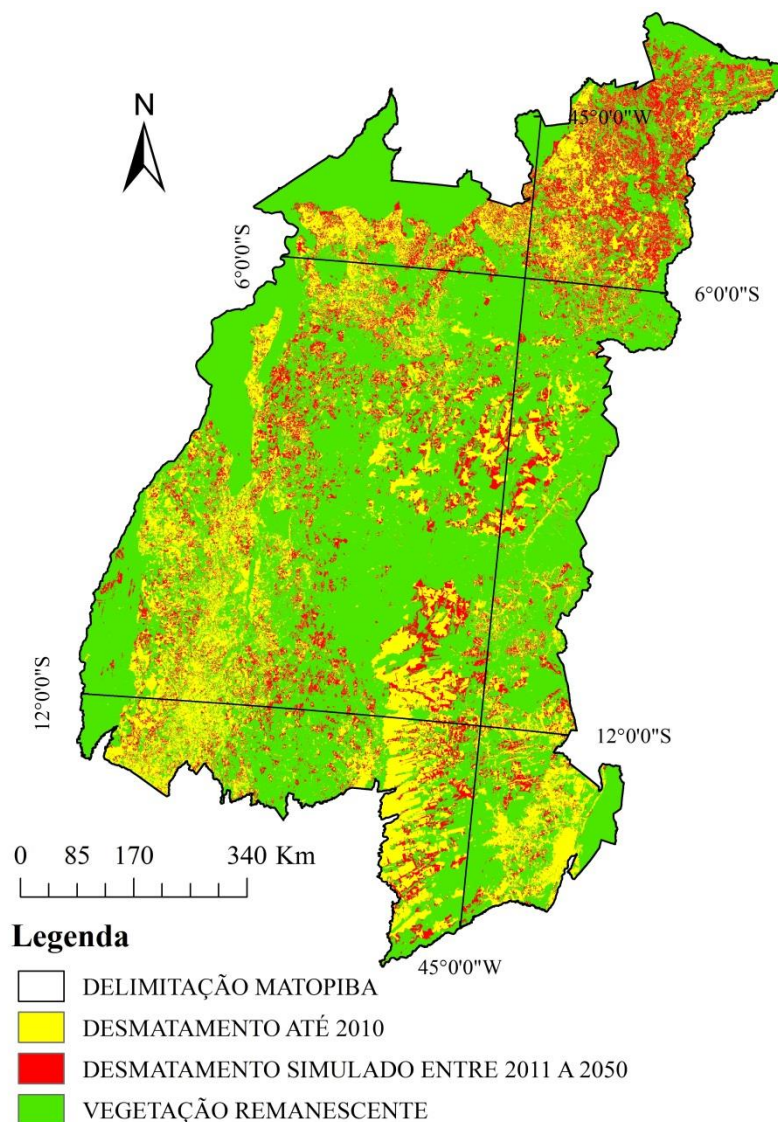
Foram delineados três cenários para o desmatamento futuro na região do MATOPIBA: Cenário tendencial, Cenário otimista e Cenário pessimista, sendo estes projetados (simulados) até o ano de 2050.

**Cenário tendencial** - A característica principal desse cenário foi considerar os aspectos de sustentação das amostras de desmatamento já existentes, ou seja, “o mesmo de sempre”. A Figura 27 mostra a distribuição espacial das áreas que seriam desmatadas até 2050, totalizando aproximadamente 34 milhões de hectares ou 46,7% da área de estudo, assumindo-se as condições previstas no cenário tendencial.



**Figura 27.** Distribuição espacial das áreas que seriam desmatadas (46,7%) entre 2011 e 2050, assumindo-se as condições previstas no cenário tendencial na região do MATOPIBA.

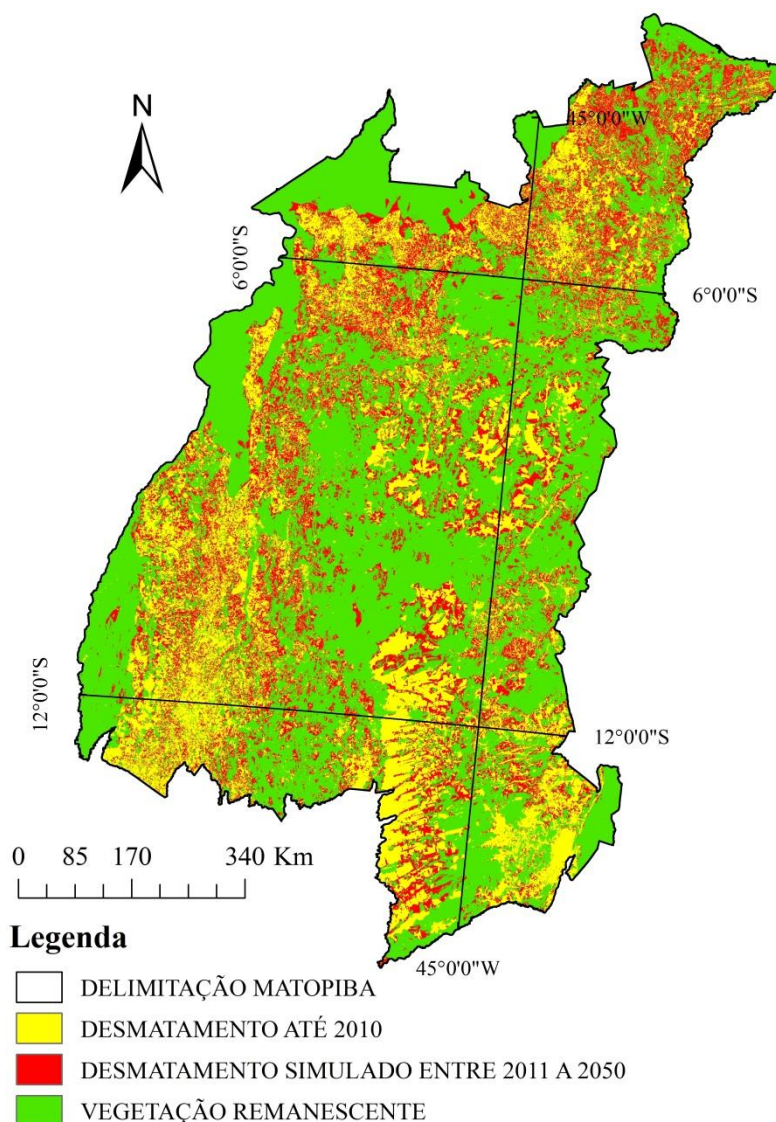
**Cenário otimista** - Neste cenário, foi estimado uma redução do desmatamento na região, aproximadamente 15% no período de 2011 a 2050 quando comparado com os resultados obtidos no cenário tendencial. Os desmatamentos futuros na região de estudo seriam mais evidente na região norte e totalizariam aproximadamente 29 milhões de hectares ou 39,8% da área de estudo até 2050 (Figura 28).



**Figura 28.** Distribuição espacial das áreas que seriam desmatadas (39,8%) entre 2011 e 2050, assumindo-se as condições previstas no cenário otimista na região do MATOPIBA.

**Cenário pessimista** – Este cenário é caracterizado pela série histórica de desmatamento ocorrida entre os anos de 2002 a 2008. A quantidade de áreas desmatadas é um pouco acima à observada no cenário tendencial. As previsões de desmatamento neste cenário estão apresentadas na Figura 29. Um total de 34,6 milhões de hectares de vegetação nativa será desmatado entre 2011 e 2050 em toda região de estudo assumindo as condições adotadas no cenário pessimista. Assim, neste cenário a região do MATOPIBA atingiria 47,4% do seu território em áreas convertidas de vegetação nativa para os diferentes usos antrópicos (desmatamento).





**Figura 29.** Distribuição espacial das áreas que seriam desmatadas (47,4%) entre 2011 e 2050 na região do MATOPIBA assumindo as condições previstas no cenário pessimista.

Os resultados das simulações do desmatamento indicam certa similaridade entre os cenários tendencial e pessimista em relação ao total de vegetação natural que seria desmatado (47% da área de estudo) entre 2011 e 2050. Nestes dois cenários a região de estudo teria um aumento de 21% e 22% do desmatamento nos cenários tendencial e pessimista, respectivamente. Tal similaridade pode estar relacionada às taxas de transição anual do desmatamento adotada nos cenários tendencial (1,2%) e pessimista (1,3%), respectivamente. Entretanto, mesmo assumindo um cenário mais otimista, a área de estudo teria aproximadamente 40% de seu território desmatado até 2050.

Na Figura 30 são apresentadas as quantidades de áreas que seriam desmatadas e as variações do desmatamento até o ano 2050 na região do MATOPIBA, assumindo as

condições previstas nos três cenários deste estudo. Os resultados são apresentados em intervalos de cinco e cinco anos até 2050.

Neste sentido, SALMONA (2013) conduziu um estudo de modelagem assumindo três cenários para todo o bioma Cerrado. Segundo o autor, independente do cenário adotado, os resultados indicam uma consolidação de paisagens majoritariamente fragmentadas e com seus serviços ecossistêmicos fragilizados.

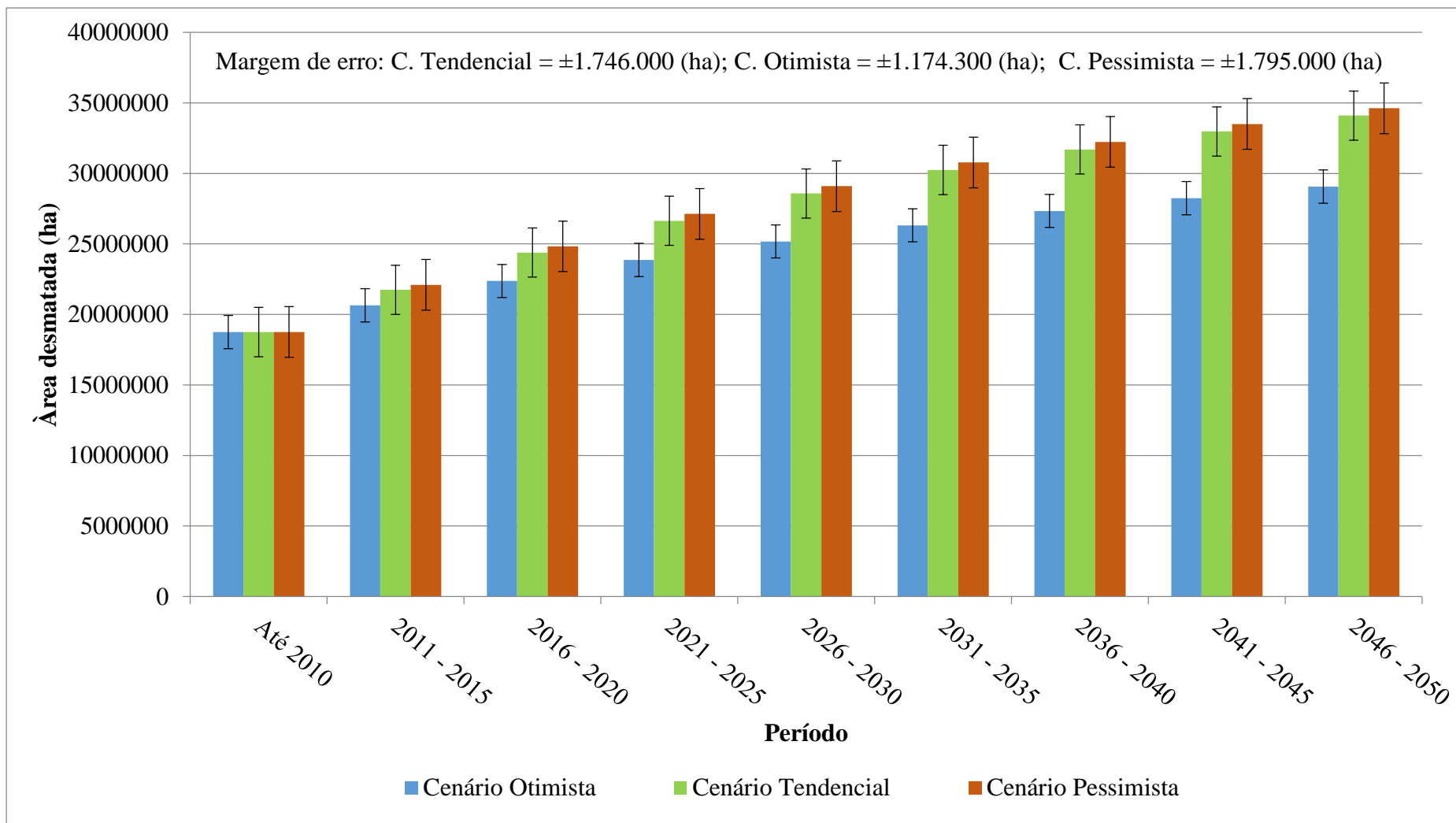
Com base num estudo de modelagem no estado do Goiás, BROCHADO (2014) afirmou que a situação do Cerrado é bastante crítica e preocupante. Mesmo com o empenho do Ministério do Meio Ambiente – MMA em mesclar áreas potenciais e prioritárias para a conservação é provável que o bioma seja completamente destruído até o ano de 2030 caso seja mantida a atual perda anual de vegetação.

PIONTEKOWSKI et al., (2012), em estudo de modelagem no estado do Acre, afirmam que embora aquele Estado apresente a maior parcela de seu território coberta por florestas, ficou evidente que conservar e respeitar uma reserva legal de 80% significaria muito para conservação da qualidade ambiental e diminuição da perda da biodiversidade. Estes autores ressaltam ainda que modelos elaborados com o DINÂMICA EGO se mostraram capazes de representar projeções espaciais entre os biomas do País, inclusive do Pantanal.

Na Tabela 8 abaixo são apresentados os percentuais de desmatamento previstos até 2050 nos cenários otimista, tendencial e pessimista para os Estados componentes da região do MATOPIBA.

No contexto da área de estudo, o Estado do Tocantins apresentou as maiores diferenças do desmatamento previsto até 2050 entre os cenários, imediatamente seguido pelo Estado do Maranhão. As menores diferenças de desmatamento previsto até 2050 entre os cenários foram observadas para os estados do Piauí e Bahia.

Nesta mesma tendência também foram observadas as maiores diferenças nos erros de estimativa nos cenários modelados para o Estado do Tocantins e as menores diferenças para o Estado do Piauí, seguido imediatamente pelo Maranhão e Bahia.



**Figura 30.** Quantidade de áreas desmatadas em hectares para cada cenário de estudo até 2050.

**Tabela 8.** Percentuais de desmatamento simulado até 2050 para a área de estudo e por Estado que compõe a região do MATOPIBA.

Estados	Cenários	Desmatado (hectares)	Margem de erro (hectares)	(%) área do MATOPIBA	(%) área do estado	(%) área do MATOPIBA no estado
<b>Maranhão</b>	Otimista	10.045.614	± 527.410	13,7	30,3	41,9
	Tendencial	11.464.878	± 671.561	15,7	34,5	47,8
	Pessimista	11.544.284	± 696.340	15,8	34,8	48,1
<b>Tocantins</b>	Otimista	10.252.098	± 364.724	14,0	36,9	36,9
	Tendencial	12.615.414	± 634.210	17,2	45,4	45,4
	Pessimista	12.785.912	± 654.318	17,6	46,1	46,0
<b>Piauí</b>	Otimista	2.320.742	± 99.150	3,2	9,2	28,3
	Tendencial	2.771.372	± 147.833	3,8	11,0	33,8
	Pessimista	2.853.661	± 153.715	3,9	11,3	34,8
<b>Bahia</b>	Otimista	6.696.017	± 202.843	9,2	11,2	50,7
	Tendencial	7.393.275	± 281.521	10,1	13,1	55,9
	Pessimista	7.434.279	± 285.980	10,2	13,2	56,3

As projeções de desmatamento não mensuram de forma precisa as condições futuras. Entretanto, tais projeções simulam a variação do desmatamento estatisticamente provável de ocorrência na área de estudo. São, por isso, importantes para prognóstico das áreas mais vulneráveis ao desmatamento e de possíveis impactos sobre a vegetação natural. Como exemplo, dos impactos ambientais, pode-se mencionar a extinção de diversas espécies, as influências sobre o clima, a erosão e empobrecimento dos solos, a alteração da qualidade da água, as mudanças no nível superficial das águas, a redução da evapotranspiração, a diminuição nas taxas fotossintéticas, o aumento da vulnerabilidade da região a incêndios florestais, dentre outros problemas (COHEN et al., 2007).

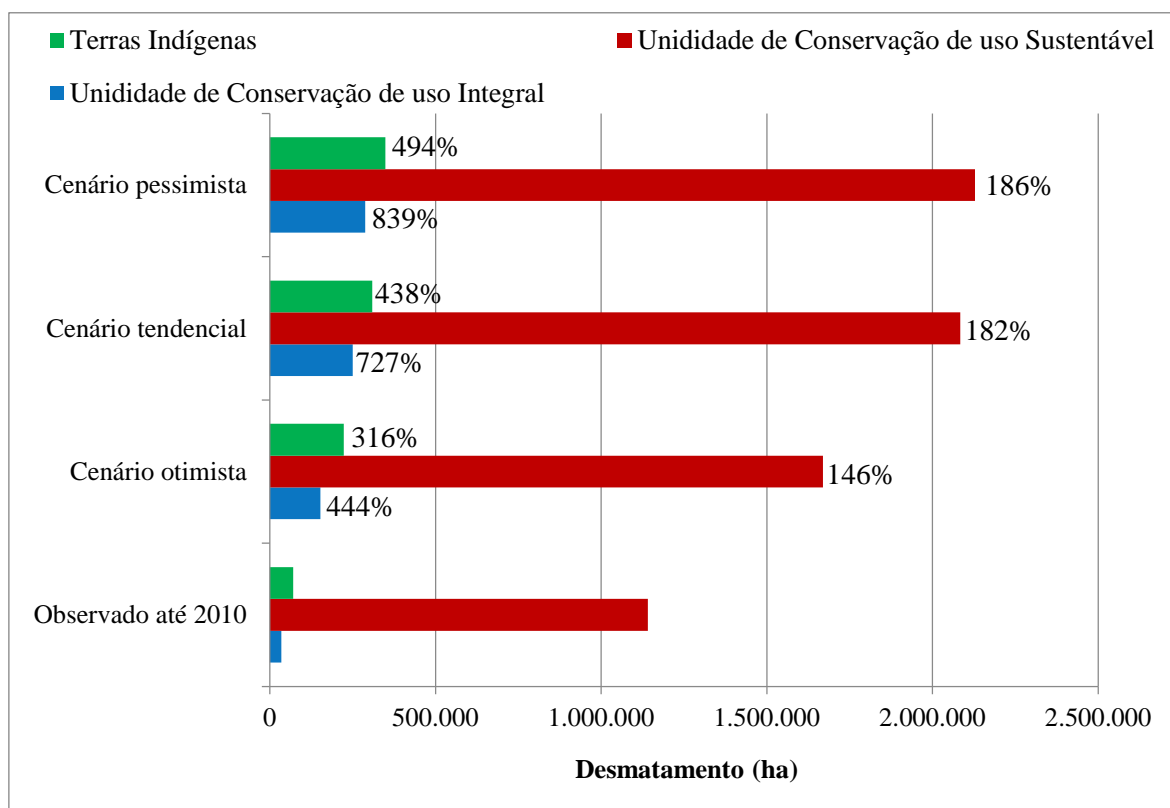
As simulações do desmatamento, extraídas através das variáveis utilizadas no presente estudo, revelou que o desmatamento futuro deverá se expandir a partir das áreas desmatadas, conforme observado por AGUIAR et al. (2007). A grande preocupação, entretanto, é a pressão que a expansão do desmatamento deverá exercer sobre os remanescentes naturais do cerrado, especialmente aqueles localizados em áreas protegidas na região de estudo.

#### **6.4.1. Áreas protegidas**

As áreas protegidas (Unidades de Conservação e Terras Indígenas) que compõem a região do MATOPIBA apresentaram resultados preocupantes do ponto de vista de desmatamento futuro. Em termos de área absoluta, as unidades de conservação de uso sustentável apresentam as maiores áreas desmatadas observada em 2010 e simuladas nos



cenários até 2050, seguida imediatamente pelas terras indígenas e unidades de conservação de proteção integral (Figura 31).



**Figura 31.** Quantidade de áreas desmatadas em hectares para as Unidades de Conservação em cada cenário de estudo até 2050.

Adicionalmente, as unidades de conservação da categoria de proteção integral apresentaram um incremento do desmatamento em relação ao observado em 2010 de 444%, 727% e 839% para os cenários otimista, tendencial e pessimista, respectivamente. Do mesmo modo, as Terras Indígenas apresentaram um incremento do desmatamento em relação a 2010 de 316%, 438% e 494% nos cenários otimista, tendencial e pessimista, respectivamente. Por fim, as unidades de conservação de uso sustentável apresentaram incrementos de 146%, 182% e 186% nos cenários otimista, tendencial e pessimista, respectivamente. Vale salientar que, neste último caso, embora foram estimados os menores incrementos relativos, a área absoluta representou mais de 1,6 milhões de hectares desmatados no cenário mais otimista desta análise.

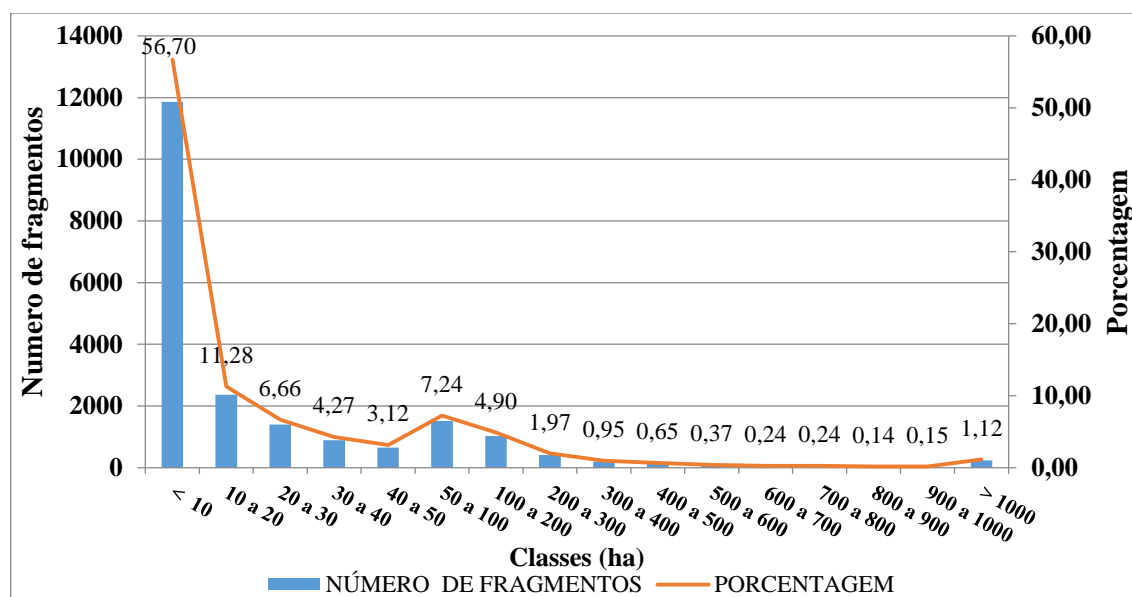
A pressão sobre áreas protegidas deve ser objeto de atenção especial. PEDLOWSKI et al. (2005) argumentam que uma vez iniciado as ocupações irregulares, há tendência de ampliação da pressão antrópica e descaracterização das áreas protegidas. Como exemplo, estes autores revelaram o início da invasão da Floresta Nacional do Bom Futuro em

Rondônia e o risco de sua descaracterização total. Tal fato foi consolidado com a instituição da Lei Federal n. 12.249 de 11 de junho de 2010, que reduziu substancialmente a área da referida Floresta Nacional.

## 6.5. FRAGMENTAÇÃO DO CERRADO

O processo de fragmentação da vegetação se dá pela ação de múltiplos fatores, porém quase sempre é um resultado de ações humanas. Segundo (PIROVANI et al., 2014) a área do fragmento é, em geral, o parâmetro mais importante para explicar as variações de riqueza de espécies.

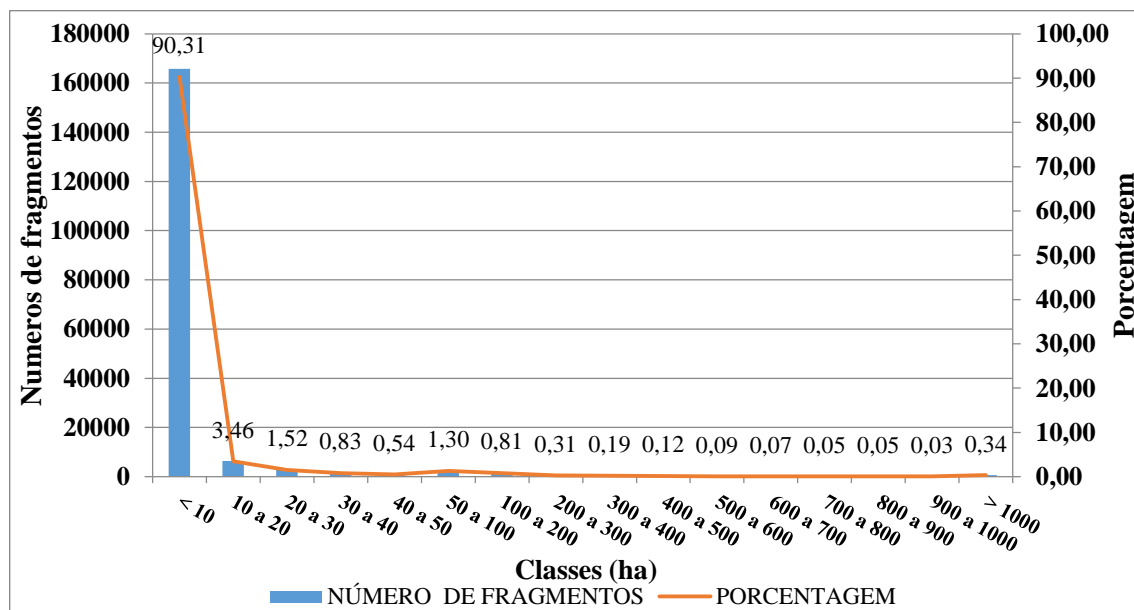
Nas análises realizadas neste estudo, a fragmentação da vegetação de cerrado na região do MATOPIBA apresentou resultados preocupantes do ponto de vista ambiental já partir dos dados observados em 2010, com predominância de pequenos fragmentos de vegetação nativa. As estimativas da fragmentação da vegetação para 2010 indicam que 56,7% dos fragmentos de vegetação natural remanescente na área de estudo possuíam áreas menores de 10 hectares, 4,9% de fragmentos com áreas de 100 a 200 hectares, 0,4% de fragmentos acima de 500 hectares e 1,1% apresentavam fragmentos maiores que 1.000 hectares (Figura 32).



**Figura 32.** Fragmentação da vegetação de cerrado em classes de diferentes tamanhos (hectares) em 2010.

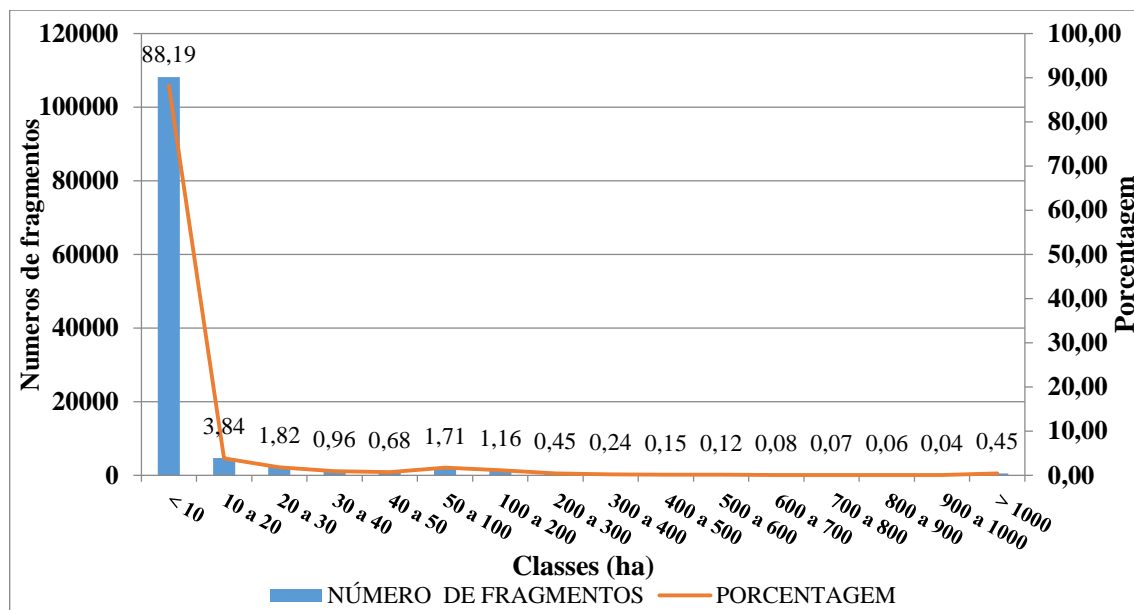
Seguindo adiante, com a simulação do desmatamento no cenário tendencial deste estudo, estimou-se um aumento de aproximadamente 870% no número de fragmentos em 40 anos (~ 22% ano<sup>-1</sup>) passando de 20.914 em 2010 para 181.551 fragmentos em 2050.

Ainda no cenário tendencial, os fragmentos de vegetação nativa menor que 10 hectares teriam um aumento de mais de 33,6%, passando de 56,7% da fragmentação observada em 2010 para mais de 90% em 2050. As classes maiores que 100 hectares seriam reduzidas de 4,9 para 0,81% de 2010 a 2050. Do mesmo modo, os fragmentos maiores que 500 hectares seriam reduzidos de 0,4% para 0,09% e os fragmentos maiores que 1.000 hectares passariam de 1,1% para 0,34% no mesmo período (Figura 33).



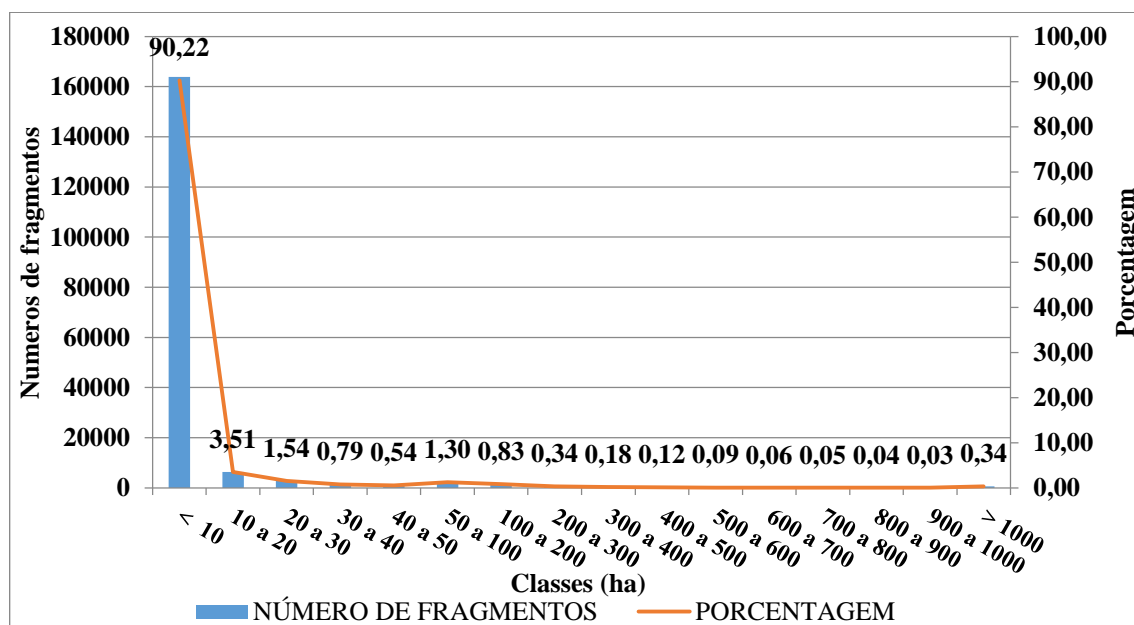
**Figura 33.** Fragmentação da vegetação de cerrado em classes de diferentes tamanhos (hectares) em 2050 na região do MATOPIBA, simuladas na conjuntura prevista no cenário tendencial.

A fragmentação da vegetação nativa simulada para 2050 no cenário otimista apresentou um menor aumento da fragmentação, porém ainda preocupante. Na comparação com os dados observados em 2010, haveria um aumento de 486% do número de fragmentos no cenário otimista deste estudo. A maior fragmentação da vegetação nativa ocorreria com o aumento de 31,5% da classe de fragmentos menores que 10 hectares, que passariam a representar 90,3% dos fragmentos quando comparados com o observado em 2010. A classe de 10 a 20 hectares representaria 3,8%, a classe de 50 a 100 hectares representariam 1,7% dos fragmentos em 2050. A classe dos grandes fragmentos (acima de 1.000 hectares) seria reduzida (Figura 34).



**Figura 34.** Fragmentação do Cerrado em classes de diferentes tamanhos (hectares) até o ano de 2050 no MATOPIBA, simuladas na conjuntura prevista no cenário otimista.

A projeção simulada pelo cenário pessimista indica um aumento de 33,5% da fragmentação da vegetação nativa na região de estudo, passando de 56,7% para 90,2% o número de fragmentos entre 2010 e 2050 na classe de fragmentos menores que 10 hectares e apenas 0,03% apresentariam áreas superiores que 900 hectares. Em geral a projeção indica um aumento de 777% no numero de fragmentos de vegetação em 2050 neste cenário (Figura 35).



**Figura 35.** Fragmentação do Cerrado em classes de diferentes tamanhos (hectares) até o ano de 2050 no MATOPIBA, simuladas na conjuntura prevista no cenário pessimista.

A análise por classe de tamanho é um bom indicador do grau de fragmentação de uma paisagem natural (VALENTE, 2001). Similar ao observado (2002 a 2010) e simulado (2011 a 2050) para a região do MATOPIBA, diversos trabalhos apontam a ocorrência de grande quantidade de pequenos fragmentos de vegetação em outros biomas brasileiros. SILVA et al. (2014) analisando a dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro, concluíram que o número de fragmentos no bioma Caatinga aumentou cerca de 28,3% entre os anos de 2000 a 2010.

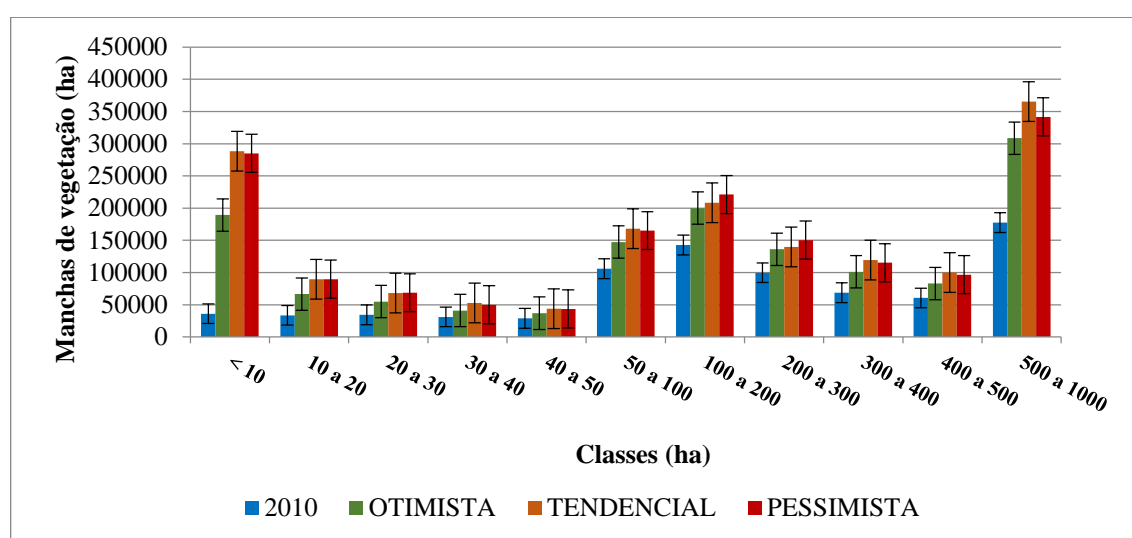
JUVANHOL et al. (2011) avaliando a fragmentação da vegetação na Mata Atlântica, no estado do Espírito Santo, observaram que os fragmentos menores que 5 hectares eram em torno de 83% do número de fragmentos, evidenciando que uma grande parte da paisagem se encontrava fragmentada. Outro estudo referente à fragmentação da paisagem na sub-bacia do Arroio Jacaré, no estado do Rio Grande do Sul, verificou que mais de 87% dos fragmentos na paisagem eram menores que 1 hectare (CEMIN et al., 2009).

Por fim, vale dizer que os fragmentos com pequenas áreas merecem atenção especial. Tais cuidados estão relacionados ao risco desses fragmentos naturais serem extintos com o decorrer dos anos caso não sejam adotadas propostas de manejo que promovam aumento em áreas e uma interligação com fragmentos próximos e maiores. Os remanescentes de área pequena apresentam padrões frágeis de sustentabilidade ao longo do tempo (PIROVANI et al. 2014).

Na presente pesquisa, observou-se que aproximadamente 99% da área dos remanescentes de vegetação nativa na região do MATOPIBA estavam concentrados em fragmentos maiores que 1.000 hectares até 2010. Na projeção para 2050 no cenário otimista, os fragmentos maiores que 1.000 hectares representariam aproximadamente 97% da vegetação. Nos cenários tendencial e pessimista, os fragmentos maiores que 1.000 hectares representariam em torno de 96% da área total dos fragmentos na área de estudo, sendo consideradas as possíveis variações dentro das classes. Isso significa que em um pequeno grupo de fragmento encontra-se concentrado as maiores áreas de vegetação.

Este efeito de ordem contrária entre número de fragmentos e área é apontado por alguns autores, como PIROVANI et al. (2014), JUVANHOL et al. (2011). Fragmentos grandes, apesar do menor número, possuem áreas significativas, responsáveis pela maior cobertura vegetal em área, assim como observado no presente estudo (ALMEIDA, 2008).

Os valores relativos à distribuição das outras classes são apresentados na Figura 36, sendo que os polígonos da vegetação nativa entre 40 e 50 hectares representam o menor quantitativo em área e os polígonos variando de 500 a 1000 hectares somam a maior quantidade da área em 2050, em que requer destaque nesta situação os cenários tendencial e pessimista. Nota-se que não há um cenário dominante em área em todas as classes, ora o cenário tendencial atinge resultados mais elevados de área ora o cenário pessimista assume maior contingente de área dentro das classes. Esse evento refere-se aos parâmetros e variáveis aplicados nos cenários em que favorece ou não a evolução do desmatamento dentro das classes.



**Figura 36.** Distribuição da soma das áreas em hectares nas diferentes classes em 2011 e 2050, nos cenários tendencial, otimista e pessimista.

A área total, a área média, desvio padrão, a maior e menor área de remanescente encontrada em cada cenário são apresentadas na Tabela 9. Nas simulações a área média e o desvio padrão da área dos fragmentos demonstram que os cenários tendencial e otimista apresentaram altos valores das métricas de medição da fragmentação da vegetação nativa na área de estudo.

**Tabela 9.** Área total de remanescentes de vegetação natural, área média, desvio padrão, maior remanescente de vegetação nativa observado e simulado nos cenários tendencial, otimista e pessimista para a região do MATOPIBA.

<b>CENÁRIO OTIMISTA</b>					
<b>Período</b>	<b>Área (hectares)</b>				
	<b>Área total</b>	<b>Área média</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Fragmento maior</b>	<b>Fragmento menor</b>
<b>2010</b>	54.420.340	2.602,1	359.104	51.926.998	0,8
<b>2020</b>	50.532.044	537,9	152.466	46.724.294	0,8
<b>2030</b>	47.734.081	411,0	126.504	43.106.463	0,8
<b>2040</b>	45.570.661	374,5	112.201	39.148.184	0,8
<b>2050</b>	43.840.035	357,4	104.162	36.450.569	0,8
<b>CENÁRIO TENDENCIAL</b>					
<b>Período</b>	<b>Área (hectares)</b>				
	<b>Área total</b>	<b>Área média</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Fragmento maior</b>	<b>Fragmento menor</b>
<b>2010</b>	54.420.340	2.602,1	359.104	51.926.998	0,8
<b>2020</b>	48.518.067	387,0	123.688	43.785.757	0,8
<b>2030</b>	44.329.345	270,2	96.024	38.878.426	0,8
<b>2040</b>	41.210.598	233,1	75.376	31.570.875	0,8
<b>2050</b>	38.809.526	211,3	67.718	28.908.895	0,8
<b>CENÁRIO PESSIMISTA</b>					
<b>Período</b>	<b>Área (hectares)</b>				
	<b>Área total</b>	<b>Área média</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Fragmento maior</b>	<b>Fragmento menor</b>
<b>2010</b>	54.420.340	2.602,1	359.104	51.926.998	0,8
<b>2020</b>	48.327.199	355,5	118.021	43.505.229	0,8
<b>2030</b>	44.063.979	270,4	94.655	38.197.908	0,8
<b>2040</b>	40.922.440	234,7	82.724	34.528.040	0,8
<b>2050</b>	38.536.318	212,2	67.650	28.705.833	0,8

Com base nos resultados deste estudo, observou-se um alto grau de fragmentação da paisagem natural na região do MATOPIBA. Estimou-se que entre 88,2% e 90,3% dos remanescentes de vegetação nativa encontrados nos três cenários simulados, apresentam áreas menores que 10 hectares, indicando um alto grau de fragmentação. Estudos apontam que a formação de pequenos fragmentos relaciona-se com o uso econômico do solo, pois, locais onde a estrutura fundiária predominante é constituída de pequenas propriedades rurais, os pequenos fragmentos tornam-se comuns em virtude da retirada da vegetação de áreas planas para o cultivo. Essa retirada geralmente é feita em áreas de floresta nativa, formando vários fragmentos na paisagem (GOERL et al., 2011).

### **6.5.1. Métricas de Área e Densidade de Borda**

As estimativas de densidade de manchas (PD) indicam que os remanescentes de Cerrado estão mais dispersos nos cenários tendencial e pessimista quando comparados aos resultados do cenário otimista deste estudo. Nas simulações dos três cenários, os resultados indicam que a área total da classe (CA) de desmatamento será gradativamente incrementada em detrimento das áreas de vegetação nativa remanescente entre 2010 e 2050. Tais resultados podem estar associados ao descumprimento da legislação ambiental assumindo nos cenários tendencial e pessimista. Similarmente, CABACINHA et al. (2010) realizaram pesquisa ecológica da vegetação no sudoeste do estado de Goiás e sudeste do Mato Grosso e observaram, que a fragmentação também apresentou notável taxa de conversão das classes floresta e savanas originais para pastagem e agricultura.

Segundo (CALEGARI et al., 2010), a área do maior fragmento (LPI) é potencialmente importante para a ecologia de paisagem, por ser importante área fonte de dispersores, polinizadores e propágulos, criando condições favoráveis para a manutenção da biodiversidade local, por meio de processos-chave, como a dispersão e polinização.

Neste sentido, as estimativas da área do maior fragmento (LPI) desta análise indicam um decréscimo da vegetação nativa entre 2010 a 2050 nos três cenários simulados. Os resultados menos intensivo para a cobertura vegetal nativa foi observado para cenário otimista.

Estimou-se ainda para os três cenários uma redução do tamanho médio dos fragmentos (ÁREA\_MN) entre 2010 e 2050, sendo mais intensa entre 2010 e 2020. Neste último período, é previsto a maior intensidade de degradação da vegetação nativa do cerrado. Essa redução da área média dos fragmentos pode ser explicada pelo enorme aparecimento de manchas composta por uma única célula.

No cenário otimista foram estimados os maiores valores para a Porcentagem da paisagem ocupada pela classe (PLAND) comparados com os cenários pessimista e tendencial. Os baixos valores do número de manchas (NP) e de densidade de borda (ED), associado ao menor valor de densidade de manchas (PD), indicam maior integridade da paisagem da vegetação nativa no cenário otimista, considerada menos fragmentada e com manchas mais próximas. Mais detalhes destas métricas da paisagem são apresentados na Tabela 10.



**Tabela 10.** Métricas de Área/Borda do Cerrado para os três cenários no MATOPIBA.

<b>CENÁRIO OTIMISTA</b>							
<b>Período</b>	<b>MÉTRICAS</b>						
	<b>CA</b>	<b>PLAND</b>	<b>NP</b>	<b>PD</b>	<b>LPI</b>	<b>AREA_MN</b>	<b>ED</b>
<b>2010</b>	54.420.340	74,3	20.914	0,02	71,0	2.602,1	8,0
<b>2020</b>	50.532.044	69,0	93.942	0,12	63,8	537,9	8,5
<b>2030</b>	47.734.080	65,2	116.154	0,15	59,0	411,0	8,2
<b>2040</b>	45.570.660	62,2	121.908	0,16	53,5	374,0	8,0
<b>2050</b>	43.840.035	60,0	122.651	0,16	50,0	357,4	7,7
<b>CENÁRIO PESSIMISTA</b>							
<b>Período</b>	<b>MÉTRICAS</b>						
	<b>CA</b>	<b>PLAND</b>	<b>NP</b>	<b>PD</b>	<b>LPI</b>	<b>AREA_MN</b>	<b>ED</b>
<b>2010</b>	54.420.340	74,3	20.914	0,02	71,0	2.602,1	8,0
<b>2020</b>	48.327.199	66,0	135.937	0,18	59,4	355,5	9,0
<b>2030</b>	44.063.979	60,2	162.922	0,22	52,2	270,4	8,7
<b>2040</b>	40.922.440	56,0	174.322	0,23	47,1	234,7	8,7
<b>2050</b>	38.536.318	52,6	181.551	0,24	39,2	212,2	8,7
<b>CENÁRIO TENDENCIAL</b>							
<b>Período</b>	<b>MÉTRICAS</b>						
	<b>CA</b>	<b>PLAND</b>	<b>NP</b>	<b>PD</b>	<b>LPI</b>	<b>AREA_MN</b>	<b>ED</b>
<b>2010</b>	54.420.340	74,3	20.914	0,02	71,0	2.602,1	8,0
<b>2020</b>	48.518.066	66,3	132.744	0,18	59,8	365,5	9,0
<b>2030</b>	44.329.345	60,5	164.001	0,22	53,1	270,2	9,0
<b>2040</b>	41.210.598	56,3	176.750	0,24	43,1	233,1	8,8
<b>2050</b>	38.809.525	53,0	183.595	0,25	39,5	211,3	8,8

CA = Área da classe (em hectares); PLAND = Porcentagem da paisagem ocupada pela classe; NP = Número de manchas; PD = Densidade de manchas (número por 100 hectares); LPI = Índice de maior mancha; AREA\_MN = Área média dos fragmentos (em hectares); ED = Densidade de borda (metros/hectares).

### 6.5.2. Métricas de área de interior

Foram estimadas as métricas Área de Interior Total (TCA), Porcentagem da Paisagem ocupada pela Área de Interior (CPLAND), Número de Áreas de Interior Independentes (NDCA), Média da Área de Interior (CORE\_MN) e Média do índice de Área de Interior (CAI\_MN) considerando largura da borda igual a 200 metros. A simulação do cenário otimista apresentou os maiores valores de Total de Área de Interior (TCA). A tabela 11 apresenta mais detalhes desta métrica da paisagem para todos os cenários.

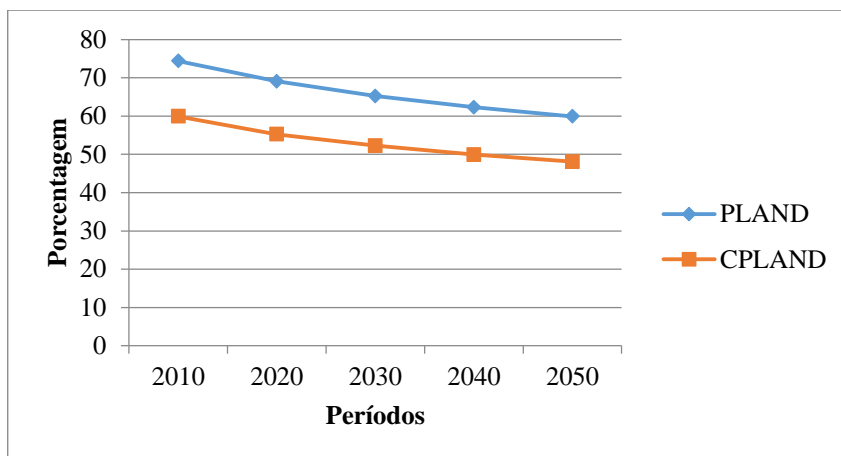
Comparativamente, o cenário tendencial apresentou menor percentual de área de interior (77,2%) em relação à área total das manchas em 2050. O cenário pessimista apresentou resultado de percentual de área interior similar (77,5 %) ao observado para o cenário tendencial ao final do período simulado. Os melhores resultados (80,2%) de

percentagem de área interior previsto em 2050 foram observados para o cenário otimista, embora seja considerado um valor baixo, considerando a largura de borda de 200 metros.

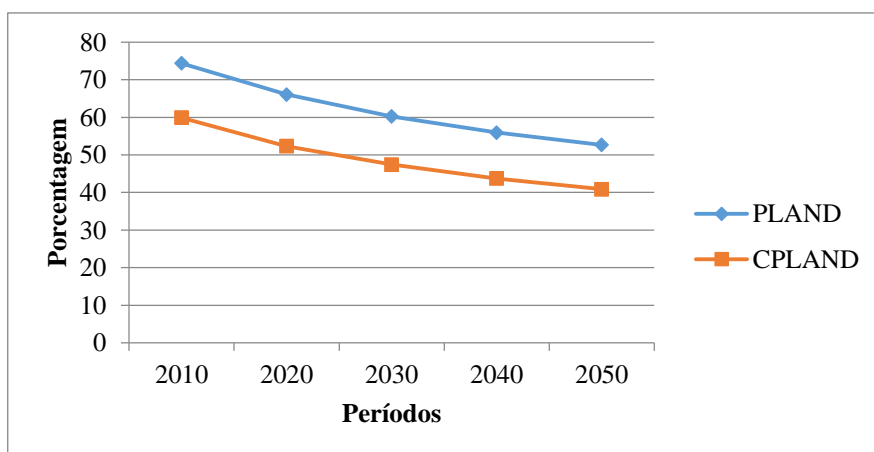
**Tabela 11.** Área total (CA), Área de Interior Total (TCA) (em hectares) e porcentagem de Área de Interior (%CA) dos remanescentes de vegetação nativa para os três cenários no MATOPIBA.

<b>CENÁRIO OTIMISTA</b>			
<b>Período</b>	<b>MÉTRICAS</b>		
	<b>CA (ha)</b>	<b>TCA</b>	<b>%CA</b>
<b>2010</b>	54.420.340	43.834.985	80,5
<b>2020</b>	50.532.044	40.409.694	79,9
<b>2030</b>	47.734.080	38.230.823	80,0
<b>2040</b>	45.570.660	36.537.973	80,1
<b>2050</b>	43.840.035	35.177.515	80,2
<b>CENÁRIO PESSIMISTA</b>			
<b>Período</b>	<b>MÉTRICAS</b>		
	<b>CA (ha)</b>	<b>TCA</b>	<b>%CA</b>
<b>2010</b>	54.420.340	43.834.985	80,5
<b>2020</b>	48.327.199	38.278.529	79,2
<b>2030</b>	44.063.980	34.700.453	79,0
<b>2040</b>	40.922.441	31.974.622	78,1
<b>2050</b>	38.536.318	29.891.455	77,5
<b>CENÁRIO TENDENCIAL</b>			
<b>Período</b>	<b>MÉTRICAS</b>		
	<b>CA (ha)</b>	<b>TCA</b>	<b>%CA</b>
<b>2010</b>	54.420.340	43.834.985	80,5
<b>2020</b>	48.518.066	38.339.942	79,0
<b>2030</b>	44.329.345	34.807.290	78,5
<b>2040</b>	41.210.598	32.093.332	77,8
<b>2050</b>	38.809.525	29.996.734	77,2

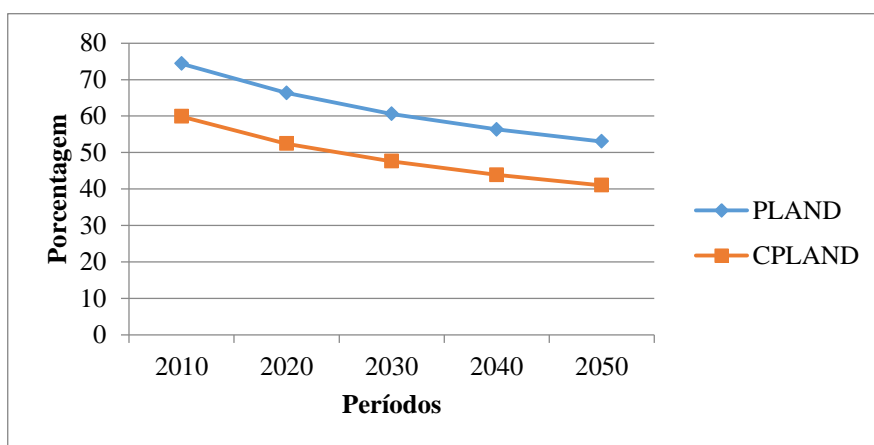
Nos três cenários, a porcentagem da paisagem ocupada pela vegetação natural (PLAND) e a porcentagem da paisagem ocupada pela área de interior dos remanescentes de vegetação natural (CPLAND) apresentaram a mesma tendência de redução da vegetação no MATOPIBA. Assim, pode-se afirmar que no cenário otimista simulado (Figura 37) está previsto uma redução destas métricas (PLAND = 59,9% e CPLAND = 48,1%). Nos outros dois cenários simulados para 2050, a redução prevista será maior (PLAND = 52,6% e CPLAND = 40,8%) e (PLAND = 53% e CPLAND = 41%) para os cenários pessimista (Figura 38) e tendencial (Figura 39), respectivamente.



**Figura 37.** Porcentagem da paisagem ocupada pela vegetação natural (PLAND) e porcentagem da paisagem ocupada pela área de interior dos remanescentes de vegetação nativa (CPLAND) no cenário otimista projetado para a região do MATOPIBA até 2050.



**Figura 38.** Porcentagem da paisagem ocupada pela vegetação natural (PLAND) e porcentagem da paisagem ocupada pela área de interior dos remanescentes de vegetação nativa (CPLAND) no cenário pessimista projetado para MATOPIBA até 2050.



**Figura 39.** Porcentagem da paisagem ocupada pela vegetação nativa (PLAND) e porcentagem da paisagem ocupada pela área de interior dos remanescentes de vegetação nativa (CPLAND) no cenário tendencial projetado para MATOPIBA até 2050.

O número de áreas de interior disjuntas (NDCA) indica a quantidade de área de interior separadas existentes na paisagem. Foi observado que a paisagem no ano 2010 estava composta por manchas maiores com formato irregular, enquanto que nos anos subsequentes (para os três cenários) é previsto que não haverá área de interior para algumas manchas, considerando a largura de borda adotada de 200 metros.

Em relação aos índices de métricas de CORE\_MN e CAI\_MN, observou-se que há tendência de redução dentro do período simulado. A pior situação esperada para 2050 é no cenário pessimista, imediatamente seguido pelo cenário tendencial (Tabela 12).

Os resultados estimados do Índice Médio da Área de Núcleo (CAI\_MN), sempre inferior a 1,74, são considerados baixos e preocupantes do ponto de vista ambiental, indicando alto grau de fragmentação na região do MATOPIBA para todos os cenários estudados, no período de 2010 a 2050. Essa tendência do decaimento das métricas CORE\_MN e CAI\_MN se dar pelo aparecimento considerável de manchas de vegetação de uma única célula, o que acarreta na diminuição da média da métrica.

**Tabela 12.** Número de manchas (NP), número de área de interior disjunta (NDCA), área média de núcleo (CORE\_MN) e Índice médio da área de núcleo (CAI\_MN) dos remanescentes de Cerrado no MATOPIBA.

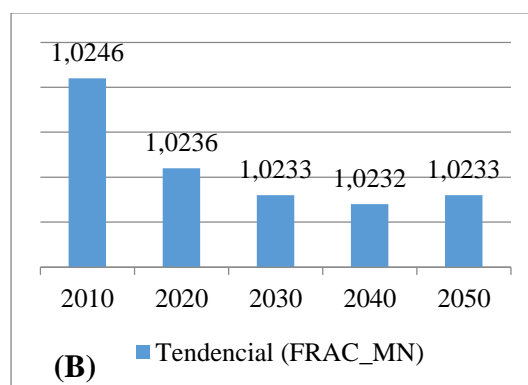
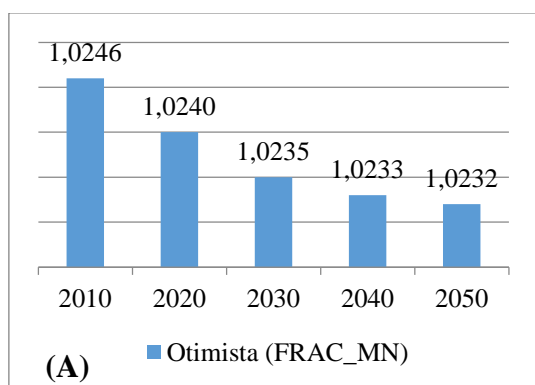
<b>CENÁRIO OTIMISTA</b>				
<b>Período</b>	<b>MÉTRICAS</b>			
	<b>NP</b>	<b>NDCA</b>	<b>CORE_MN</b>	<b>CAI_MN</b>
<b>2010</b>	20.914	21.040	2.096,0	1,74
<b>2020</b>	93.942	19.530	430,1	0,50
<b>2030</b>	116.154	18.327	329,1	0,44
<b>2040</b>	121.908	17.577	299,7	0,47
<b>2050</b>	122.651	16.957	286,8	0,49
<b>CENÁRIO PESSIMISTA</b>				
<b>Período</b>	<b>MÉTRICAS</b>			
	<b>NP</b>	<b>NDCA</b>	<b>CORE_MN</b>	<b>CAI_MN</b>
<b>2010</b>	20.914	21.040	2.096,0	1,74
<b>2020</b>	135.937	19.316	281,5	0,37
<b>2030</b>	162.922	18.330	213,0	0,34
<b>2040</b>	174.322	17.748	183,4	0,33
<b>2050</b>	181.551	17.618	163,6	0,32
<b>CENÁRIO TENDENCIAL</b>				
<b>Período</b>	<b>MÉTRICAS</b>			
	<b>NP</b>	<b>NDCA</b>	<b>CORE_MN</b>	<b>CAI_MN</b>
<b>2010</b>	20.914	21.040	2.096,0	1,74
<b>2020</b>	132.744	19.505	289,0	0,37
<b>2030</b>	164.001	18.481	212,2	0,33
<b>2040</b>	176.750	18.041	181,5	0,33
<b>2050</b>	183.595	17.877	164,3	0,32

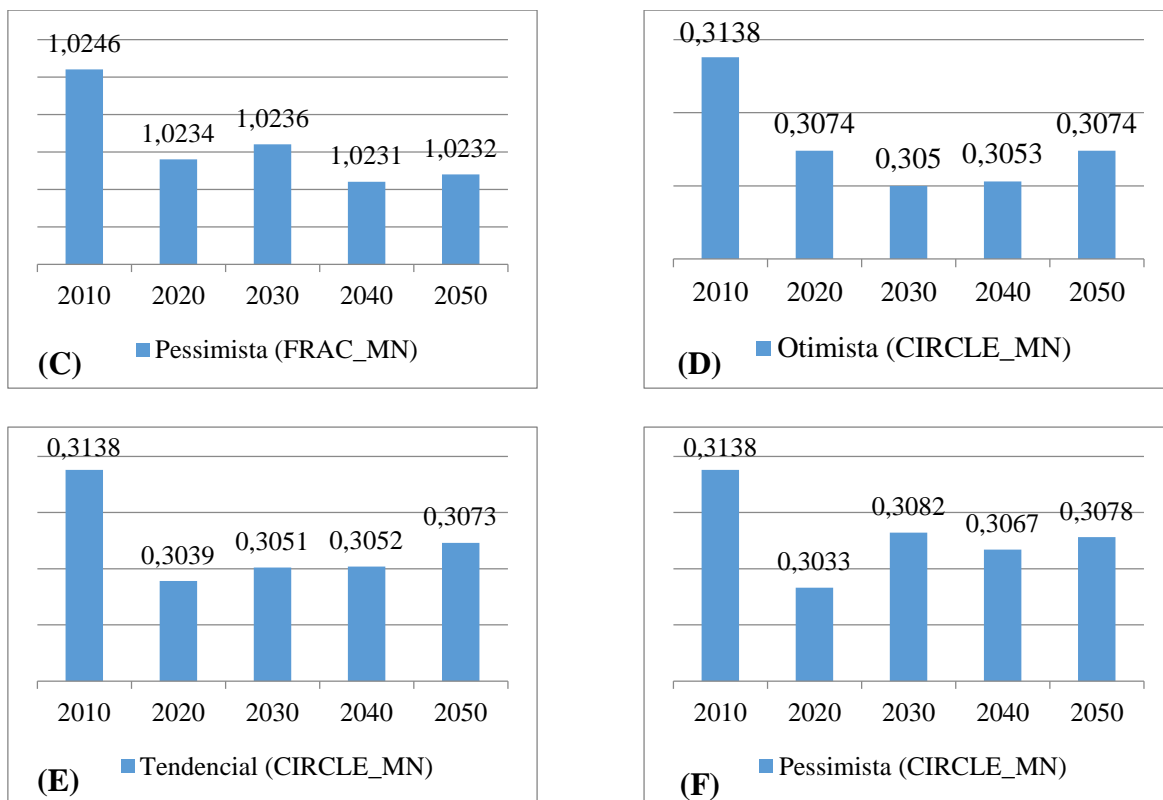
### 6.5.3. Métricas de forma

Foram estimadas as métricas de forma: Índice médio de Dimensão Fractal (FRAC\_MN) e Índice médio de Círculo Circunscrito Relacionado (CIRCLE\_MN) (Figura 40). O FRAC reflete a complexidade da forma das manchas de vegetação fragmentada através das dimensões espaciais, em que resultados de FRAC próximo de 1 caracteriza-se em formas de manchas simples ou circular e próximos de 2 formas altamente complicada. Os valores de CIRCLE\_MN indicam que quanto mais próximo de zero, as manchas serão circulares e, ao se aproximar de 1, as formas das manchas tendem a ser alongadas (HENTZ et al., 2015).

PRIMACK e RODRIGUES, (2001) afirmam que o ideal é que as manchas sejam o mais próximo possível da forma circular, pois esse formato minimiza a efeito borda-área, cujo centro se encontra mais distante das bordas do que qualquer outra forma, especialmente as alongadas.

Nos três cenários estudados, os resultados estimados de FRAC\_MN foram próximos a 1. Porém, verificou-se que no cenário otimista (Figura 40 A) houve uma tendência de aproximação a “1” no período analisado. Já nos cenários tendencial e pessimista (Figura 40 B e C, respectivamente), os resultados se comportaram de maneira bastante similar. Entretanto foi estimado um resultado diferenciado de FRAC\_MN em 2040 no cenário pessimista, indicado uma melhor condição no formato das manchas do ponto de vista da análise da fragmentação da paisagem. Os resultados da métrica CIRCLE\_MN nos três cenários estudados revelaram um padrão de evolução que indicam que no futuro as manchas de vegetação nativa serão mais alongadas do que circulares. Mais uma vez, o cenário pessimista se destaca com o maior valor projetado desta métrica da paisagem para 2050 (Figura 40 F).





**Figura 40.** (A, B e C) Média do Índice de Dimensão Fractal - FRAC\_MN e (D, E, F) Média do Índice de Círculo Circunscrito - CIRCLE\_MN dos remanescentes de Cerrado dos cenários otimista, tendencial e pessimista projetados para a região do MATOPIBA.

#### 6.5.4. Métricas de agregação

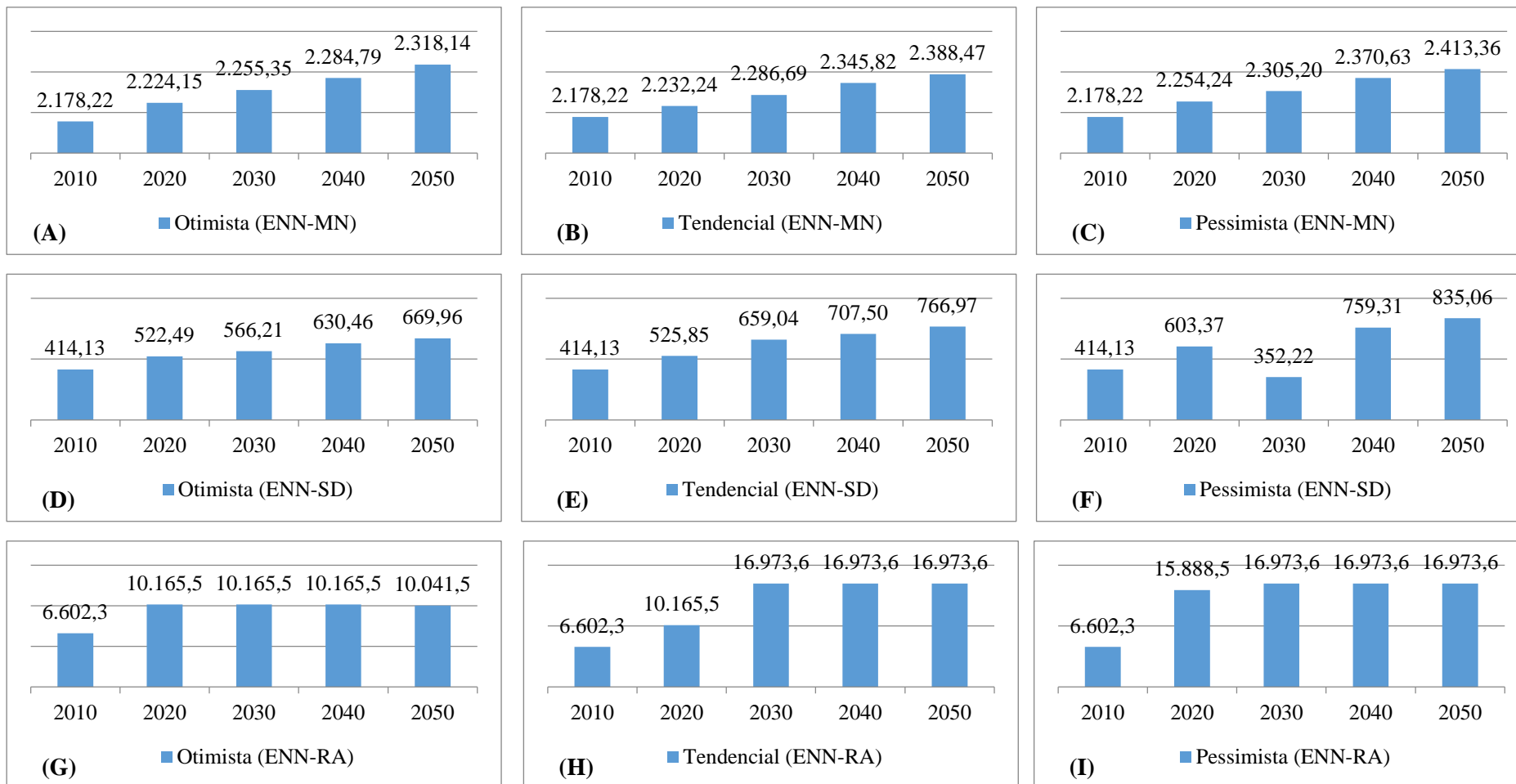
Para analisar a agregação (proximidade) entre os remanescentes de vegetação natural na região do MATOPIBA nos três cenários, foi estimada a métrica Distância média Euclidiana do Vizinho mais Próximo (ENN\_MN), o Desvio Padrão da Métrica Distância Euclidiana do Vizinho mais Próximo (ENN\_SD) e o Intervalo do Vizinho mais Próximo (ENN\_RA). Os valores médios nos três cenários variaram entre 2.318,1 metros (cenário otimista) e 2.413,3 metros (cenário pessimista) em 2050. Tais valores indicam a tendência de aumento da distância do vizinho mais próximo entre os fragmentos de vegetação nativa. E, para referência desta métrica ALMEIDA (2008) classificou as distâncias de 60, 120, 200 e > 200 metros como de baixo, médio, alto e muito alto o grau de isolamento, respectivamente.

Portanto, a paisagem futura de vegetação nativa na região do MATOPIBA apresentará um grau de isolamento muito alto, com grande distância entre os fragmentos até 2050. Nas Figuras 41 A, B e C pode ser observado que quanto maior a degradação da vegetação ao longo do período de estudo, mais desagregados ficam os fragmentos. Tal efeito é mais acentuado no cenário pessimista.

Os cenários, tendencial e pessimista apresentaram os maiores valores de ENN\_SD. O cenário pessimista se destacou por apresentar os valores mais elevados entre os três cenários e por apresentar uma redução repentina em 2030, voltando aos níveis de tendência em seguida (Figuras 41 D, E e F). Como os valores médios estimados para o cenário pessimista foram os maiores, os resultados do desvio padrão seguiram a mesma tendência. Os resultados de desvio padrão para os períodos de 2020 a 2050 e de 2030 a 2050, apresentaram os maiores valores estimados nos cenários pessimista e tendencial (Figuras 41 G, H e I).

A seguir são apresentados os resultados das métricas Distância média Euclidiana do Vizinho mais Próximo (ENN\_MN), Desvio Padrão da Métrica Distância Euclidiana do Vizinho mais Próximo (ENN\_SD) e Intervalo do Vizinho mais Próximo (ENN\_RA) da fragmentação dos desmatamentos projetados para a região do MATOPIBA.

Por fim, vale destacar a conversão de ambientes florestais contínuos em fragmentos pequenos e desconectados procede em uma série de mudanças ambientais, como a degradação da qualidade do habitat, e diversos processos ecológicos são alterados nos fragmentos, como a dinâmica florestal, ciclagem de nutrientes, estocagem de carbono, mudanças físicas na estrutura da vegetação e microclima, bem como alterações na temperatura, velocidade do vento, umidade e insolação (LAURANCE, 2008).



**Figura 41.** (A, B e C) Distância média Euclidiana do Vizinho mais Próximo - ENN\_MN, (D, E e F) Desvio Padrão da Métrica de Distância Euclidiana do Vizinho mais Próximo - ENN\_SD e (G, H e I) Intervalo do Vizinho mais Próximo - ENN\_RA.



## 7. CONCLUSÃO

As variáveis espacialmente explícitas selecionadas e utilizadas nos cenários futuros deste estudo apresentaram alta relação com o desmatamento observado, o que reduz as incertezas da modelagem. Neste sentido, observou-se que a utilização de variáveis quantitativas contribui para tornar o modelo mais robusto e com maior fidelidade à condição futura das perspectivas de desmatamento nos cenários simulados.

Assumindo-se as condições adotadas em qualquer um dos cenários deste estudo, os desmatamentos previstos para o período de estudo (2011 a 2050) poderão alcançar níveis severos de degradação ambiental na região do MATOPIBA. No melhor cenário estudado (otimista), foi previsto que mais de 10,3 milhões de hectares de vegetação nativa sejam destruídos entre 2011 e 2050. No cenário tendencial, estimou-se que mais de 15,3 milhões de hectares serão desmatados no mesmo período. Por fim, no cenário pessimista foi simulado que 15,9 milhões de hectares de cerrado serão desmatados no período de estudo. Tais mudanças previstas na vegetação natural da região têm grandes implicações ambientais, como exemplo, a fragmentação do bioma na região, com consequências para a biodiversidade na região.

Nas áreas protegidas, os dados observados de desmatamento revelam uma forte pressão antrópica eminente em 2010. Nos cenários simulados neste estudo, tal pressão deverá aumentar nas próximas décadas, especialmente sobre as categorias de unidades de conservação de proteção integral, imediatamente seguidas pelas terras indígenas e unidades de conservação de uso sustentado.

O processo de fragmentação da vegetação nativa também deverá aumentar nas próximas décadas na região do MATOPIBA. A fragmentação deverá aumentar substancialmente em qualquer um dos cenários estudados. Tal fato é uma consequência da dinâmica e intensificação dos processos de uso e ocupação das terras naquela região.

Embora haja incertezas em processos de modelagens, os resultados deste estudo contribuem para reflexão e definição de políticas públicas de planejamento e ordenamento territorial na região do MATOPIBA. Esta região tem grande relevância socioeconômica e ambiental para o país, mas requer cuidados especiais para garantir a sustentabilidade e a compatibilização do crescimento econômico com a conservação ambiental.

## REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ABIOVE – Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. Informações obtidas por solicitação, 2014. In: BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Projeções do Agronegócio: BRASIL 2014/2015 a 2024/2025.

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, p.169-188. 2007.

ALMEIDA, C. G. **Análise espacial dos fragmentos florestais na área do Parque Nacional dos Campos Gerais, Paraná**. 2008. 74p. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território) – Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

ALMEIDA, C.G. **Análise espacial dos fragmentos florestais na área do Parque Nacional dos Campos Gerais, Paraná**. 74 f. Dissertação (Mestrado em Gestão do território), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Paraná, 2008.

AMAZONAS. Governo do Estado. A floresta amazônica e seu papel nas mudanças climáticas / Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Manaus: SDS/CECLIMA, 2009. 36p. (Série Técnica Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, n. 18).

BARNI, P. E. **Reconstrução e asfaltamento da Rodovia BR-319: Efeito “dominó” pode elevar as taxas de desmatamento no Sul do Estado de Roraima**. 2009. 136f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais.) – INPA, Universidade Federal da Amazônia, Manaus.

BORGES, K.M.R. & SANTOS, P.M.C. 2009. Modelo Linear de Mistura Espectral – MLME aplicado ao monitoramento do Cerrado, Bacia do Rio Carinhanha (MG-BA). In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - Natal, RN. **Anais**. São José dos Campos, SP, INPE.

BRASIL - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Assessoria de gestão estratégica, Brasil Projeções do Agronegócio 2011/2012 a 2021/2022. Brasília, Abril de 2012.

BRASIL. **Biodiversidade do Cerrado e Pantanal**. Brasília: MMA, 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Projeções do Agronegócio: BRASIL 2014/2015 a 2024/2025, Assessoria de Gestão Estratégica. Brasília, 2015, 96 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Projeções do Agronegócio: BRASIL 2014/2015 a 2024/2025, Assessoria de Gestão Estratégica. Brasília, 2015, 41 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Projeções do Agronegócio: BRASIL 2014/2015 a 2024/2025, Assessoria de Gestão Estratégica. Brasília, 2015, 38 p.

BROCHADO, M. L., C. **Análise de cenário de desmatamento para o estado de Goiás**. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Florestal. Brasília- DF, junho de 2014.

CABACINHA, C. D.; CASTRO, S.S.; GONÇALVES, D. A. Análise da estrutura da paisagem da alta bacia do Rio Araguaia na savana brasileira. *Revista Floresta*, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 675-690, 2010.

CALEGARI, L.; MARTINS, S. V.; GLERIANI, J. M.; SILVA, E.; BUSATO, L. C. Análise da dinâmica de fragmentos florestais no município de Carandaí, MG, para fins de restauração florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 871-880, 2010.

CEMIN, G.; PERICO, E.; REMPEL, C. Composição e configuração da paisagem da sub-bacia do Arroio jacaré, Vale do Taquari, RS, com ênfase nas áreas de florestas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 705-711, 2009.

CHAVEIRO, E. F.; BARREIRA, C. C. M. A. Cartografia de um pensamento de Cerrado. In: PELÁ, M.; CASTILHO, D. Cerrados: perspectivas e olhares. Goiânia: Vieira, 2010. p. 182.

CHERMACK, T. J. Disciplined imagination: Building scenarios and building theories. **Futures**, v. 39, n. 1, p. 1-15. Feb, 2007.

COHEN, Julia Clarinda Paiva; BELTRAO, Josivan da Cruz; GANDU, Adilson Wagner and SILVA, Renato Ramos da. Influência do desmatamento sobre o ciclo hidrológico na Amazônia. **Ciência Cultura**, v.59, n.3, p.36-39. 2007.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, v. 1 – Safra 2014/15, n. 4 - Quarto Levantamento, Brasília, abr. 2015. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_04\\_13\\_08\\_45\\_51\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_4o\\_lev\\_-\\_14-15.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_04_13_08_45_51_boletim_cana_portugues_-_4o_lev_-_14-15.pdf)>. Acesso em maio/2015.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 428, de 17 de dezembro de 2010. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama>>. Acesso em 12/12/2015.

CONGALTON, R.; GREEN, K., 1999. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. CRC Press, Danvers, EUA.

COUTINHO, L, M. O conceito de bioma. *Acta Botânica Brasílica*, São Paulo, v. 20, n.1, p.13-23, 2006.

CPRM. 2006. Mapa Geodiversidade do Brasil. Escala 1:2.500.000. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inford=623&sid=9>>. Acesso em: 11/01/2016.

- CSR/IBAMA. **Monitoramento do bioma Cerrado 2008-2009**. Brasília. 2011a.
- CSR/IBAMA. **Monitoramento do bioma Cerrado 2009-2010**. Brasília. 2011b.
- CSR/IBAMA. **Relatório técnico de monitoramento do desmatamento no Cerrado, 2002 a 2008: dados revisados**. Brasília. 2009.
- DA SILVA, Elaine Barbosa et al. Análise da distribuição espaço-temporal das pastagens cultivadas no bioma Cerrado entre 1970 e 2006. **Apresentação**, v. 7, n. 1, 2015.
- EITEN, G. Delimitação do conceito de Cerrado. *Arquivos do Jardim Botânico*, n. 21, p. 125-134, 1971.
- FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. de A.; KEIZER, E. W. H.; MALDONADO, F. D.; BARBOSA, R. I.; NOGUEIRA, E. M. Modelagem de Desmatamento e Emissões de Gases de Efeito Estufa na Região Sob Influência da Rodovia Manaus-Porto Velho (BR-319). **Revista Brasileira de Meteorologia**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas, v. 24, n. 2, p.208-233. 2009.
- FERREIRA, M. E. et al. Modeling landscape dynamics in the central Brazilian savanna biome: future scenarios and perspectives for conservation. **Journal of Land Use Science**, Londres, v. I, p. 1 -19, maio 2012.
- FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. 32p. 2005.
- FONSECA, M. F.; Miranda, E. E. de. 2014. MATOPIBA: Quadro Agrário. Disponível. Nota Técnica 6. EMBRAPA. Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (GITE). Disponível em: <[https://www.embrapa.br/gite/publicacoes/NT6\\_QuadroAgrario.pdf](https://www.embrapa.br/gite/publicacoes/NT6_QuadroAgrario.pdf)>. Acesso em 14 de setembro de 2015.
- FOODY, G. M. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, v. 80, n.1, p.185-201. 2002.
- FUNAI. Fundação Nacional do Índio. Terras indígenas do Brasil. 2014. Disponível em: <<http://www.funai.gov.br>>. Acesso em 03/11/2015.
- FURLEY, P.A. The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to Brazilian Cerrados. **Global Ecology and Biogeography**, v. 8, p.223-241, 1999.
- GANEM, R. S.; DRUMMOND, J. A.; FRANCO, J. L. A. Ocupação humana e impactos ambientais no bioma cerrado: dos bandeirantes à política do Biocombustíveis. IV Encontro Nacional da Anppas. Brasília - DF: [s.n.]. 2008. p. 1 -20.
- GARBELINI, S. M.; **Manual prático de unidade de conservação**. (Coordenadoras). Goiânia: Ministério Público do estado de Goiás. ESMP, 2011. 79 p.

GARIGLIO, M. A.; Sampaio, E. V. S. B.; Cestaro, L. A.; Kageyama, P. Y. Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga /Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. Livro. 216p. : il. color.;

GOERL, R. F.; SIEFERT, C. A. C.; SCULTZ, G. B.; SANTOS, C. S.; SANTOS, I. Elaboração e Aplicação de Índices de Fragmentação e Conectividade da Paisagem para Análise de Bacias Hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 1, p.1000-1012, 2011.

GUSTAFSON, E., 1998. Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art? *Ecosystems* 1: 143-156.

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

HENTZ, A. M.; Corte, A. P. D.; Doubrawa, B.; Sanquetta, C. R. AValiação da fragmentação dos remanescentes florestais da bacia hidrográfica do rio Iguaçu – PR, BRASIL. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.21; p. 2843. Publicado em: 01/06/2015.

IBGE & MMA. Mapa de Biomas do Brasil. Rio de Janeiro. 2004.

IBGE,. Fronteira agrícola 'Matopiba' amplia produção de grãos em quatro estados - Seagri Secretaria da Agricultura, Pecuária, Irrigação, Pesca e Aquicultura. 2014. Disponível em < <http://www.seagri.ba.gov.br/noticias/2015/06/02/fronteira-agr%C3%ADcola-matopiba-amplia-produ%C3%A7%C3%A3o-de-gr%C3%A3os-em-quatro-estados>> Acesso em: 15/03/2015.

INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Assentamentos rurais do Brasil. 2014. Disponível em: <<http://acervofundiario.incr.gov.br>>.

INPE. Terraclass; Dados do Terraclass Cerrado 2013, 25 de novembro de 2015. disponível em:<[http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=4056](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=4056) Acesso em 26 de novembro de 2015.

JUVANHOL, R. S. et al. Análise Espacial de Fragmentos Florestais: Caso dos Parques Estaduais de Forno Grande e Pedra Azul. Estado do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 353-364, 2011.

JUVANHOL, R. S; FIEDLER, N. C; SANTOS, A. R; PIROVANI, D. B; LOUZADA, F. L. R. O; DIAS, H. M; TEBALDI, A. L. C. Análise Espacial de Fragmentos Florestais: Caso dos Parques Estaduais de Forno Grande e Pedra Azul, estado do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 4, p. 353-364, 2011.

KLINK, C. A. Relação entre o desenvolvimento agrícola e a biodiversidade. In: VIII SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 1ST INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANAS - BIODIVERSIDADE E PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE ALIMENTOS E FIBRAS NOS CERRADOS. **Anais...**Brasília: Embrapa/CPAC, 1996. p. 25-27.

KLINK, C. A.; MOREIRA, A. G. Past and current human occupation and land-use. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. The Cerrado of Brazil. New York: Columbia University Press, 2002. p. 69-88.

LANDIS, J.; KOCH, G. G. The measurements of agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, n.3, p.159-179. 1977.

LANG, S.; BLASCHKE, T. 2009. Análise da Paisagem com SIG. São Paulo: Oficina de Textos, 424p.

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 14 de set. 2015.

LAURANCE, W. F. Theory meets reality: How habitat fragmentation research has transcended island biogeographic theory. **Biol. Conserv.** v. 141, p. 1731-1744, 2008. LEI Nº 9.985/2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/)>. Acesso em 04/12/2014.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. Recursos Hídricos do Bioma Cerrado. In: SUELI, M. S.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. Cerrado: ecologia e flora. Brasília: Embrapa Cerrados, 2008. p. 1279.

LORENSINI, C. L; Victoria, D. C; Vicente. L. E; Maçorano, R.P; Mapeamento e identificação da época de desmatamento das áreas de expansão da agricultura no MATOPIBA. **Anais...** XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.

MAGALHÃES, L. A.; MIRANDA, E. E. de. 2014. MATOPIBA: Quadro Natural. Nota Técnica 5. EMBRAPA. Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (GITE). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/gite/publicacoes>>. Acesso em 05 de outubro de 2015.

MARQUES, E. B.: Janaina Camille Pasqual, J. C.: Leidiane Mariani, L.: Paola Beatriz May Rebollar, P. B. M.: Diagnóstico ambiental da Microbacia do Córrego Barro Preto utilizando ferramentas de sensoriamento remoto. **Anais...** XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.1225.

MCGARIGAL, K. Fragstats: Fragstats help - versão 4.2. Computer *software* program produced by the author at the University of Massachusetts, Amherst, 2013. 182p.

MCGARIGAL, K., CUSHMAN, S. A.; NEEL, M. C.; ENE, E. Fragstats: Spatial pattern analysis program for categorical maps - version 3.3 build 5. Manual do programa. Computer *software* program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst, 2002.

METZGER, J. P. Estrutura da paisagem: o uso adequado de métricas. In: JUNIOR, L. C., PÁDUA, C. V. & RUDRAN, R. Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre. Curitiba, PR. Ed. da UFPR. Fundação O Boticário de Proteção à Natureza, 2003. 667p.

METZGER, J. P. Estrutura da paisagem: o uso adequado de métricas. In: CULLEN, J. R.; L.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PADUA, C. (eds) Métodos de estudos embiologia da conservação e manejo da vida silvestre. Curitiba: Ed. UFPR, 2003. p. 423-538.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? Biota Neotrópica, Campinas, v. 1, n. 1/2, p. 1-9, 2001.

MIRANDA, E. E. de.; MAGALHÃES, L. A.; CARVALHO, C. A. de. 2014. Um Sistema de Inteligência Territorial Estratégica para o MATOPIBA. Nota Técnica 2. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/gite/publicacoes>>. Acesso em 22 de novembro de 2015.

MIRANDA, E. E. de.; Magalhães, L. A.; Carvalho, C. A. de. 2014a. Proposta de Delimitação Territorial do MATOPIBA. Nota Técnica 1. EMBRAPA. Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (GITE). Disponível em: <[https://www.embrapa.br/gite/publicacoes/NT1\\_DelimitacaoMatopiba.pdf](https://www.embrapa.br/gite/publicacoes/NT1_DelimitacaoMatopiba.pdf)>. Acesso em 12 de novembro de 2015.

MMA e IBAMA. Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por Satélite: Monitoramento do Bioma Cerrado 2008-2009. Brasília. 2011.

MUELLER, C. C.; MARTHA, G. B. A agropecuaria e o desenvolvimento socioeconomico recente do Cerrado. Simposio Nacional Cerrado. Brasília: Embrapa Cerrados. 2008. p. 1 -41.

NEVES, N., Freire, M., Cabezas, J., Buyolo, T., Fernández, L., Fernández, I., Batista, T., 2006. GESTA – Concepção e Desenvolvimento do modelo de dados espaciais. In AMDE, Junta de Estremadura (Eds.), GEOALEX – Modelo de gestão ambiental e territorial para a área transfronteiriça Alentejo-Estremadura. Badajoz, pp. 253-280.

ODUM, E. P.; BARRET, G. W. **Fundamentos de Ecologia**. Tradução da 5ª edição norte americana. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

Pedlowski, M.A.; Matricardi E. A.T.; Skole D.; Cameron S. R.; Chomentowski W.; Fernandes L. C.; et al. Conservation units: a new deforestation frontier in the Amazonian state of Rondônia, Brazil. Environmental Conservation 2005; 32(2): 149-155.

PIONTEKOWSKI, Valderli Jorge et al. Modelagem do desmatamento para o Estado do Acre utilizando o programa DINAMICA EGO. **Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, v. 4, p. 1064-1075, 2012.

PIONTEKOWSKI, Valderli Jorge. Modelagem da dinâmica do uso e cobertura da terra do estado de Rondônia até 2050/ Valderli Jorge Piontekowski. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília-UnB, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Florestal. 2014, 88f. : il.;30cm.

PIROVANI, D. B.; SILVA, A. G. da; SANTOS, A. R. dos; CECÍLIO, R. A.; GLERIANI, J. M.; MARTINS, S. V. Análise espacial de fragmentos florestais na Bacia do Rio Itapemirim, ES. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 2, 2014.

PIROVANI, D. B.; SILVA, A. G.; SANTOS, A. R.; CECÍLIO, R. A.; GLERIANI, J. M.; MARTINS, S. V. Análise espacial de fragmentos florestais na Bacia do rio Itapemirim, ES. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 271-281, 2014.

PNUD. Brasil 2040: Cenários e Alternativas de Adaptação à Mudança do Clima - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), Modelagem Ambiental. Disponível em: <<http://www.sae.gov.br/imprensa/noticia/brasil-2040-cenarios-e-alternativas-de-adaptacao-a-mudanca-do-clima>>. Acesso em 25 de outubro de 2015.

PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. **Biologia da conservação**. Londrina: Vozes, 2001. 328 p.

REATTO, A. & MARTINS, E. S. Classes de solo em relação aos controles da paisagem do bioma Cerrado. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C. & FELFILI, J. M. (org.). Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. MMA. Brasília, DF. 2005.

RODRIGUES, H. O.; SOARES-FILHO, B. S.; COSTA, W. L. de S. DINAMICA EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. In Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p.3089-3096. Online.

SALMONA, Y.B. (2013). **Cerrado com C ou S? Modelagem de cenários futuros para o bioma**. Dissertação de Mestrado, Publicação PPG EFL. DM 197/2013, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, DF, 87p.

SARMIENTO, G.; PINILLOS, M. O Caso das savanas tropicas da América do Sul: quando a sustentabilidade econômica e ecológica não é suficiente. In: GARAY, I.; BECKER, B.

SAUNDER, S. C.; MISLIVETS, M. O. R.; CHEN, J.; CLELAND, D. T. Effects of roads on landscape structure within nested ecological units of the Northern Great Lakes Region, USA. **Biological Conservation**, Barking, v. 103, p. 209-225, 2002.

SILVA, L.L. O papel do estado no processo de ocupação das áreas de cerrado entre as décadas de 60 e 80. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v.1, n.2, p.24-36, 2000.

SILVA, R. M. P.; LIMA, J. R.; MENDONÇA, I. F. C. Alteração da cobertura vegetal na Sub-Bacia do Rio Espinharas de 2000 a 2010. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 2, p. 202-209, 2014.



SOARES-FILHO, B. S., Pennachin, C. L., Cerqueira, G. DINAMICA – A stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **Ecological Modelling**. 154, 217-235, 2002.

SOARES-FILHO, B. S.; RODRIGUES, H. O.; COSTA, W. L. S. **Modelagem de Dinâmica Ambiental com Dinamica**. Guia prático do Dinamica Ego, Centro de Sensoriamento Remoto/UFMG. 2009.

SOARES-FILHO, B. S.; RODRIGUES, H. O.; COSTA, W. L. S.; SILVESTRINI, R. A.; FERREIRA, B. M.; LIMA, L. S.; MACHADO, R. F. **Dinamica project**. Disponível em: <[www.csr.ufmg.br/dinamica](http://www.csr.ufmg.br/dinamica)>. Acesso em: 02 setembro. 2014.

VALDIVIESO, F. O.; SENDRA, J. B. Application of GIS and remote sensing techniques in generation of land use scenarios for hydrological modeling. **Journal of Hydrology**, p. 256-263, 2010.

VALENTE, R. O. A. **Análise da estrutura da paisagem na bacia do rio Corumbataí, SP. 2001. 144f.** Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Universidade de São Paulo, Piracicaba.

VIDOLIN, G. P; BIONDI, D; WANDEMBRUCK, A. Análise da estrutura da paisagem de um remanescente de floresta com araucária, Paraná, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 515- 525, 2011.

VOLOTÃO, C. F. S. Trabalho de análise espacial – Métricas do Fragstats. INPE, São José dos Campos. 1998. 48p.

XIMENES, A. de C.; ALMEIDA, C M de; AMARAL, S.; ESCADA, M. I. S. AGUIAR, A. P. D. de. Modelagem Dinâmica do Desmatamento na Amazônia. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 14, n. 3, p.370-391. 2008.