



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA NO SUL DO MARANHÃO ENTRE
OS ANOS DE 1995 E 2015**

Estudante: Isabela Silveira Baptista
Matrícula: 10/0013058

Orientador: Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Brasília-DF, dezembro de 2015

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA NO SUL DO MARANHÃO ENTRE
OS ANOS DE 1995 E 2015**

Estudante: Isabela Silveira Baptista, Matrícula: 10/0013058

RG: 2924578 SSP-DF

CPF: 035.006.181-54

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8164099907102712>

Linha de pesquisa: Sistema de Informações Geográficas aplicada à Ciência Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

*Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Departamento de Engenharia Florestal da
Universidade de Brasília, como parte das exigências
para obtenção do título de Engenheiro Florestal.*

Brasília-DF, dezembro de 2015

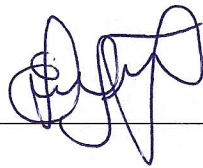
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA NO SUL DO MARANHÃO ENTRE
OS ANOS DE 1995 E 2015

Estudante: Isabela Silveira Baptista, Matrícula 10/0013058

Menção: SS

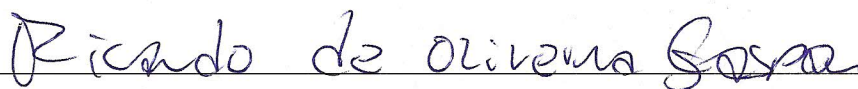
Aprovada por:



Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi / Departamento de Engenharia Florestal-UnB
(Orientador)



Prof. Dr. Reginaldo Sérgio Pereira / Departamento de Engenharia Florestal – UnB
(Examinador Interno)



Prof. Dr. Ricardo de Oliveira Gaspar/Departamento de Engenharia Florestal – UnB
(Examinador Interno)

Brasília-DF, 9 de dezembro de 2015.

一期一会

"one encounter, one opportunity"

Cada ocasião é única e não se repetirá.

AGRADECIMENTOS

Sou grata pela minha vida e por todos os momentos maravilhosos que ela me proporciona. Assim, agradeço a minha mãe, Ana Luzia, que além de ter me dado a maior das graças, sempre esteve ao meu lado cuidando de mim.

Agradeço a minha grande família, Wagner, Alice, Luís Guilherme, Danielle e Tomás, que me deu amor, apoio, alegrias, conhecimentos e me permitiu aprender mais sobre mim e os outros.

Agradeço ao Luiz Henrique por ter dividido comigo o seu amor e sabedoria em diversas áreas da vida durante todos esses anos.

Agradeço aos amigos que conheci graças à Engenharia Florestal, que me acompanharam durante esses seis anos e com quem sempre pude contar para trocar ideias, alegrias e reclamações do cotidiano. Em especial, Mariana, Priscilla, Maitê, Ana Flor, Marina, Erick, Pedro Henrique, João Victor, Matheus Mendes e Edberto.

Agradeço as ótimas oportunidades que tive durante os meus anos de curso na Engenharia Florestal: a minha participação na empresa júnior Ecoflor, que me trouxe muitos aprendizados; e o meu estágio na Infraero, onde conheci os grandes engenheiros, amigos e exemplos Camila e Zé.

Agradeço a todos que tanto me ajudaram durante meu período de estudos no Japão, especialmente Kawamura-san, Sophak-san, Vundu-san, Russel-san, Matsushita-sensei e Fukushima-sensei.

Agradeço aos grandes amigos que fiz em Tsukuba, com quem eu compartilhei momentos inesquecíveis e muito felizes, durante um ano tão especial na minha vida. Em especial, Taka, Megumi, Chihiro, Miki, Iku, Daichi, Henry, Felipe, Helene, Thaís, Mirna, Nicolás, Dhani e Gabi.

Agradeço ao professor Eraldo por ter sido um orientador paciente, sábio e amigo. Obrigada por ter me ajudado tanto nesses anos, principalmente durante esse trabalho, e por sempre deixar sua porta aberta para mim e todos os alunos que buscam seus conselhos e ensinamentos.

Por fim, agradeço a todos os outros professores, funcionários, monitores e colegas do curso de Engenharia Florestal da UnB que foram parte da minha fonte de conhecimento sobre as diversas áreas que o curso abrange, além de terem feito parte do meu dia a dia por tanto tempo. Obrigada a todos que me ajudaram a crescer pessoalmente, academicamente e profissionalmente nessa etapa da minha vida. E que venham as próximas etapas!

RESUMO

O Brasil tem sido considerado uma grande potência agrícola mundial nas últimas décadas, a maior parte devido à expansão da produção de commodities agrícolas (especialmente a soja e o milho) nos biomas Amazônia e Cerrado brasileiros. O aumento da área cultivada resulta na maioria das vezes no desmatamento ou conversão de áreas de vegetação nativa para a agricultura. No Cerrado, a expansão agrícola levou a perda de aproximadamente 40% da cobertura original até 2010. E, de modo mais específico, a região sul do Estado do Maranhão, fronteira com os Estados do Piauí e Tocantins, inserida no bioma Cerrado, com a maior parte de suas áreas consideradas ambientalmente frágeis, tem sido reportada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística com aumentos subsequentes na produção de soja nos últimos anos. Entretanto, os dados do monitoramento dos biomas registram apenas a situação do desmatamento entre 2002 e 2010, incluindo o Sul do Estado do Maranhão. Isso indica a necessidade de informações espaciais e temporais mais detalhadas para entender a dinâmica da expansão agrícola nesta região. A presente pesquisa buscou estimar as mudanças do uso e cobertura da terra, quinquenalmente, entre 1995 e 2015 na região sul do Estado do Maranhão, localizada na fronteira com os Estados do Piauí e Tocantins. Para isso foram utilizados dados dos satélites da série Landsat e Rapideye e técnicas de geoprocessamento. Com base nos resultados deste estudo, estima-se uma perda de 335.317 hectares (~15%) de vegetação de cerrado entre 1995 e 2015 na área de estudo. A maior parte deste desmatamento está localizada em áreas de prioridade extremamente alta para a conservação da biodiversidade por critérios do Ministério do Meio Ambiente (MMA). O presente estudo é, portanto, uma contribuição para o melhor entendimento dos impactos da expansão agrícola na vegetação nativa e para a definição de estratégias de redução e monitoramento do desmatamento no bioma Cerrado brasileiro.

Palavras-chave: Cerrado, Maranhão, mudança no uso/cobertura da terra, geoprocessamento, sensoriamento remoto.

ABSTRACT

Brazil has been considered the world's largest agricultural producer in recent decades, mostly due to its production increase of agricultural commodities (especially soybean and corn) in the Brazilian Amazon and Cerrado biomes. As a result of the increase that Agricultural production, large areas of native vegetation have been clear-cut. The agricultural expansion within Cerrado biome has led to a loss of approximately 40% of its original vegetation coverage by 2010. More specifically, the Southern region of the state of Maranhão, which is spatially located between the states of Piauí and Tocantins and mostly encompassed by fragile environments, has been reported by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) as an important soybean producer in recent years. However, the deforestation monitoring program of the Brazilian biomes has only assessed deforestation by 2002, 2008, and 2010, which included the Southern Maranhão. It indicates that further detailed information is needed to support and better understand the dynamics of agricultural expansion in the study region. This study sought to estimate the land use and land cover changes every five years, between 1995 and 2015 in the Southern Maranhão. In this study, Landsat time series data and RapidEye imagery combined with semi-automatic remote sensing technique were used to map land use and land cover in the study site. Based on this study results, it was estimated that 335,317 hectares (~ 15%) of cerrado vegetation have been deforested between 1995 and 2015 in the study area. Most of deforestation was spatially located within previously defined as high priority conservation by the Ministry of Environment (MMA). These study results contribute to a better understanding of the impacts of the agricultural expansion and to support definition strategies to control deforestation in the Brazilian Cerrado biome.

Keywords: Cerrado (Brazilian savana), state of Maranhão, land use/land cover change, geoprocessing, remote sensing.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 13 |
| 2. PROBLEMAS DE PESQUISA | 15 |
| 3. OBJETIVOS | 16 |
| 3.1 OBJETIVO GERAL | 16 |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 16 |
| 4. JUSTIFICATIVA | 16 |
| 5. REVISÃO DA LITERATURA | 17 |
| 5.1 CERRADO E O AVANÇO DAS COMMODITIES AGRÍCOLAS | 17 |
| 5.2 SUL DO MARANHÃO E A AGROPECUÁRIA | 19 |
| 5.3 ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE BRASILEIRA | 21 |
| 5.4 SATÉLITES E MAPEAMENTO DE IMAGENS | 23 |
| 6. MATERIAL E MÉTODOS | 25 |
| 6.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 25 |
| 6.2 METODOLOGIA | 27 |
| 6.2.1 Dados de Sensores Remotos | 27 |
| 6.2.2 Classes de Uso e Cobertura da Terra | 28 |
| 6.2.3 Análise de Componentes Principais | 30 |
| 6.2.4 Classificação Supervisionada | 31 |
| 6.2.5 Avaliação da Acurácia da Classificação Supervisionada | 31 |
| Fonte: Fonseca (2010) | 34 |
| 6.3 ESTIMATIVA DAS ÁREAS DAS CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA | 34 |
| 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 34 |
| 7.1 ACURÁCIA DA CLASSIFICAÇÃO | 34 |
| 7.2 DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA ENTRE 1995 E 2015 | 35 |
| 7.3 SITUAÇÃO DAS ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE DO CERRADO | 39 |
| 8. CONCLUSÕES | 43 |
| 9. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 43 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Principais aplicações das bandas do sensor TM (adaptado de Novo, 2008). | 24 |
| Tabela 2 – Imagens dos satélites utilizadas para a classificação do uso e cobertura da terra e avaliação da acurácia da classificação para a região Sul do Maranhão. | 27 |
| Tabela 3 – Descrição das classes de uso e cobertura da terra identificadas na composição de bandas colorida das imagens RGB 4/3/2. | 28 |
| Tabela 4 – Índice Kappa e o quanto o seu valor representa o desempenho de uma classificação. | 33 |
| Tabela 5 – Matriz de confusão estimada a partir da classificação do uso e cobertura da terra em 2010 comparados com dados referência obtidos sobre a imagem Rapideye de 2011. | 34 |
| Tabela 6 – Estatística Kappa e as avaliações de cada classificação. | 35 |
| Tabela 7 - Dados sobre as áreas, em hectares e percentagem (%) de cada classe do uso e cobertura da terra no Sul do Estado do Maranhão, em 1995, 2000, 2005, 2010 e 2015. | 38 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1- Área do Brasil ocupada pelo bioma Cerrado, segundo dados do MMA e o limite do Estado do Maranhão. | 17 |
| Figura 2 – Em verde, áreas remanescentes de Cerrado até 2008, segundo dados do MMA. | 18 |
| Figura 3 – Regionalização da agropecuária no Estado do Maranhão, incluindo sua parte sul, segundo informações obtidas pelo SEADE em 2001. | 20 |
| Figura 4 – Mapa de áreas prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira, com o Maranhão destacado, segundo a avaliação do MMA, em 2007..... | 23 |
| Figura 5 - Localização das cenas Landsat órbita/ponto 221/066 e 221/67 que recobrem a área de estudo no Sul do Estado do Maranhão..... | 26 |
| Figura 6 – Pontos amostrais sistemático-aleatórios utilizados para estimar a acurácia da classificação do uso e cobertura da terra em 2010 (abaixo) utilizando imagens <i>Rapideye</i> (acima) como referência..... | 32 |
| Figura 7 – Classes de uso e cobertura da terra no Sul do Estado do Maranhão nos anos de 1995, 2000, 2005, 2010 e 2015 (da esquerda para a direita). | 39 |
| Figura 8 – Áreas de prioritárias para conservação da biodiversidade do Cerrado, no Estado do Maranhão e regiões de entorno, de acordo com dados do PROBIO/MMA. | 40 |
| Figura 9 - Áreas de prioridade para a biodiversidade do Cerrado, na área de estudo e suas proximidades, de acordo com dados do PROBIO/MMA. | 41 |
| Figura 10 – Áreas prioritárias para a biodiversidade do Cerrado sobrepostas ao mapa de uso e cobertura da terra no sul do Maranhão, em 2015..... | 42 |
| Figura 11 – Unidades de conservação e terras indígenas existentes nas proximidades da área de estudo. | 45 |

SIGLAS

SIG – Sistema de Informações Geográficas

MMA – Ministério do Meio Ambiente

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais

IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

PROBIO – Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira

APÊNDICE

| | |
|---|----|
| APÊNDICE A - Classes de uso e cobertura da terra no Sul do Estado do Maranhão no ano de 1995..... | 52 |
| APÊNDICE B - Classes de uso e cobertura da terra no Sul do Estado do Maranhão no ano de 2000..... | 53 |
| APÊNDICE C - Classes de uso e cobertura da terra no Sul do Estado do Maranhão no ano de 2005..... | 54 |
| APÊNDICE D - Classes de uso e cobertura da terra no Sul do Estado do Maranhão no ano de 2010..... | 55 |
| APÊNDICE E - Classes de uso e cobertura da terra no Sul do Estado do Maranhão no ano de 2015..... | 56 |

1. INTRODUÇÃO

O Brasil vem sendo considerado uma potência agrícola mundial nas últimas décadas, impulsionado pelo aumento progressivo da demanda mundial por alimentos que, muitas vezes, não considera a capacidade ecológica de suporte dos ambientes e as consequências socioeconômicas de um crescimento desequilibrado. O aumento na área cultivada resulta, na maioria das vezes, em uma relação direta com os processos de conversão de áreas de vegetação natural para atividades agropecuárias (SANO *et. al.*, 2002). Um exemplo de Sano *et. al.* é o bioma cerrado que teve aproximadamente 40% da sua área original modificada em função da contínua abertura de novas áreas para o cultivo de pastagem e a implantação de grandes culturas agrícolas

Na região sul do Estado do Maranhão, a produção de soja em larga escala pode ser considerada recente, remontando ao ano de 1978, primeiro ano em que constam registros estatísticos sobre este cultivo no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); posteriormente, os produtores foram se organizando e na década de 1990 a soja já estava consolidada na região inclusive se expandindo para outras localidades do Estado (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2014).

Os Estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia respondem por 13% da produção nacional de soja (BRASIL, 2011). Dados da PAM (Produção Agrícola Municipal) do IBGE mostram que a área cultivada nesses Estados aumentou 110% entre 2001 e 2010. Além disso, estima-se a expansão da área plantada em aproximadamente 16% para os próximos 10 anos (BRASIL, 2011). Atribui-se a expansão aos preços das terras, que, embora tenham aumentado acentuadamente nos últimos anos, ainda são inferiores ao de Estados como o Mato Grosso (BRASIL, 2011).

Segundo Dourado e Boclin (2008), a produção de soja, arroz e cana-de-açúcar predomina na região sul-maranhense (municípios de Balsas, Riachão, Tasso Fragoso, Alto Parnaíba, Fortaleza dos Nogueiras, Sambaíba e São Raimundo das Mangabeiras) e se expande pela região tocantina (Imperatriz, Açailândia, Porto Franco e outros). No Estado do Maranhão, de 1996 para 2005, a área colhida da soja passou de 62.328 ha para 372.074 ha; e a produção, de 135.123 toneladas, para 996.909 toneladas; ou seja, para um aumento de quase 600% na área colhida,

houve um incremento de 738% na produção. No mesmo período, o arroz aumentou 20% em área colhida, crescendo 28% na produção. A maior concentração se dá na região sul do Estado, particularmente nas microrregiões Gerais de Balsas e Chapadas das Mangabeiras (DOURADOS; BOCLIN, 2008).

Neste sentido, o monitoramento sistemático e operacional destas áreas, a fim de garantir a preservação dos ecossistemas terrestres e, conseqüentemente, a manutenção dos ciclos biogeoquímicos e dos sistemas climáticos, se torna de extrema importância. O uso de dados temporais de sensoriamento remoto, aliados as técnicas de interpretação e processamento de imagens tem substituído os métodos tradicionais para o monitoramento das áreas contíguas de vegetação natural, pois permite identificar os processos de conversão destas áreas em agricultura, estimar taxas de desmatamento e identificar quais as culturas predominantes na dinâmica do uso e cobertura da terra ao longo do tempo (FERREIRA *et al.*, 2003; MELLO *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2010).

Nos últimos anos, órgãos federais como o MMA tiveram iniciativas de mapear a cobertura vegetal e do uso do solo no bioma Cerrado. Segundo o IBGE (2004), o Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, ocupando sua área central, com cerca de 203 milhões de hectares, o que corresponde a 25% do território nacional. O Cerrado possui grande diversidade biológica e presta serviços ambientais essenciais na regulação do ciclo hidrológico. De fato, as cabeceiras das principais bacias hidrográficas do Brasil (Araguaia, Tocantins, Xingu, Tapajós, Paraguai e São Francisco) estão situadas nesse bioma. O Cerrado está fortemente ameaçado pela expansão agrícola desordenada (MMA, 2011). É evidente o quanto o Cerrado apresenta uma grande riqueza de espécies, diversidade de habitats e diferentes fitofisionomias, tornando-o conhecido como a savana mais rica do mundo.

Entretanto, mesmo com essa riqueza e tamanho, o Cerrado é um dos ambientes mais ameaçados do mundo. Restam apenas 50% de sua vegetação nativa e a expansão das atividades antrópicas, em especial a agropecuária, pressiona cada vez mais as áreas nativas (MMA/IBAMA 2011).

Esse tipo de situação caracteriza o bioma Cerrado como um *hotspot*. Segundo Myers *et al.* (2000), *hotspots* são áreas com altas concentrações de espécies endêmicas que estão passando por grande perda de habitats. Estudos realizados pelo Programa Cerrado da organização

Conservação Internacional (CI Brasil) indicam que o bioma corre o risco de desaparecer até 2030 (Machado, 2004). Dos 204 milhões de hectares originais, 57% já foram completamente destruídos e a metade das áreas remanescentes estão bastante alteradas, podendo não mais servir aos propósitos de conservação da biodiversidade (MACHADO, 2004).

Levando essas informações em consideração, e sabendo que observar e identificar as mudanças de cobertura e uso da terra no planeta é uma tarefa desafiadora, busca-se obter essas informações para uma região específica do Cerrado através de conhecimentos obtidos de sensoriamento remoto. A evolução da cobertura do solo pode ser identificada por análise de duas ou mais imagens de sensoriamento remoto co-registradas na mesma área geográfica tomadas em momentos diferentes (COPPIN *et al.*, 2004).

Desta forma, este trabalho buscou entender melhor as mudanças que ocorreram no uso e cobertura da terra no Sul do Estado do Maranhão, uma região do bioma Cerrado onde foram registrados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) crescimentos consecutivos da produção de commodities agrícolas, indicando grande pressão antrópica sobre a vegetação do cerrado. Os resultados desta pesquisa poderão apoiar a definição de estratégias de redução e monitoramento do desmatamento na vegetação no bioma Cerrado brasileiro.

2. PROBLEMAS DE PESQUISA

O Cerrado vem se transformando em uma nova fronteira agrícola do país nas últimas décadas e é hoje uma das maiores regiões produtoras de grãos do Brasil. A expansão dessa fronteira foi movida pela necessidade crescente de produção, o que resultou na supressão de grandes áreas de vegetação nativa (JACOVINE *et al.*, 2008). A conversão de áreas florestadas para fins agrícolas é associada à diminuição da qualidade da água e a alteração dos processos biológicos, físicos e químicos dos sistemas naturais (MERTEN; MINELLA, 2002).

Impactos decorrentes do avanço das atividades agropecuárias em áreas de vegetação nativa do Cerrado ocorrem em regiões que apresentam maiores taxas de desmatamento nos últimos anos. Apesar disso, esta região não tem sido monitorada sistematicamente por programas de monitoramento por satélite, sendo que os dados disponíveis de desmatamento do Cerrado foram produzidos para os anos de 2002, 2008 e 2010 pelo Ministério do Meio Ambiente

(MMA). Consequentemente, pouco se sabe sobre a dinâmica temporal do uso e ocupação das terras, incluindo os impactos do aumento da produção de soja no desmatamento da vegetação do cerrado nas últimas décadas na região Sul do Estado do Maranhão.

Deste modo, busca-se com esta pesquisa responder as seguintes questões: Qual a área de vegetação nativa desmatada na área de estudo entre 1995 e 2015? Onde estão localizadas estas áreas? Qual a prioridade de conservação da biodiversidade das áreas desmatadas até 2015?

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho objetiva avaliar e entender melhor a dinâmica espaço-temporal do desmatamento na região do Sul do Estado do Maranhão nas últimas décadas.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar as áreas desmatadas na região de estudo nos anos de 1995, 2000, 2005, 2010 e 2015;
- Analisar a dinâmica espaço-temporal do desmatamento, identificando as áreas de expansão agrícola no Sul do Maranhão;
- Identificar as áreas consideradas prioritárias para a conservação da biodiversidade do Cerrado, segundo a classificação do PROBIO/MMA, impactadas pela expansão da agricultura na área de estudo.

4. JUSTIFICATIVA

O mapeamento de uso e cobertura da terra usando conjuntos de dados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento podem contribuir para o monitoramento do desmatamento e o entendimento da dinâmica de cobertura da terra e auxiliar nas tomadas de decisão de políticas ambientais. Entretanto, o bioma Cerrado tem dados disponíveis apenas para os anos de 2002, 2008 e 2010, o que deixa grandes lacunas para o entendimento pleno dos impactos do desmatamento e expansão agrícola neste bioma. Assim, o presente estudo conduziu o mapeamento temporal (1995 a 2015) do uso e cobertura da terra no Sul do Estado do

Maranhão para possibilitar a análise da dinâmica do setor agrícola e foram ainda identificadas as prioridades de conservação da biodiversidade das áreas desmatadas na região de estudo.

Os resultados desta pesquisa poderão ser utilizados para o melhor entendimento e planejamento das atividades agrícolas no Estado e a conservação das suas áreas consideradas prioritárias para a biodiversidade do bioma Cerrado.

5. REVISÃO DA LITERATURA

5.1 CERRADO E O AVANÇO DAS COMMODITIES AGRÍCOLAS

O Cerrado (Figura 1) é uma das savanas de maior biodiversidade do planeta e com grande concentração de espécies endêmicas. É caracterizado por uma vegetação tipo savana, subclassificada em cerradão (maior porte arbóreo), cerrado, campo sujo e campo limpo, entremeados por matas de galerias, florestas estacionais, campos rupestres e veredas de buritis. O Cerrado está fortemente ameaçado pela expansão agrícola desordenada (MMA, 2011).

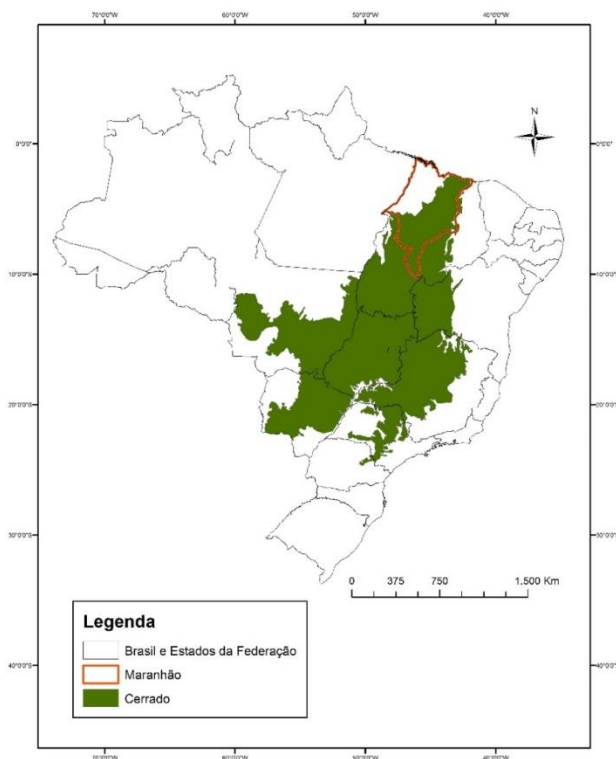


Figura 1- Área do Brasil ocupada pelo bioma Cerrado, segundo dados do MMA e o limite do Estado do Maranhão.

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, sendo superado em área apenas pela Amazônia. Ocupa 21% do território nacional e é considerado a última fronteira agrícola do planeta (Borlaug, 2002). O Cerrado Brasileiro vem sofrendo um acelerado processo de degradação devido ao crescimento das cidades nele localizadas, mas, principalmente, pela expansão da agricultura e da pecuária (Figura 2). O impacto ambiental mais evidente desse processo é o desaparecimento gradativo do ecossistema e a sua substituição por uma paisagem bastante homogênea, formada por pastagens e por grandes lavouras (SANTOS *et al.*, 2010).

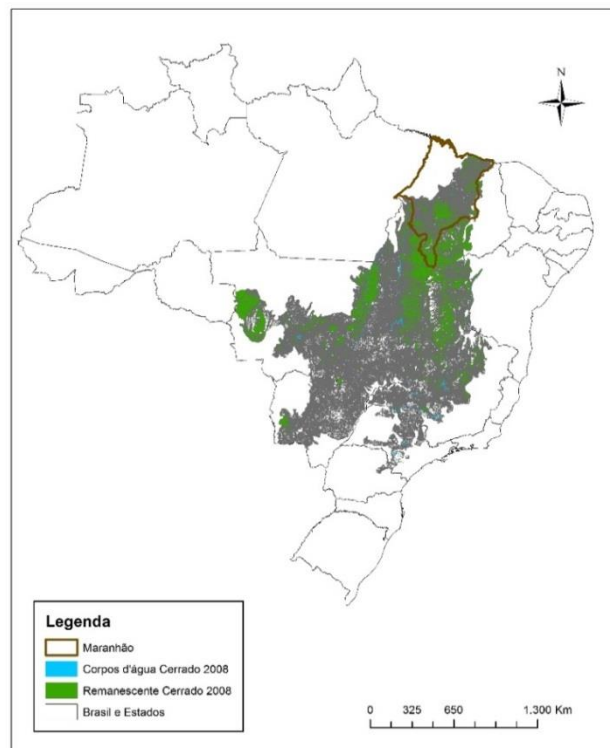


Figura 2 – Em verde, áreas remanescentes de Cerrado, segundo dados do MMA de 2008.

Em termos históricos, o bioma Cerrado teve uma área suprimida de 43,6% até o ano de 2002 e de 47,8% até o ano de 2008. No período de 2009-2010, a taxa anual de desmatamento foi de 0,3%, a maior taxa dentre os seis biomas brasileiros (não há dados sobre a taxa anual de desmatamento antes de 2002) (MMA, 2009). Infelizmente a ocupação econômica dos Cerrados tem ocorrido sem um adequado planejamento (DIAS, 1992).

As transformações ocorridas no Cerrado também trouxeram grandes danos ambientais – fragmentação de habitats, extinção da biodiversidade, invasão de espécies exóticas, erosão dos solos, poluição de aquíferos, degradação de ecossistemas, alterações nos regimes de queimadas,

desequilíbrios no ciclo do carbono e possivelmente modificações climáticas regionais. Embora o Cerrado seja um ecossistema adaptado ao fogo, as queimadas utilizadas para estimular a rebrota das pastagens e para abrir novas áreas agrícolas causam perda de nutrientes, compactação e erosão dos solos, um problema grave que atinge enormes áreas, especialmente nas regiões montanhosas do leste goiano e oeste mineiro. A eliminação total pelo fogo pode também causar degradação da biota nativa pois, devido ao acúmulo de material combustível (biomassa vegetal seca) e à baixa umidade da época seca, uma eventual queimada nessas condições tende a gerar temperaturas extremamente altas que são prejudiciais à flora e à fauna do solo (KLINK; MOREIRA, 2002).

O Cerrado é o bioma que mais sofre pressão ambiental da agropecuária brasileira, seja pelas condições naturais e sociais favoráveis, seja pelo imaginário a ele associado. Sua identificação como “celeiro do mundo” não foi acompanhada da produção ambiental, hoje encontrando dificuldade em ser considerada no processo produtivo, que tem incorporado áreas cada vez maiores (SILVA *et al.*, 2013).

5.2 SUL DO MARANHÃO E A AGROPECUÁRIA

No Maranhão, a lavoura de soja se destaca na região sul do Estado, particularmente, no município de Balsas. A partir dos anos 80 a corrente de imigrantes sulista, em sua maioria advindos do Rio Grande do Sul, se estabeleceu no centro-oeste brasileiro (cerrado) e chegaram ao Sul do Maranhão atrás de terras baratas e incentivos fiscais e políticas territoriais (ENCONTRO, 2010).

A produção em larga escala da soja, a exemplo do que ocorreu no sul do país e em áreas de expansão da fronteira no centro-oeste, norte e nordeste, legitimou a concentração fundiária no sul do Maranhão. Balsas/MA passa então a configurar-se dentro da lógica da economia globalizada no momento em que o cultivo da soja, em especial, valoriza-se enquanto mercado internacional, indo de uma simples agricultura baseada na produção primária a uma agricultura comercial vinculada ao grande capital (ENCONTRO, 2010).

A Região Sul Maranhense corresponde à mesorregião censitária de mesmo nome no Censo Agropecuário de 1995-1996 (Figura 3). Polarizada pelo município de Balsas, é caracterizada por ambiente de cerrados com algumas áreas de transição cerrado-caatinga, onde se

encontra uma agricultura moderna e tecnicificada principalmente voltada à produção de soja, mas também inicia-se a produção de algodão, arroz e milho em bases modernas, visando à rotação com a soja (SEADE, 2001).

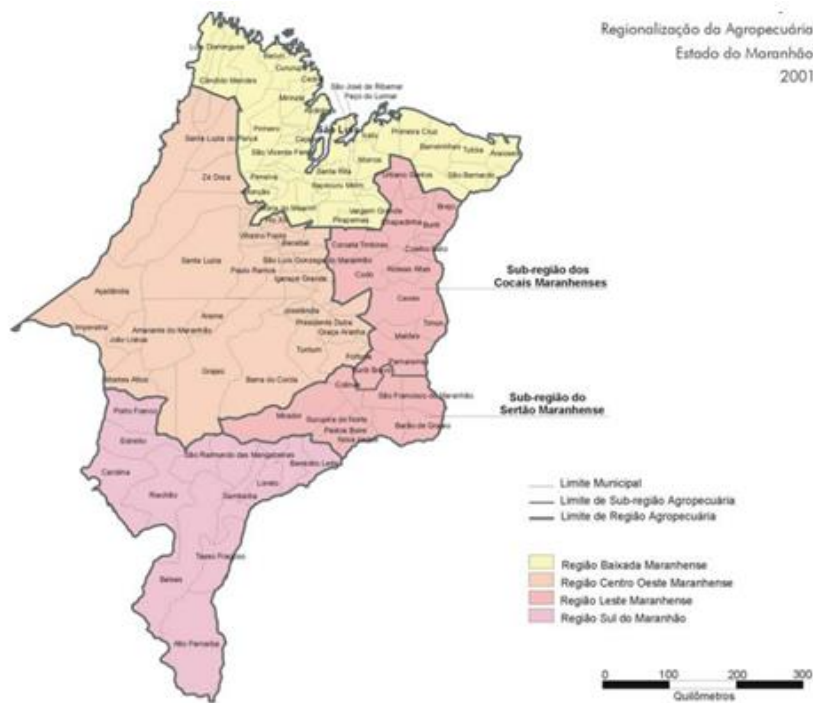


Figura 3 – Regionalização da agropecuária no Estado do Maranhão, incluindo sua parte sul, segundo informações obtidas pelo SEADE em 2001.

Para Polary (2001), a economia do Maranhão está estruturada em dois grandes eixos de dinamismo e modernização: o agronegócio, com destaque para a moderna produção da região sul-maranhense, onde se expandem a soja e a pecuária, e o complexo minero metalúrgico, concentrado no oeste e norte do Estado, em torno do alumínio e do minério de ferro.

Cumprе ressaltar a expansão da soja nas zonas de cerrado do Maranhão. O total de 1995-1996 (62,3 mil ha) ainda não é expressivo, mas houve avanço substancial, por exemplo, em relação ao Censo Agropecuário de 1985 que registrava 7,2 mil ha. É elevado o potencial de crescimento dessa lavoura no Estado, dependendo de investimentos na infraestrutura de transporte e comercialização. A ocupação dos cerrados com a cultura da soja nos anos recentes encontrou pouca resistência de atividades anteriores, já que se tratava de solos muito ácidos, nos

quais a agricultura tradicional era muito difícil. Assim, tendo como base a correção da acidez do solo, a quimificação e a mecanização, foi possível a expansão da soja no sul do Estado, que se deu de forma rápida e massiva, voltada para a exportação do grão transportado por via rodoviária até Imperatriz e, de lá, por via ferroviária até o porto de São Luiz (SEADE, 2001).

A arrojada iniciativa de produzir alimentos nos Cerrados e a consequente adequação de sementes a esse tipo de bioma, com interesse crescente para atender as demandas internacionais acabaram por levar os pequenos agricultores a enfrentar dificuldades, dentre elas a de manter suas pequenas propriedades, em detrimento ao avanço da tecnificação da agricultura que agora se instala no sul do Maranhão, em particular na cidade de Balsas. Neste contexto, encontra-se a modernização da agricultura, através da sojicultura, que colocou Balsas como um polo econômico no Maranhão (ENCONTRO, 2010).

A soja é a principal cultura conduzida em moldes empresariais. A produção está concentrada na região de cerrado localizada no sul do Estado, tendo a cidade de Balsas como o grande pólo regional. O processo produtivo, trazido por migrantes do Centro-Sul, principalmente gaúchos, é totalmente mecanizado desde o preparo do solo até a colheita e, por isso, pouco empregador de mão de obra. Em 2000, apesar de responder por 14,5% da área cultivada, a soja demandou apenas 3,6% do total de equivalentes-homens-ano (EHA). O escoamento da produção é feito por caminhões até a ferrovia Itaqui-Carajás em Imperatriz. De lá, a produção segue para o porto de São Luís, de onde é exportada para a Europa (SEADE, 2001). O que indica uma fácil logística de escoamento da produção e, possivelmente, uma das razões da expansão da agricultura.

5.3 ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE BRASILEIRA

Entre 1998 e 2000, o Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO/MMA realizou ampla consulta para a definição de áreas prioritárias para conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade na Amazônia, Caatinga, Cerrado e Pantanal, Mata Atlântica e Campos Sulinos, e na Zona Costeira e Marinha (Figura 4). Desta forma, foi possível não só identificar as áreas prioritárias, como também avaliar os condicionantes socioeconômicos e as tendências de ocupação humana do

território brasileiro, elencar principais ações para gestão dos nossos recursos biológicos (MMA, 2007).

As transformações ocorridas no Cerrado trouxeram grandes danos ambientais, tais como degradação de ecossistemas, fragmentação de habitats, extinção de espécies, invasão de espécies exóticas, erosão dos solos, poluição de aquíferos, alterações nos regimes de queimadas, desequilíbrios no ciclo do carbono e possivelmente modificações climáticas regionais. A degradação do solo e dos ecossistemas nativos e a dispersão de espécies exóticas são as maiores e mais amplas ameaças à biodiversidade (MMA, 2007).

Foram indicadas 431 áreas prioritárias no Cerrado, sendo 181 áreas protegidas e 250 áreas novas, o que representa um incremento substancial em relação às 68 áreas propostas em 1998. Observa-se um aumento na extensão das áreas prioritárias de cerca de 37% na área abrangida (de 686.668 para 939.752 km²). Com relação à proporção das categorias de importância, considerando-se apenas as áreas novas, a diferença mais notável foi a redução no número de áreas consideradas insuficientemente conhecidas e maior equilíbrio entre o número de áreas indicadas como importância alta e muito alta, mantendo-se, porém, o predomínio de áreas qualificadas com de importância extremamente alta. Apesar da redução no número de áreas insuficientemente conhecidas indicadas como prioritárias, a ação proposta com mais frequência, aparecendo em 36% das áreas, foram os inventários biológicos, indicando que apesar de ter sido produzido um volume expressivo de conhecimento científico a respeito da biodiversidade do Cerrado entre os anos de 1998 e 2006, ainda são necessários investimentos em pesquisa a respeito da biodiversidade, bem como estudos sócio antropológicos na região. A segunda indicação mais frequente foi de recuperação de ambientes degradados, uma resposta à redução na biodiversidade em áreas onde houve significativa perda de habitat (MMA, 2007).

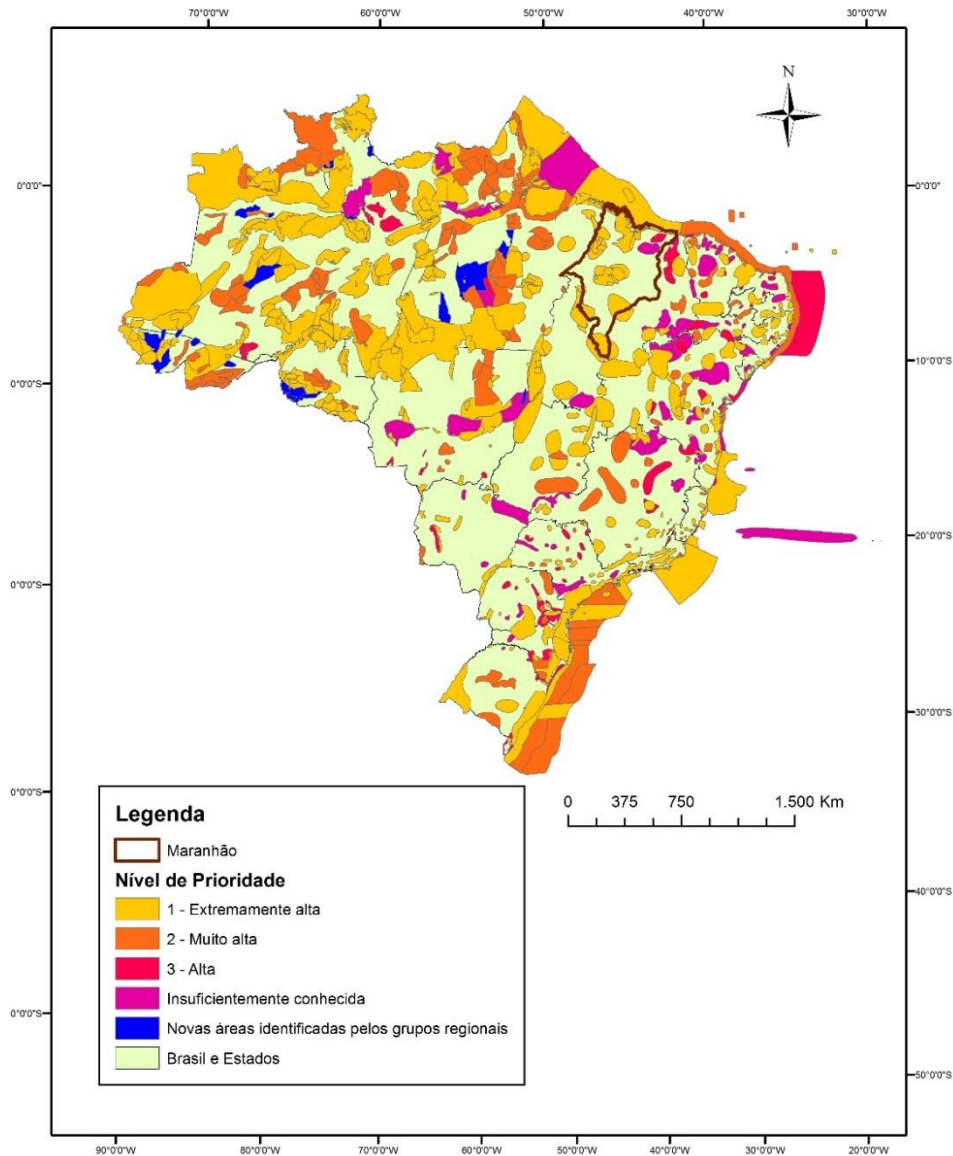


Figura 4 – Mapa de áreas prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira, com o Maranhão destacado, segundo a avaliação do MMA, em 2007.

5.4 SATÉLITES E MAPEAMENTO DE IMAGENS

O mapeamento de uso da terra do Cerrado constitui grande desafio por causa da extensão, da dinâmica acentuada da ocupação humana, da sazonalidade marcante da vegetação natural e da confusão espectral entre certas classes temáticas, a exemplo das formações gramíneo-lenhosas e das pastagens plantadas (SANO *et al.*, 2007).

A série Landsat surgiu no final dos anos 60 como parte do Programa de Levantamento de Recursos Terrestres da NASA. Por se tratar do programa de satélites de recursos terrestre mais antigo, operando ininterruptamente desde 1972 e disponibilizando imagens gratuitas desde 1973, o programa apresenta um importantíssimo acervo histórico de imagens orbitais (NASA, 2013).

Resolução temporal refere-se à frequência que o sensor revisita uma área e obtém imagens periódicas ao longo de sua vida útil. Isso só é possível porque os satélites de sensoriamento remoto executam uma órbita heliossíncrona, que é um caso particular de uma órbita semipolar. Esse processo de cobertura pode ser exemplificado considerando-se as características de imageamento do satélite Landsat. Cada órbita do Landsat cobre uma faixa no terreno de 185 km de largura. As órbitas tomadas no mesmo dia se distanciam entre si de 2.875 km, sendo necessários 16 dias para concluir o recobrimento total do globo. O princípio é o mesmo para qualquer outro satélite. O que irá variar é a resolução temporal do imageamento, pois cada sensor imageia faixas no terreno de larguras diferentes (MENESES; ALMEIDA, 2012).

O Sensor TM (Tabela 1) foi um sistema avançado de varredura multiespectral, na época em que o satélite foi lançado pela primeira vez, há um quarto de século. Foi concebido para proporcionar: resolução espacial mais fina, melhor discriminação espectral entre objetos da superfície terrestre, maior fidelidade geométrica e melhor precisão radiométrica em relação ao sensor MSS (NOVO, 2008).

Tabela 1 - Principais aplicações das bandas do sensor TM (adaptado de Novo, 2008).

| BANDA | APLICAÇÃO |
|--------------|---|
| TM | |
| 1 | Diferenciação solo/vegetação em virtude da absorção de pigmentos das plantas nessa região do espectro/diferenciação entre espécies decíduas e coníferas. |
| 2 | Permite diferenciar o vigor da vegetação pela maior sensibilidade à reflectância no verde. |
| 3 | Diferenciação de espécies de plantas em função da presença de pigmentos de clorofila. Também permite discriminar solo exposto e vegetação. |
| 4 | Permite avaliar a biomassa da cobertura vegetal, e também mapear corpos d'água devido ao contraste entre a alta reflectância da vegetação no infravermelho e a alta |

- absorção dessa faixa pelas superfícies líquidas.
- 5 Permite detectar a umidade da cobertura vegetal, pois essa região do espectro é sensível à presença de água no tecido foliar.
 - 6 Permite avaliar diferenças de temperatura entre alvos da superfície.
 - 7 Útil para a identificação de áreas sujeitas a alterações hidrotermais.
-

Em 11 de fevereiro de 2013 foi lançada ao espaço a Missão de Continuidade dos Dados Landsat (LDCM) – chamada de Landsat 8. Este novo satélite traz várias novidades importantes para usuários que demandam mapeamentos em mesoescala, como o Brasil. Com dois novos sensores: o sensor espectral OLI e o sensor termal TIRS, as melhoras na resolução espectral são muito positivas. Foram adicionadas duas bandas espectrais: a *new coastal* (banda 1), projetada especificamente para os recursos hídricos e investigação da zona costeira, e um novo canal de infravermelho (banda 9), para a detecção de nuvens cirros. Tais adições provocaram mudanças nos intervalos dentro do espectro dos canais de todas as bandas. Há também uma nova banda de Garantia de Qualidade (Banda QA), que fornece informações sobre a presença de nuvens, água e neve. A partir do sensor termal TIRS, foram criadas duas bandas espectrais para o comprimento de onda antes coberto por uma única banda nos sensores TM e ETM (USGS, 2013).

6. MATERIAL E MÉTODOS

6.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreendeu a região Sul do Estado do Maranhão, fronteira com os Estados do Piauí e Tocantins, delimitada pela cena Landsat, órbita/ponto 221/66 e 221/67 (Figura 5). Sua área total é de 2.575.576,49 hectares. O Sul do Maranhão é uma das áreas inseridas no bioma Cerrado brasileiro e vem sofrendo um processo de expansão da agricultura e da pecuária nos últimos anos.

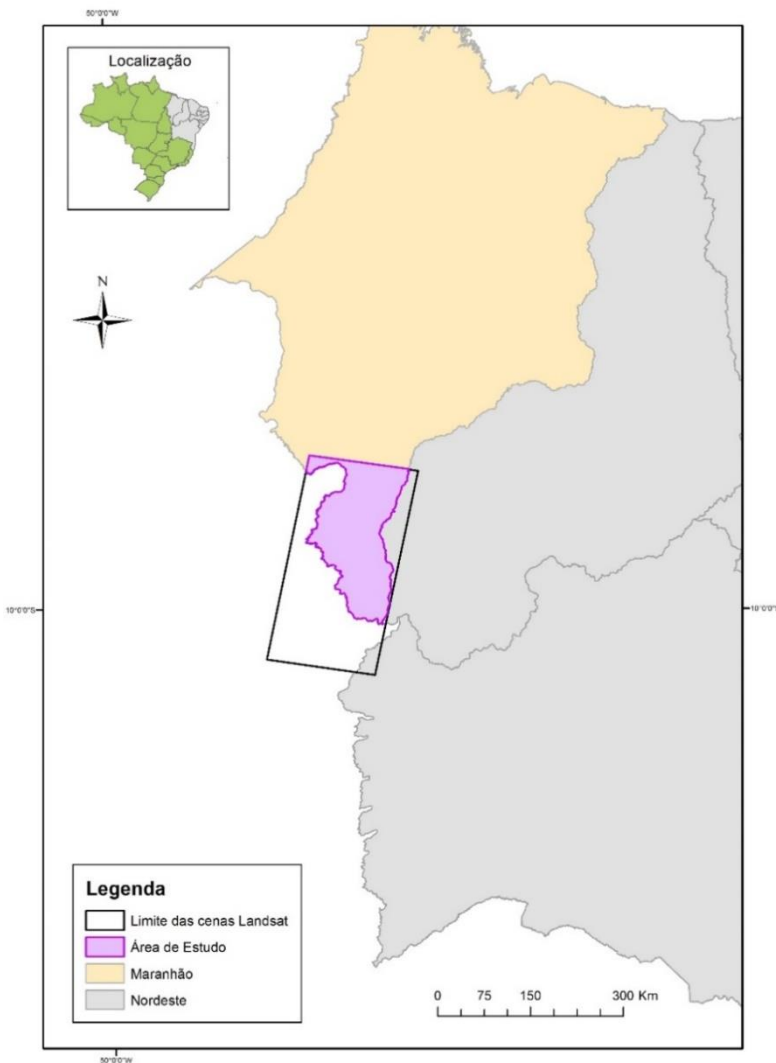


Figura 5 - Localização das cenas Landsat órbita/ponto 221/066 e 221/67 que recobrem a área de estudo no Sul do Estado do Maranhão.

O cultivo nessa região é realizado no período entre outubro (plantio) a março (colheita). O clima é classificado do tipo Af no sistema de classificação climática Köppen-Geiger, com temperaturas médias entre 25 a 26° C e precipitação média anual de 1.200 mm, com maior ocorrência entre outubro a abril, porém sujeitos a ocorrências de veranico (Pinto, 1999). Os solos predominantes nos municípios se referem, sobretudo, a topos de chapadas, áreas extensas e planas, compreendendo sobremaneira Latossolo e Argissolo distrófico de textura média a argilosa. São áreas de grande potencial agropecuário e se localizam principalmente no sentido leste-sul e norte-noroeste, totalizando 15,7% da mesorregião (VALLADARES *et al.*, 2007).

6.2 METODOLOGIA

6.2.1 Dados de Sensores Remotos

Para o mapeamento e avaliação das mudanças no uso e cobertura do solo no sul do Maranhão conduzidos neste estudo, foi feita uma pesquisa na base de dados do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE). Ao final, foram selecionadas imagens dos satélites Landsat 5 e 8, sensores TM (Thematic Mapper) e OLI (Operational Land Imager) com resolução de 30 metros, dos anos 1995, 2000, 2005, 2010 e 2015. Imagens de alta resolução espacial (5 metros) do satélite *Rapideye* de 2011 e a imagem Landsat-5 TM de 2010, que tinham suas datas de aquisição aproximadas, foram ainda utilizadas para avaliação da acurácia da classificação do uso e cobertura da terra deste estudo. Foram escolhidas imagens que apresentavam boa qualidade e pouca quantidade de nuvens, apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Imagens dos satélites utilizadas para a classificação do uso e cobertura da terra e avaliação da acurácia da classificação para a região Sul do Maranhão.

| Satélite/Sensor | Órbita/Ponto | Data de Aquisição |
|-------------------------------|---------------------|--------------------------|
| Landsat-5 Instrumento TM | 221/66 e 221/67 | 03/12/1995 |
| Landsat-5 Instrumento TM | 221/66 e 221/67 | 26/08/2000 |
| Landsat-5 Instrumento TM | 221/66 e 221/67 | 09/09/2005 |
| Landsat-5 * Instrumento TM | 221/66 e 221/67 | 07/09/2010 |
| Landsat-8 Instrumento OLI | 221/66 e 221/67 | 04/08/2015 |
| RapidEye * | 2335008 e 2335107 | 05/09/2011 |



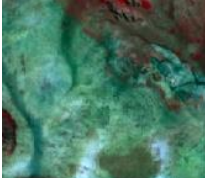
* Imagens utilizadas para a avaliação da acurácia da classificação.


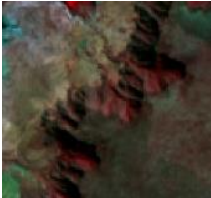
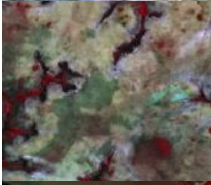

As imagens dos satélites utilizadas neste estudo foram checadas e corrigidas geometricamente para garantir a fidelidade na análise espaço-temporal e a composição de mosaicos para a área de estudo. Foram utilizadas as bandas 1 a 5 e 7 do Landsat-5 sensor TM, bandas 2 a 7 do Landsat-8 sensor OLI e bandas 1 a 5 do satélite *Rapideye*.

6.2.2 Classes de Uso e Cobertura da Terra

Para a classificação do uso e cobertura da terra foi feita a inspeção visual nas imagens Landsat que recobrem a área de estudo, utilizando o *software* de geoprocessamento ERDAS IMAGINE. Nesta primeira etapa foram considerados os elementos de imagem como a cor para cada composição colorida RGB (Red, Green, Blue), a textura, a forma, o tamanho, a sombra, a altura e o padrão da drenagem e relevo. Cada tipo de uso e cobertura da terra foi identificado a partir da interpretação de todos estes elementos, destacando-se a identificação dos diferentes tipos de vegetação nativa, a agricultura e as pastagens. A caracterização de cada classe foi feita com o auxílio de chaves de identificação (Tabela 3), de modo que a imagem de satélite pôde ser avaliada e suas diferentes feições identificadas.

Tabela 3 – Descrição das classes de uso e cobertura da terra identificadas na composição de bandas colorida das imagens RGB 4/3/2.

| Classes | Composição colorida (RGB: 432) | Descrição das feições |
|----------------|---|--|
| Agricultura |  | Textura lisa, formas regulares e alta reflectância nas bandas do visível. |
| Incêndios |  | Textura lisa, formas irregulares e alta absorção da radiação. |
| Pasto |  | Textura lisa, formas irregulares, alta reflectância nas bandas do visível. |

| | | |
|---------------------|---|---|
| Rios |  | Textura lisa, formas suaves e curvas, alta absorção de radiação. |
| Sombra |  | Textura lisa, contornos marcados, alta absorção de radiação. |
| Solo Exposto |  | Textura semi-rugosa, formas irregulares, alta reflectância. |
| Cerrado Graminóide |  | Textura rugosa, formas irregulares. |
| Cerrado Aberto |  | Textura semi-rugosa, formas irregulares. |
| Cerrado Denso |  | Textura semi-rugosa, formas irregulares, alta reflectância na banda do infravermelho. |
| Mata Ciliar/Galeria |  | Textura rugosa, forma irregulares, alta reflectância na banda do infravermelho. |

Portanto, as classes definidas para a subsequente classificação digital supervisionada foram: solo exposto, cerrado denso, cerrado aberto, mata ciliar/galeria, rios (corpos d'água), incêndios, agropecuária (pasto) e agricultura.

Após a definição preliminar das classes de uso e cobertura da terra de interesse observou-se que algumas classes apresentavam assinaturas espectrais similares e que poderiam dificultar a classificação digital supervisionada. A maior dificuldade foi a diferenciação de áreas ocupadas

com atividades agropecuárias e as áreas de cerrado ralo. Do mesmo modo, foi necessária a criação de uma classe adicional (sombas) para diferenciar as sombras criadas nas proximidades de morros e serras de corpos de água. Além disso, algumas regiões de Cerrado acabaram sendo classificadas como agropecuária (pasto), por isso, uma nova classe de cerrado graminóide foi criada e amostrada para aumentar a eficiência do classificador na diferenciação destas classes. Por fim, como a imagem do ano 2000 apresentava uma certa cobertura de nuvens, foi feita uma classe própria para nuvem neste ano para evitar a confusão com outras classes.

6.2.3 Análise de Componentes Principais

Após a análise visual das classes de interesse nas imagens Landsat e das dificuldades na diferenciação de algumas classes de interesse, optou-se por transformar as imagens multiespectrais dos satélites Landsat utilizando a Análise dos Componentes Principais (ACP). Essa transformação das imagens feita pela ACP tem grande utilização em métodos de classificação de imagens pois possibilita melhor discriminação das assinaturas espectrais das classes de interesse, especialmente em classes com redundância na reflectância (RIVERA-LOMBARDI, 2005).

O método estatístico ACP transforma a imagem multiespectral composta por bandas em uma nova imagem composta por Componentes Principais, análogas às bandas. As bandas originadas são chamadas de bandas CP e são combinações lineares das bandas espectrais originais, estas não são correlacionadas. O mesmo número de bandas de entradas define o número de bandas de saída. A banda CP1 possui alta percentagem da variância dos dados, a CP2 possui menos variância que a primeira, e assim por diante. As últimas bandas CP apresentam mais ruídos, pois estas possuem pouca variância, os quais são originários das bandas espectrais originais. As bandas de Componentes Principais produzem imagens com cores mais vibrantes do que as imagens espectrais, pois seus dados não são correlacionados (Richard, 1999). Assim, no presente estudo, a partir de cada imagem Landsat compostas por seis bandas espectrais foi gerada uma nova imagem com os seis respectivos Componentes Principais, utilizando o *software* de geoprocessamento ERDAS. Na etapa seguinte as imagens dos Componentes Principais foram utilizadas como entrada de dados da classificação supervisionada.

6.2.4 Classificação Supervisionada

A partir das classes previamente definidas (item 6.2.2), várias amostras foram coletadas sobre as imagens resultantes da Análise dos Componentes Principais incluindo áreas (polígonos) com evidências de solo exposto, cerrado denso, cerrado aberto, mata ciliar/galeria, corpos d'água (rios e lagos), incêndios, agropecuária (pasto) e agricultura. A classificação supervisionada foi feita a partir da definição de assinaturas espectrais extraídas das amostras de cada classe de interesse nas imagens dos Componentes Principais, excluindo o sexto componente, que foi considerado o de maior ruído entre os componentes. As assinaturas espectrais de cada classe foram utilizadas como entrada do algoritmo de Máxima Verossimilhança para então classificar os tipos de uso e cobertura em toda a área de estudo, gerando uma imagem classificada. Por fim, para eliminar ruídos na classificação (pixels compondo uma classe isolada no contexto de uma classe maior), foi aplicado o filtro “*Majority*”, com janela 5 x 5 pixels.

O resultado final dessa etapa foi a classificação do uso e cobertura da terra da área do Sul do Estado do Maranhão nos anos 1995, 2000, 2005, 2010 e 2015, nas seguintes classes: solo exposto, cerrado graminóide, incêndios, rios (corpos d'água), agropecuária (pasto), sombra, cerrado denso, cerrado aberto, mata ciliar/galeria e agricultura.

6.2.5 Avaliação da Acurácia da Classificação Supervisionada

Para a avaliação da acurácia do mapeamento do uso e cobertura da terra na área de estudo, a imagem de alta resolução *RapidEye* adquirida em 2011 foi utilizada como “referência” na matriz de confusão e a imagem classificada do ano de 2010 foi conferida quanto aos seus erros e acertos.

A avaliação da acurácia da classificação foi feita a partir da comparação da classificação do uso e cobertura da terra feita a partir das imagens Landsat-5 TM do ano de 2010 com duas imagens de alta resolução espacial (5 metros) adquiridas pelo satélite *RapidEye*, do ano de 2011. Essas imagens *RapidEye* e classificação de 2010 foram escolhidas por suas datas serem mais próximas entre si, evitando erros de estimativa da acurácia devido a eventuais mudanças ocorridas no uso e cobertura da terra ao longo dos anos.

Sobre a área das imagens *RapidEye* foi feita uma malha de quadrículas de 900 metros x 900 metros. Em cada quadrícula, foi lançado um ponto aleatório. Para cada ponto nas imagens *RapidEye* (referência) de alta resolução espacial foi identificada visualmente a sua classe correspondente a das imagens Landsat (Figura 6). Cada amostra das imagens *RapidEye* foi classificada e teve um código inserido na sua tabela de atributos, representando alguma das classes de uso e cobertura da terra. Como a área recoberta pelas imagens *RapidEye* era restrita e recobria apenas parte de uma cena Landsat de 2010, foram amostradas as seguintes classes de uso e cobertura da terra: agricultura, mata ciliar/galeria e cerrado (denso e aberto). Ou seja, não foi possível identificar todas as classes de uso e cobertura da terra que existem na imagem Landsat de 2010.

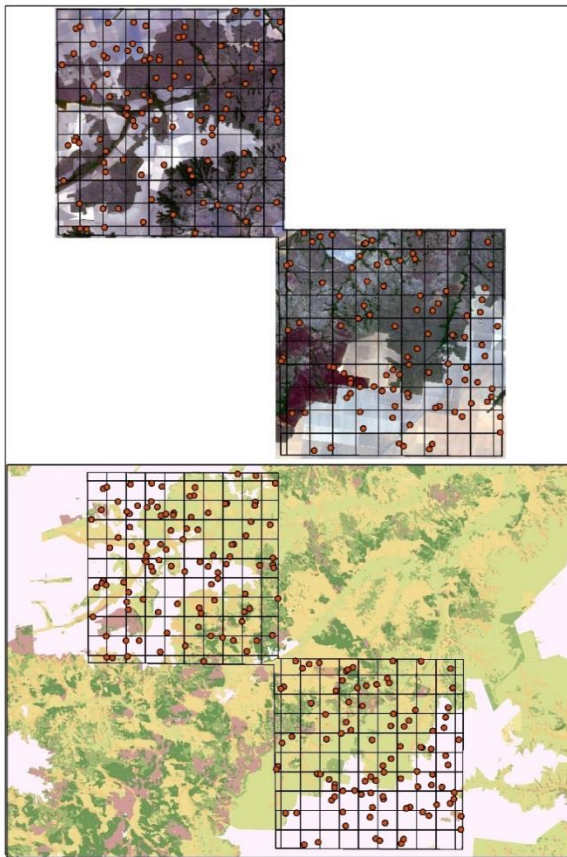


Figura 6 – Pontos amostrais sistemático-aleatórios utilizados para estimar a acurácia da classificação do uso e cobertura da terra em 2010 (abaixo) utilizando imagens *RapidEye* (acima) como referência.

A partir dos dados da classificação e da imagem referência de cada ponto amostrado, foi estimada a matriz de confusão, que possibilitou a estimativa da Exatidão Global e a Estatística *Kappa*, erro de comissão e erro de omissão para cada classe de interesse.

Segundo Mather (1999), na matriz de confusão, o elemento da linha *i* coluna *k* (elemento da diagonal, $i = k$) contém o número de pixels identificados pelo usuário como corretamente classificados. Os demais elementos da linha *i* fornecem o número e distribuição dos pixels que foram classificados erroneamente. Portanto, a acurácia da classificação para classe *i* é dada pelo número de pixels da diagonal dividido pelo número total de pixels de referência para esta classe. A acurácia geral é uma média da acurácia das classes expressa em percentagem.

A matriz de confusão é formada por um arranjo quadrado de números dispostos em linhas e colunas que expressam o número de unidades de amostras de uma categoria particular relativa – inferida por um classificador (ou regra de decisão), comparado com a categoria atual verificada no campo (CONGALTON, 1991). A exatidão global para cada matriz é calculada através da razão entre a soma dos valores da diagonal da matriz e a soma dos totais de suas linhas ou colunas (CONGALTON, 1991). Segundo Congalton e Green (1999), coeficiente *Kappa* é baseado na diferença entre concordância observada (diagonal principal da matriz de confusão com a concordância entre a classificação e os dados de referência) e a chance de concordância entre os dados de referência e uma classificação aleatória (produto entre os totais marginais da matriz). Ou seja, o coeficiente *Kappa* avalia o quanto a classificação coincide com a sua imagem de referência.

A estatística *Kappa* varia de 0 a 1. Um valor de *Kappa* igual a zero sugere que a classificação não é melhor do que uma classificação aleatória dos pixels. Um valor igual a um sugere um processo de classificação altamente eficiente (MOREIRA, 2001). Segundo Fonseca (2000), a tabela abaixo representa o desempenho de cada intervalo de valor do índice *Kappa*.

Tabela 4 – Índice *Kappa* e o quanto o seu valor representa o desempenho de uma classificação.

| Índice Kappa | Desempenho |
|---------------------|-------------------|
| < 0 | Péssimo |
| $0 < k \leq 0,2$ | Ruim |
| $0,2 < k \leq 0,4$ | Razoável |

| | |
|--------------------|-----------|
| $0,4 < k \leq 0,6$ | Bom |
| $0,6 < k \leq 0,8$ | Muito Bom |
| $0,8 < k \leq 1,0$ | Excelente |

Fonte: Fonseca (2010).

6.3 ESTIMATIVA DAS ÁREAS DAS CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA

A estimativa da área total de cada classe de uso e cobertura da terra foi feita a partir das imagens classificadas em 1995, 2000, 2005, 2010 e 2015. Para isso, as imagens classificadas foram recortadas para incluir apenas a área de estudo e cada classe foi mensurada para cada ano da análise. A mensuração foi feita de forma indireta a partir da contagem de pixels de cada classe multiplicado pela área efetiva de cada pixel (900 m²).

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 ACURÁCIA DA CLASSIFICAÇÃO

A classificação do uso e cobertura da terra em 2010 comparada com dados de referência (imagens Rapideye) apresentou 63,5% de acurácia global, o que pode ser considerado um resultado muito bom. Esta acurácia é estimada pela soma da diagonal principal (as amostras corretamente classificadas) dividida pelo número total de unidades de amostra em total a matriz de confusão. Por outro lado, se o número total de pixels correto em uma categoria é dividido pelo número total de pixels classificados nessa categoria, então este resultado é uma medida de erro de comissão. Esta medida, chamada de "acurácia do usuário" ou "erros de omissão", é indicativa da probabilidade que um pixel classificado no mapa/imagem realmente representa essa categoria no campo. Já o cálculo da "acurácia do produtor" ou "erros de comissão" é feito dividindo o número total de amostras corretas pelo número total de unidades nos dados de referência (CONGALTON; GREEN, 1999).

Tabela 5 – Matriz de confusão estimada a partir da classificação do uso e cobertura da terra em 2010 comparados com dados referência obtidos sobre a imagem *Rapideye* de 2011.

| Classe | Dados de Referência | Dados Classificados | Quantidade Correta | Acurácia do Produtor | Acurácia do Usuário |
|-------------|---------------------|---------------------|--------------------|----------------------|---------------------|
| Agricultura | 96 | 84 | 69 | 71,9% | 82,1% |

| | | | | | |
|--------------|------------|------------|------------|-------|-------|
| Mata ciliar | 34 | 21 | 7 | 20,6% | 33,3% |
| Cerrado | 89 | 98 | 63 | 70,8% | 64,3% |
| Total | 219 | 219 | 139 | | |

O coeficiente *Kappa* é uma das variáveis que pode ser quantificado a partir da matriz de confusão. O valor de *Kappa* (Tabela 6) retrata o grau de concordância dos dados, gerando, assim, a exatidão dos dados classificados (PERROCA; GAIDZINSKI, 2003). Para o presente estudo, a estatística *Kappa* global estimada foi de 0,42. Este resultado indica, segundo a classificação de Fonseca (2000), um bom desempenho do classificador.

Tabela 6 – Estatística Kappa e as avaliações de cada classificação.

| Classe | Valor de Kappa |
|--------------------------|----------------|
| Agricultura | 0.6821 |
| Mata ciliar/galeria | 0.2108 |
| Cerrado (denso e aberto) | 0.3984 |

Considerando os resultados gerais obtidos na matriz de confusão, a acurácia global da classificação foi de 63,5% e a estatística Kappa foi de 0,42. Estes valores indicam que os resultados da classificação são considerados bons. A classificação de áreas de mata ciliar/galeria não apresentou um bom desempenho, pois sua acurácia ficou entre 20 e 30%. Já o mapeamento da classe de cerrado apresentou melhor desempenho, com acurácia entre 60% e 70%. Vale destacar que o melhor desempenho da classificação foi para a classe agricultura, que apresentou acurácia entre 70 e 80%. A falta de dados obtidos em campo, em amostras realizadas na própria área de estudo, é um dos possíveis fatores que diminuíram o valor da acurácia. Especificamente para este fim, a classificação das mudanças no uso e cobertura da terra no Sul do Maranhão pode ser considerada muito apropriada.

7.2 DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA ENTRE 1995 E 2015

Com as informações visuais dos mapas (Figura 7) assim como os dados de áreas da tabela 7, pode-se observar uma clara expansão das áreas de agricultura sobre coberturas que originalmente eram de Cerrado. Assim, destaca-se a agricultura como a mudança mais nítida no uso e cobertura da terra nessa região, pois em 1995 era de 75.003,3 hectares e, em 2015, é de 489.182,04 hectares.

Outras mudanças também puderam ser observadas, como a diminuição da área ocupada pela cobertura de Cerrado em geral. Ao somar as quatro classes de Cerrado que foram classificadas (cerrado graminóide, denso, aberto e mata ciliar/galeria), em 1995, sua área total era de 1.736.575 hectares, já em 2015 é de 1.401.257 hectares. E quando os mapas são observados, é possível identificar que certas áreas antes cobertas por Cerrado, hoje se encontram ocupadas por cultivos agrícolas, principalmente ao norte da área de estudo.

Como pode ser observado na tabela 7, no ano 2000, há um aumento da área de Cerrado, em comparação com os dados anteriores de 1995. No entanto, a tendência nos anos seguintes é que a área de Cerrado sofra reduções contínuas. Uma possível explicação para isso é que, ao classificar, as áreas de cerrado graminóide e pasto se confundiam. Isso também poderia explicar o porquê de a área de Pasto em 2000 estar muito menor do que em 1995.

Outra observação a ser feita é o quanto a área de Rios em 2015 se encontra muito abaixo do que foi encontrado nos anos anteriores. Essa variação pode ter ocorrido porque a imagem de 2015 é de agosto, ou seja, no período de seca há menos corpos d'água que conseguem ser visualizados de forma apropriada. Além disso, em 2015 houve o fenômeno do El Niño, o que provocou uma seca ainda mais intensa na região. Já no ano de 1995, cuja imagem foi adquirida em dezembro, foi possível identificar mais áreas de corpos d'água, com influência da umidade próxima às matas ciliares/galeria. Além disso, em todos os anos, há uma confusão entre as classes de Rios e Sombras, com exceção do ano de 2015, em que essa confusão quase não ocorreu, pois havia melhor discriminação das assinaturas espectrais destas feições.

Outro uso da terra que também sofreu diminuição da sua área ao longo desses anos foi o uso para pasto. Enquanto em 1995, sua área era de 587.433 hectares, em 2015 é de 356.112. O que pode indicar como o sucesso da expansão agrícola no Sul do Maranhão está mais focado nos seus cultivos de grãos. Deve-se também lembrar que as áreas de cerrado graminóide e pasto se confundiram em quase todos os anos da classificação.

Por outro lado, as áreas de solo exposto tiveram uma grande expansão ao longo dos anos. Em 1995, era de 16.827,48 hectares e agora, no ano de 2015, é de 320.538,42 hectares. Além de também haver uma confusão ao classificar áreas de cerrado graminóide e solo exposto, esse aumento também pode ser associado com a agricultura. Como a terra deve ser preparada para novos cultivos antes do plantio, que é feito por volta de outubro, em agosto (mês da imagem de

2015) muitas áreas podem estar em preparação. Somando-se as áreas de agricultura e de pastos em 2015, área total de vegetação nativa impactada pela expansão agropecuária na área de estudo atualmente é de 845.294 hectares.

Tabela 7 - Dados sobre as áreas, em hectares e porcentagem (%) de cada classe do uso e cobertura da terra no Sul do Estado do Maranhão, em 1995, 2000, 2005, 2010 e 2015.

| Classe de uso e cobertura da terra | 1995 | | 2000 | | 2005 | | 2010 | | 2015 | |
|---------------------------------------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|
| | Área (ha) | % | Área (ha) | % | Área (ha) | % | Área (ha) | % | Área (ha) | % |
| Solo Exposto | 16.827,4 | 0,6 | 22.481,1 | 0,8 | 75.995,7 | 2,9 | 38.967,1 | 1,5 | 320.538,4 | 11,8 |
| Incêndios | 56.920,7 | 2,2 | 95.759,5 | 3,7 | 90.406,7 | 3,5 | 225.406,3 | 8,8 | 75.788,4 | 2,7 |
| Rios | 22.458,3 | 0,8 | 16.729,11 | 0,6 | 14.525,4 | 0,5 | 17.462,4 | 0,6 | 4.072,4 | 0,1 |
| Pasto | 587.432,7 | 23,0 | 288.031,8 | 11,3 | 335.952,1 | 13,2 | 276.096,7 | 10,8 | 356.111,8 | 13,1 |
| Sombra | 54.033,6 | 2,1 | 11.747,1 | 0,4 | 61.321,8 | 2,4 | 49.750,7 | 1,9 | 68.572,7 | 2,5 |
| Cerrado Total | 1.736.573,5 | 68,1 | 1.948.111,2 | 76,6 | 1.683.164,6 | 66,3 | 1.576.651,6 | 62,1 | 1.401.257,3 | 51,6 |
| Agricultura | 75.003,3 | 2,9 | 158.303,2 | 6,2 | 273.825,8 | 10,8 | 352.418,8 | 13,8 | 489.182,0 | 18,0 |

A figura 7 apresenta a dinâmica espaço-temporal do uso e cobertura da terra, com suas diferentes classes, no sul do Maranhão nos anos de 1995, 2000, 2005, 2010 e 2015. Para melhor identificar as classes em cada ano, os mapas individualizados estão disponíveis no apêndice desse trabalho.

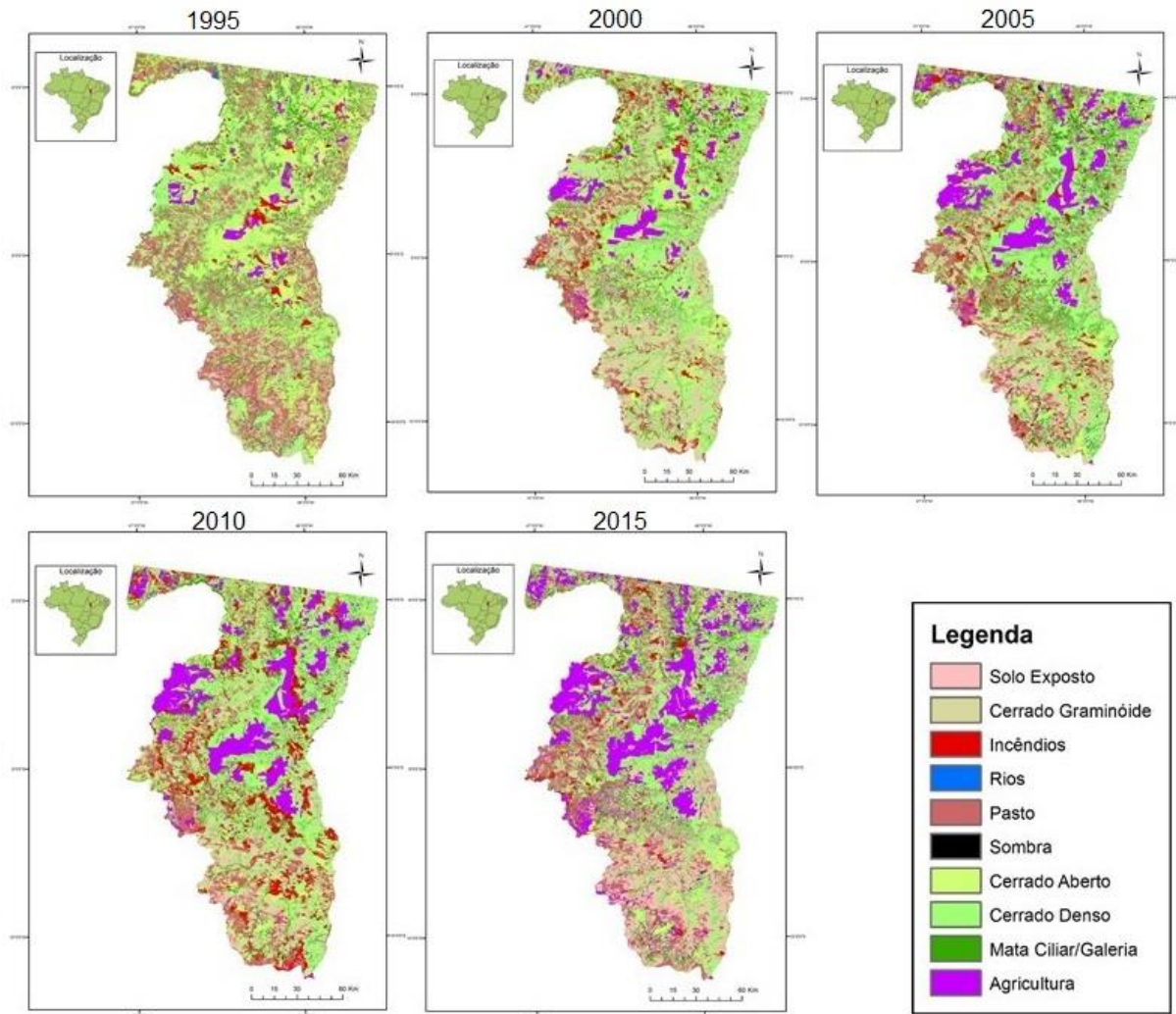


Figura 7 – Classes de uso e cobertura da terra no Sul do Estado do Maranhão nos anos de 1995, 2000, 2005, 2010 e 2015 (da esquerda para a direita).

7.3 SITUAÇÃO DAS ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE DO CERRADO

O Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO/MMA realizou uma consulta para definir as áreas prioritárias para conservação, uso

sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade no Cerrado. Com isso, o MMA identificou as áreas prioritárias para conservação no bioma Cerrado e sugeriu ações para gestão dos seus recursos biológicos.

Utilizando os resultados desta pesquisa e os dados das áreas prioritárias para conservação da biodiversidade definidas pelo MMA (Figura 8), foi possível observar especificamente quais são as áreas consideradas prioritárias na região do Estado onde o presente estudo foi conduzido.

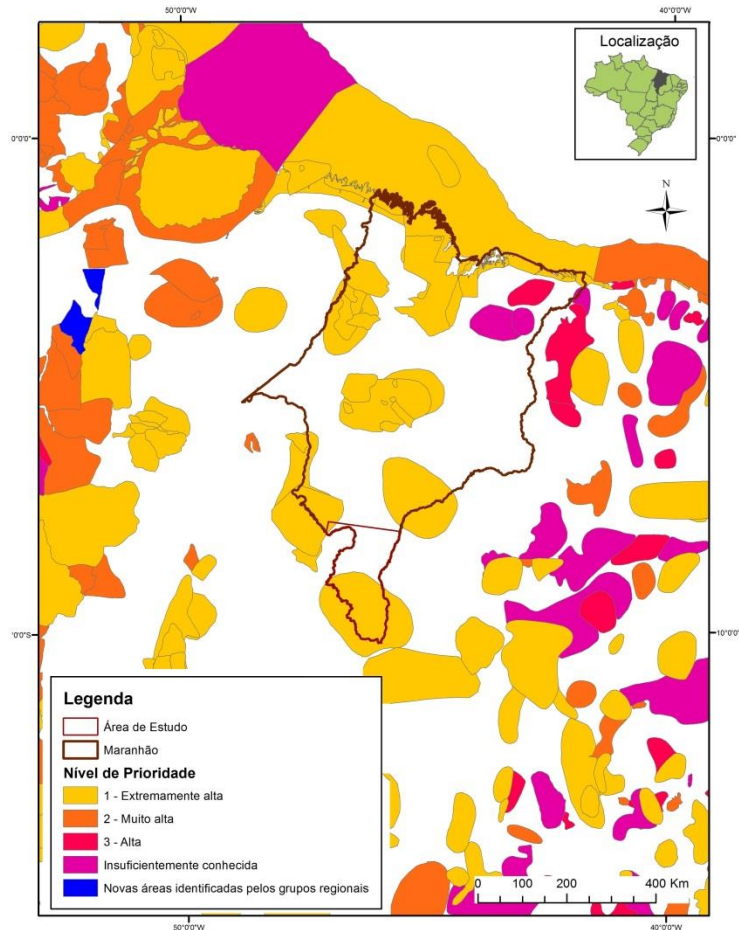


Figura 8 – Áreas de prioritárias para conservação da biodiversidade do Cerrado, no Estado do Maranhão e regiões de entorno, de acordo com dados do PROBIO/MMA.

Com base na distribuição espacial das áreas prioritárias para conservação da biodiversidade (Figura 8), a região que envolve a área de estudo contempla diversas áreas de alta e extremamente alta prioridade de conservação da biodiversidade local. Quando observado em seus detalhes (Figura 9), a área de estudo apresenta quase 50% de seu território classificado como áreas de prioridade extremamente alta para conservação da biodiversidade. Tais áreas

deveriam ser objeto de atenção especial nas tomadas de decisão relacionadas aos tipos de uso da terra a serem adotados, incentivados ou coibidos nessas terras.

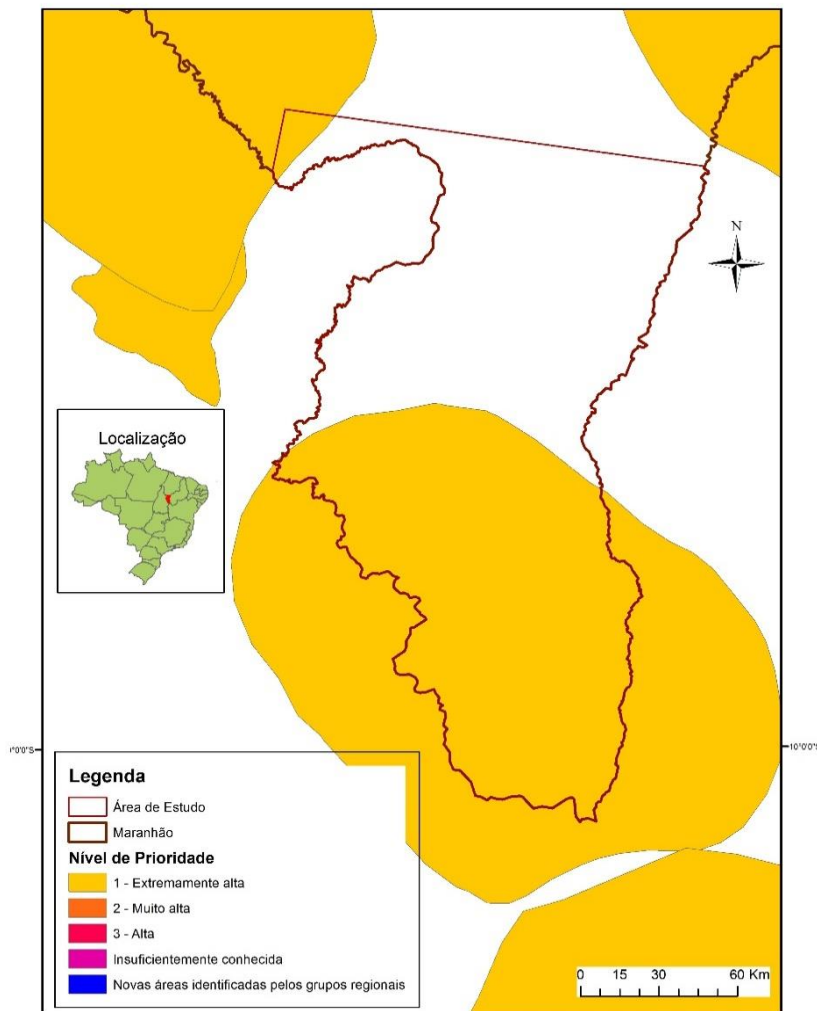


Figura 9 - Áreas de prioridade para a biodiversidade do Cerrado, na área de estudo e suas proximidades, de acordo com dados do PROBIO/MMA.

E, para demonstrar a situação de ocupação das áreas prioritárias para conservação da biodiversidade do Cerrado na área de estudo, as áreas ocupadas por atividades agrícolas em 2015 foram sobrepostas aos dados de prioridade de conservação do MMA (Figura 10). Observou-se que a maioria das áreas com agricultura se encontram ao norte da área de estudo, a uma certa distância da área prioritária para a conservação. Mesmo assim, muitas áreas consideradas sensíveis do ponto de vista da biodiversidade foram ocupadas por plantios agrícolas e, seguindo

a tendência observada neste estudo, a agricultura deverá se expandir ainda mais nos próximos anos na região.

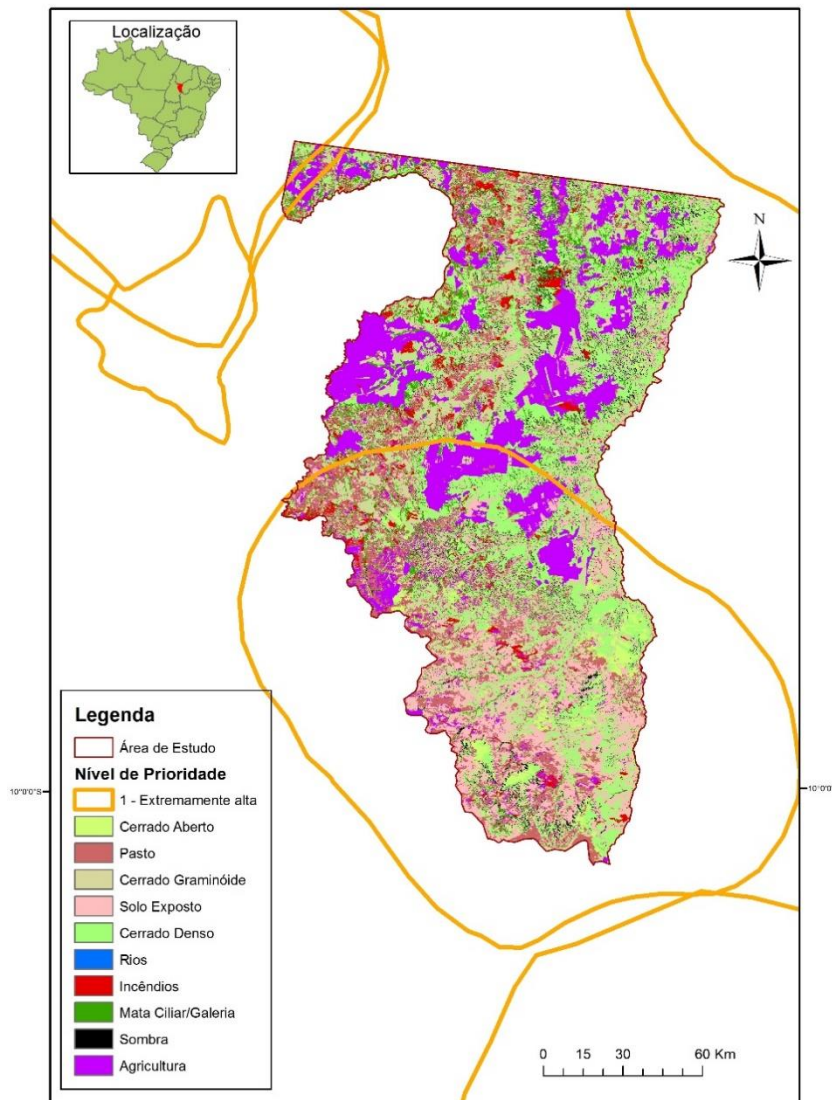


Figura 10 – Áreas prioritárias para a biodiversidade do Cerrado sobrepostas ao mapa de uso e cobertura da terra no sul do Maranhão, em 2015.

. Tais áreas deveriam ser objeto de monitoramento mais detalhado e ações devem ser tomadas para verificação da necessidade de recomposição de áreas nativas e para conservação dos remanescentes de vegetação do cerrado.

8. CONCLUSÕES

A partir dos resultados do estudo da dinâmica espaço-temporal do uso e cobertura da terra no Sul do Maranhão, estima-se que as atividades antrópicas impactaram quase 850.000 hectares de vegetação nativa, equivalente a 31% da área de estudo. De forma conjunta, as quatro classes de cerrado classificadas (cerrado graminóide, denso, aberto e mata ciliar/galeria) neste estudo ocupavam 1.736.575 hectares e 1.401.257 hectares em 1995 e 2015, respectivamente. A maior parte da redução da vegetação de cerrado foi devido à expansão da agricultura, cuja maioria encontra-se ao norte da área de estudo. A agricultura foi a atividade predominante nas áreas desmatadas no período de estudo, passando de 75.003 hectares em 1995 para 489.182 hectares em 2015, um crescimento de 652% em um período de 20 anos.

Outro fato importante observado é quase 50% da área de estudo foi classificada pelo MMA como de extremamente alta prioridade para a conservação da biodiversidade. Parte desta área foi desmatada e está ocupada por atividades agropecuárias ou de agricultura. Neste caso, recomenda-se: criar novas unidades de conservação nas áreas de remanescentes de vegetação nativa; expandir a área do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, especialmente em regiões de alta prioridade de conservação; implementar ações de recuperação de áreas degradadas e áreas de proteção permanente que eventualmente tenham sido desmatadas nesta região.

Considerando a importância de entender melhor a dinâmica da expansão agrícola no Cerrado, destaca-se a necessidade de implementação de trabalhos de mapeamento com dados de satélite para preencher as lacunas temporais dos dados de desmatamento dos biomas brasileiros, apoiando o monitoramento e controle das atividades antrópicas no Cerrado brasileiro.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo a avaliação realizada pelo MMA, as duas manchas de áreas de prioridade extremamente alta que estão na região da área de estudo incluem a Chapada do sudoeste do Piauí, Maranhão e Tocantins e o Polígono das águas no sudoeste do Maranhão. E a

recomendação proposta pelo MMA é que essas áreas sejam protegidas com a criação de Unidades de Conservação nesses locais.

Segundo a Lei Nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), unidade de conservação é “espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção” (BRASIL, 2000).

Para entender melhor as unidades de conservação que existem na região estudada, dados do MMA sobre as áreas que estão ocupadas por unidades de conservação foram obtidos e sobrepostos aos dados anteriormente obtidos de áreas prioritárias e à imagem classificada de 2015.

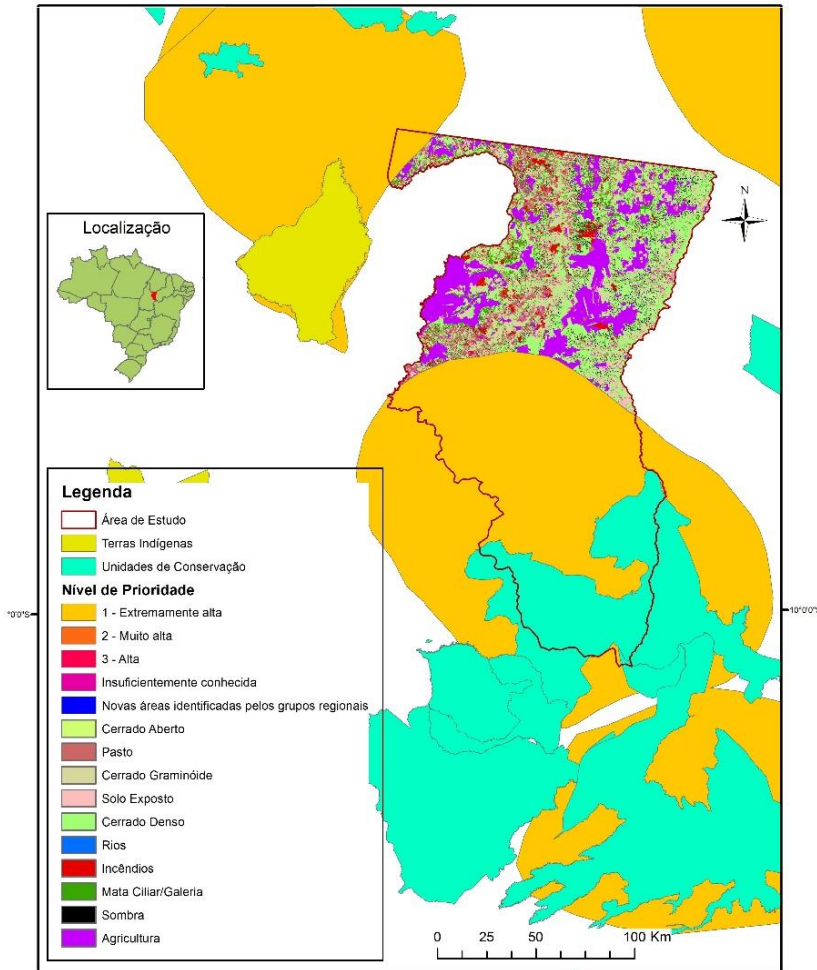


Figura 11 – Unidades de conservação e terras indígenas existentes nas proximidades da área de estudo.

Com base na Figura 11, pode-se observar que no extremo sul do Maranhão há unidades de conservação oficializadas pelo MMA. Grande parte do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, criado em 2002 pelo governo federal, está inserido na área de estudo. Ainda segundo a Lei Nº 9.985, parques são um tipo de unidade de conservação, dentro do grupo das unidades de proteção integral, e “o Parque Nacional tem como objetivo básico a preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, possibilitando a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico” (BRASIL, 2000).

Como já há um parque federal no sul do Maranhão, uma opção poderia ser a expansão do tamanho da área do parque, a fim de ocupar toda a região que é considerada prioritária. Dessa

forma, o parque expandido iria ocupar partes de áreas que hoje são usadas para a agricultura. Isso poderá causar conflitos, que precisam ser apropriadamente acordados entre os tomadores de decisão e proprietários de terra. Além disso, caso o parque possa ser expandido até áreas de agricultura, deverá ser feito um planejamento para a recuperação da vegetação original e seu manejo necessário.

Outra recomendação, caso a anterior não seja possível de se realizar, é a criação de uma nova unidade de conservação de proteção integral que recubra as áreas de prioridade extremamente alta, incluindo as que atualmente estão sendo usadas para a agricultura. Dentre as possíveis unidades, estão “o grupo das Unidades de Proteção Integral é composto pelas seguintes categorias de unidade de conservação: I - Estação Ecológica; II - Reserva Biológica; III - Parque Nacional; IV - Monumento Natural; V - Refúgio de Vida Silvestre” (BRASIL, 2000).

Finalmente, a implantação de um monitoramento apropriado e contínuo via satélite das áreas do Cerrado, que são consideradas prioritárias para a sua biodiversidade, e das áreas que estão sofrendo desmatamentos e mudanças no uso e cobertura da terra, periodicamente, seria uma alternativa viável para o controle de informações e planejamentos estratégicos para a preservação do bioma.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL, Lei nº 9.985 de 18 de julho de 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.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Brasil projeções do agronegócio 2010/2011 a 2020/2021, 2011.** Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 13 agosto 2015.
- CATERINA F. E. G, VICTORIA D. C., BATISTELLA M. **Análise da expansão de áreas agrícolas no sul do Estado do Maranhão.** 6º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica - CIIC 2012 13 a 15 de agosto de 2012 – Jaguariúna, SP.
- CONGALTON, R. G. **A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment.** V. 49 n. 12, p. 1671-1678, 1991.
- CONGALTON, R. G.; and GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices.** New York: Lewis Publishers, 1999.
- COPPIN, P., JONCKHEERE, I., NACKAERTS, K., MUYS, B. and LAMBIN. **Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review.** International Journal of Remote Sensing, 25(9), pp. 1565–1596, 2004.
- DIAS, B. F. **Alternativas de Desenvolvimento dos Cerrados.** Brasília: Ibama, 1992. 97 p.
- DOURADO, J. R.; BOCLIN, R. G. **A indústria do Maranhão: um novo ciclo.** – Brasília: IEL (Instituto Euvaldo Lodi) – Núcleo Central, 2008.
- ENCONTRO Nacional dos Geógrafos. (16. : 2010. : Porto Alegre, RS). Crise, práxis e autonomia: espaços de resistência e de esperanças. / Org. por Alexandrina Luz Conceição; Cristiano Silva da Rocha Diógenes; Evelin Cunha Biondo. **A modernização da agricultura e o avanço da soja no sul do Maranhão: A construção do “território Balsas” no contexto do agronegócio.** – São Paulo, SP : AGB, 2010.
- FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G.; SANO, E. E.; SHIMABUKURO, Y. E. **Uso do modelo linear de mistura espectral para o mapeamento sistemático e operacional do bioma cerrado: possibilidades, implicações e procedimentos metodológicos.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11. (SBSR), 2003, Belo Horizonte. Anais. São José dos Campos: INPE, 2003. p. 657-664.

- FONSECA, L. M. G. **Processamento digital de imagens**. Instituto Nacional de Pesquisas espaciais (INPE), 2000. 105p.
- IBGE – **Mapa de biomas do Brasil**. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>. Acesso em: 13 set. 2015.
- JACOVINE, L. A., CORRÊA, J. B., SILVA, M. L., VALVERDE, S. R., FILHO, E. I., COELHO, F. M., et al. **Quantificação das Áreas de Preservação Permanente e de Reserva Legal em Propriedades da Bacia do rio Pomba -MG**. Revista *Árvore*, v.32 no.2. Viçosa: 2008.
- KLINK, C.A. & A.G. MOREIRA. **Past and current human occupation and land-use**. In: P.S. Oliveira & R.J. Marquis (eds.). *The Cerrado of Brazil. Ecology and natural history of a neotropical savanna*. pp. 69-88. Columbia University Press, New York, 2002.
- MACHADO, R.B. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Relatório técnico não publicado. Conservação Internacional, Brasília, DF, 2004.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Mapa de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros**. 2007.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: Atualização - Portaria MMA nº9, de 23 de janeiro de 2007**. / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas. – Brasília: MMA, 2007.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado – PPCERRADO**. 2008.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente; IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite** – Acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA. Monitoramento do bioma Cerrado 2009-2010. Brasília, agosto de 2011.
- MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: An introduction**. 2 Ed. Chichester: John Wiley & Sons, 292 p, 1999.
- MELLO, M. P.; PRADO, B. R.; SILVA, G. B. S.; SHIMABUKURO, Y. E.; SANO, E. E. **Comportamento espectral de fitofisionomias do Cerrado e desenvolvimento de índices utilizando bandas sintéticas derivadas de Modelos Lineares de Mistura Espectral aplicados na discriminação de fitofisionomias**. In: SIMPÓSIO

- BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 2839- 2846.
- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Organizadores). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Ed. UnB. Brasília, 2012.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicações**. São José dos Campos: INPE; 2001
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B. KENT, J. **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. Nature 403, 853-858, em fevereiro de 2000.
- NASA - National Aeronautics and Space Administration. **Landsat Data Continuity Mission: Continuously Observing Your World**. 2013. Disponível em: <<http://ldcm.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em: 17 de agosto de 2015.
- NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 3ª edição revista e ampliada. 2008.
- RICHARDS, J.A. **Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction**. Springer-Verlag, Berlin, Germany, p. 240. 1999.
- RIVERA-LOMBARDI, R.J.; KRUG, T.; SANTOS, J.R. **Permanência média de cicatrizes do fogo em diferentes tipos fisionômicos do cerrado brasileiro, utilizando dados do sensor TM/Landsat**. Goiânia – Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, p. 3269-3276. 2005.
- SALAZAR, L. NOBRE, C.; OYAMA, M. **Climate Change consequences on the biome distribution in tropical South America**. Geophysical Research Letters vol. 34, doi:10.1029/2007GLO29695, 2007.
- SANO, E. E.; BEZERRA, H. S.; BARCELLOS, A. O.; ROSA, R. **Metodologias para Mapeamento de Pastagens Degradadas no Cerrado**. Planaltina, DF: Boletim de pesquisa e desenvolvimento, Edição: 70 / Embrapa Cerrados, 2002.
- SANO, E.E.; FERREIRA, L.G.; ASNER, G.P.; STEINKE, E.T. **Spatial and temporal probabilities of obtaining cloud-free Landsat images over the Brazilian tropical savanna**. International Journal of Remote Sensing, v.28, p.2739-2752, 2007.
- SANTOS, M. A., BARBIERI A. F., CARVALHO J. A. M., MACHADO, C. J. **O cerrado brasileiro: notas para estudo**. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, 2010.

- SEADE – FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. **A agropecuária do Estado do Maranhão**. Ministério da Educação, 2001.
- SILVA, E. B., FERREIRA JÚNIOR, L. G., ANJOS, A. F., MIZIARA, F. **Análise da distribuição espaço-temporal das pastagens cultivadas no bioma Cerrado entre 1970 e 2006**. Revista IDeAS, v. 7, n. 1, p. 174-209, 2013.
- SILVA JUNIOR, C. A.; FRANK, T.; RODRIGUES, T. C. S. **Discriminação de áreas de soja por meio de imagens EVI/MODIS e análise baseada em geo-objeto**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.18, n.1, p.44-53, 2014.
- SILVA, G. B. S.; FORMGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E. **Análise espaço-temporal das áreas alteradas em função de atividades antrópicas no bioma Cerrado localizado no Estado do Mato Grosso, até o ano de 2001**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14. (SBSR), 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 3051-3058.
- SILVA, G. B. S.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; ADAMI, M.; SANO, E. **Discrimination of Cerrado vegetation cover in the state of Mato Grosso using MODIS images /Discriminação de classes de cobertura vegetal do cerrado matogrossense por meio de imagens modis**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 45, n. 2, p. 186-194, 2010.
- SUAREZ, A. F.; CANDEIAS, A. L. B. **Avaliação de acurácia da classificação de dados de sensoriamento remoto para o município de Maragogipe**. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação - p. 001. Recife - PE, 06- 09 de maio de 2012.
- PERROCA, M. G.; GAIDZINSKI, R. R. **Avaliando a confiabilidade interavaliadores de um instrumento para classificação de pacientes - coeficiente Kappa**. Rev. Esc. Enferm. USP, 2003; 37 (1): 72-80.
- PINTO, A. C. de Q.; FERREIRA, F. R. **Recursos genéticos e melhoramento da mangueira no Brasil**. In: Queiróz, M. A. de; Goedert, C. O.; Ramos, S. R. R. (ed.). Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste Brasileiro. Versão 1.0. Petrolina: Embrapa Semi-Árido/Brasília, Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999. Disponível em: <<http://www.cpatia.embrapa.br>>. Acesso em 2 de novembro de 2015.

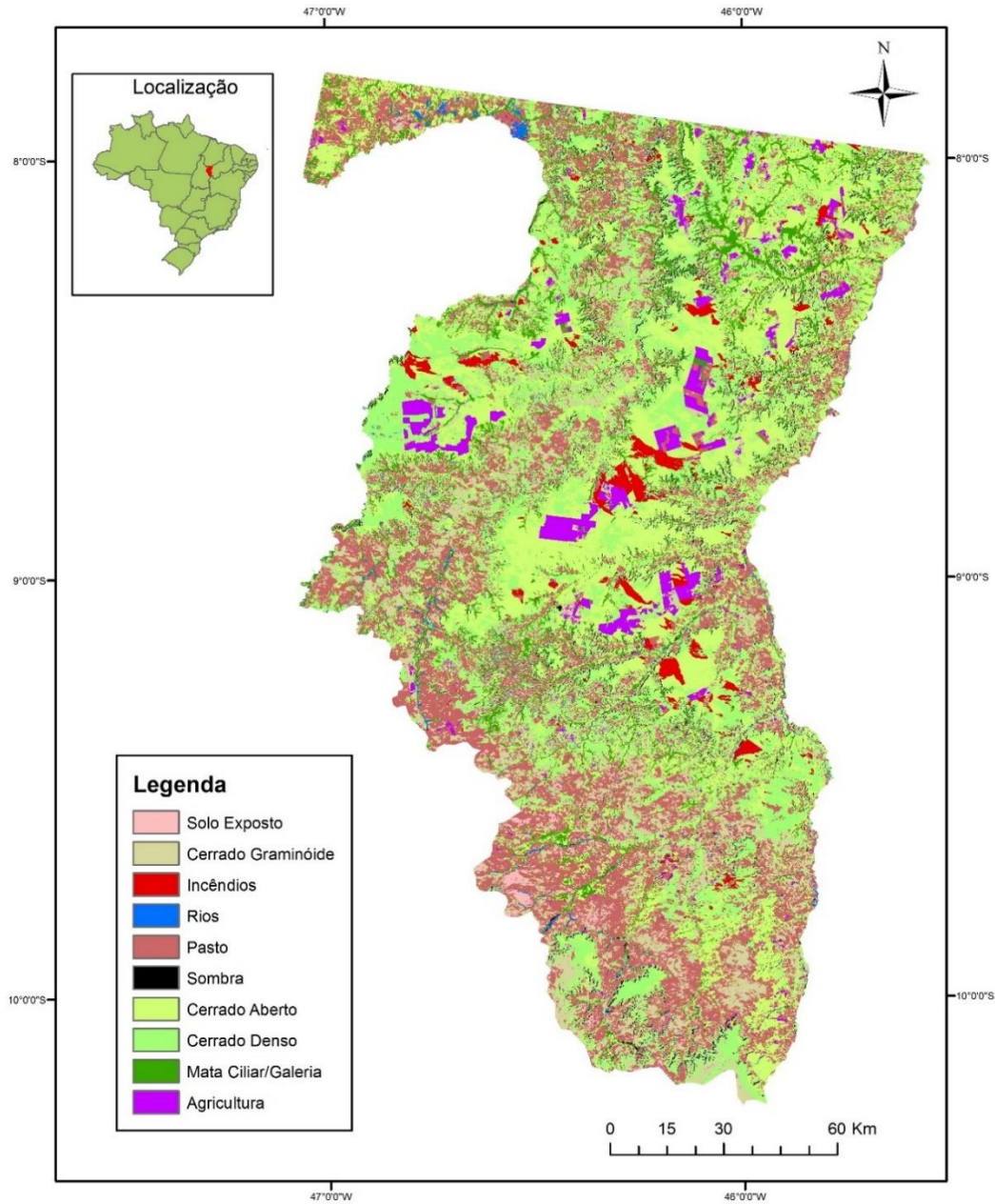
POLARY, J. H. B. **Indústria no Maranhão: panorama recente e prospectivo**. São Luís: SESI, 2001.

USGS - United States Geological Survey. **Landsat Project Description**. Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov/>> Acesso em: 17 de agosto de 2015.

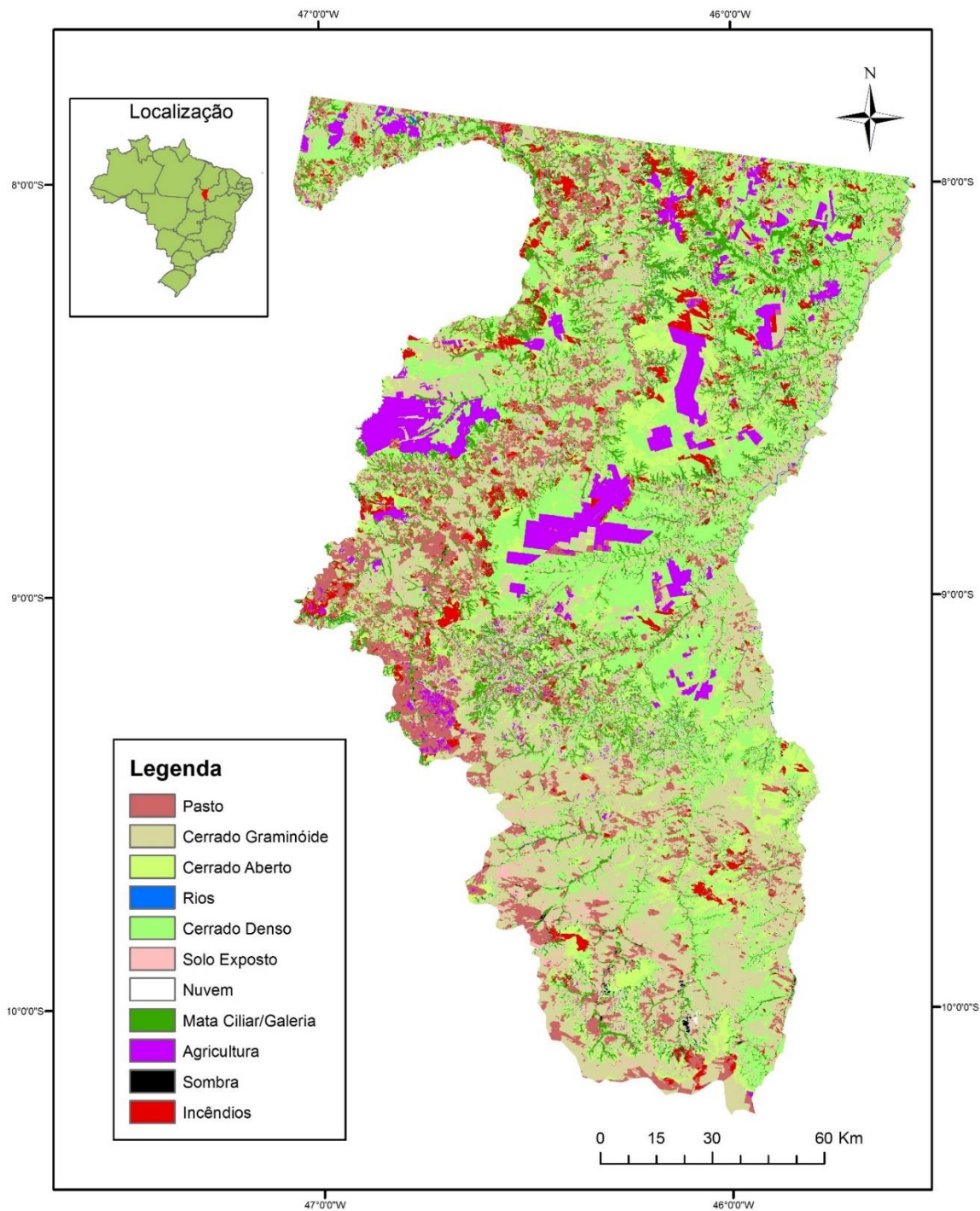
VALLADARES, G. S.; QUARTAROLI, C. F.; HOTT, M. C.; MIRANDA, E. E. de; NUNES, R. da S.; KLEPKER, D.; LIMA, G. P. **Mapeamento da aptidão agrícola das terras do Estado do Maranhão**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 6. 2007. 25p.

APÊNDICE

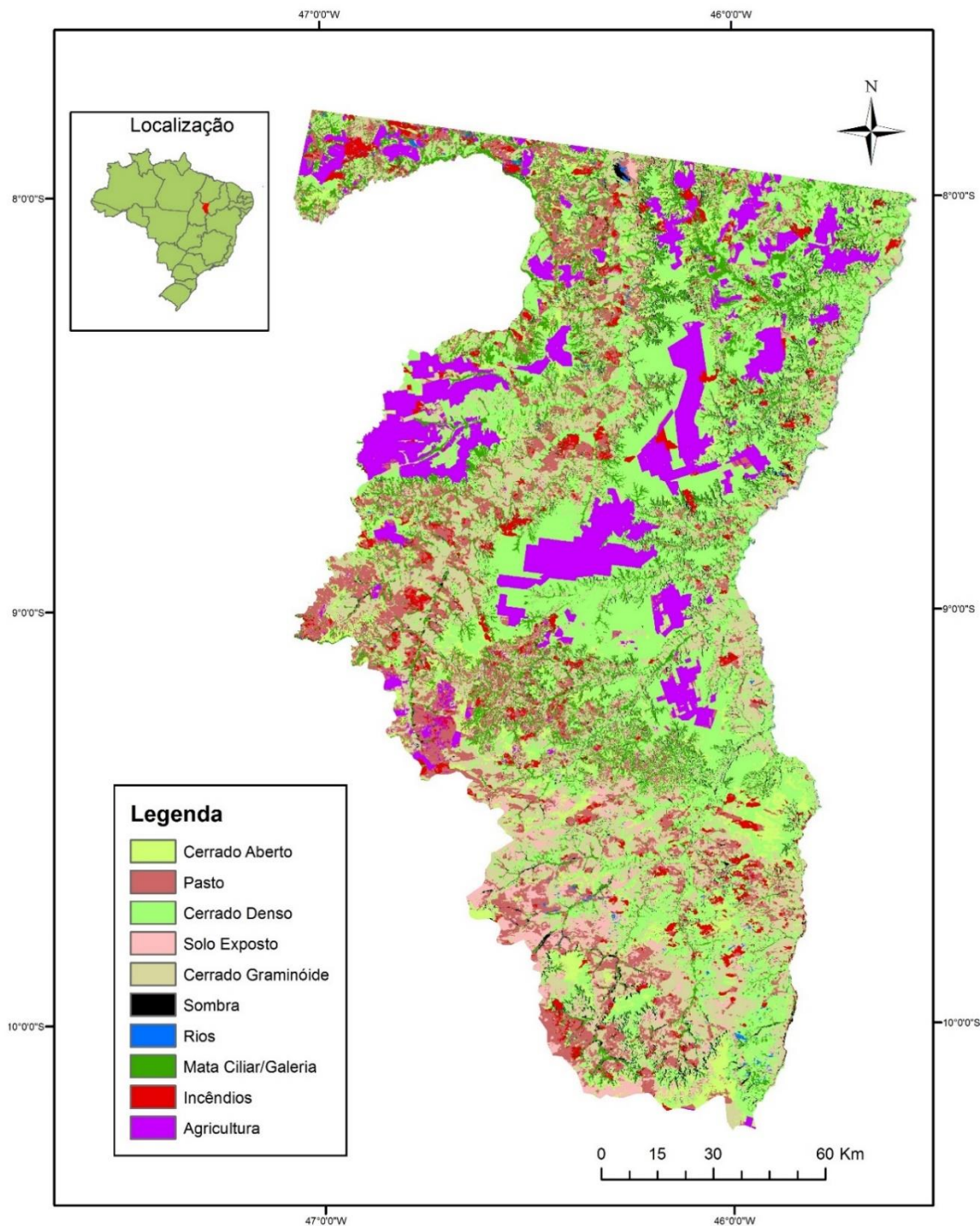
APÊNDICE A - Classes de uso e cobertura da terra no Sul do Estado do Maranhão no ano de 1995.



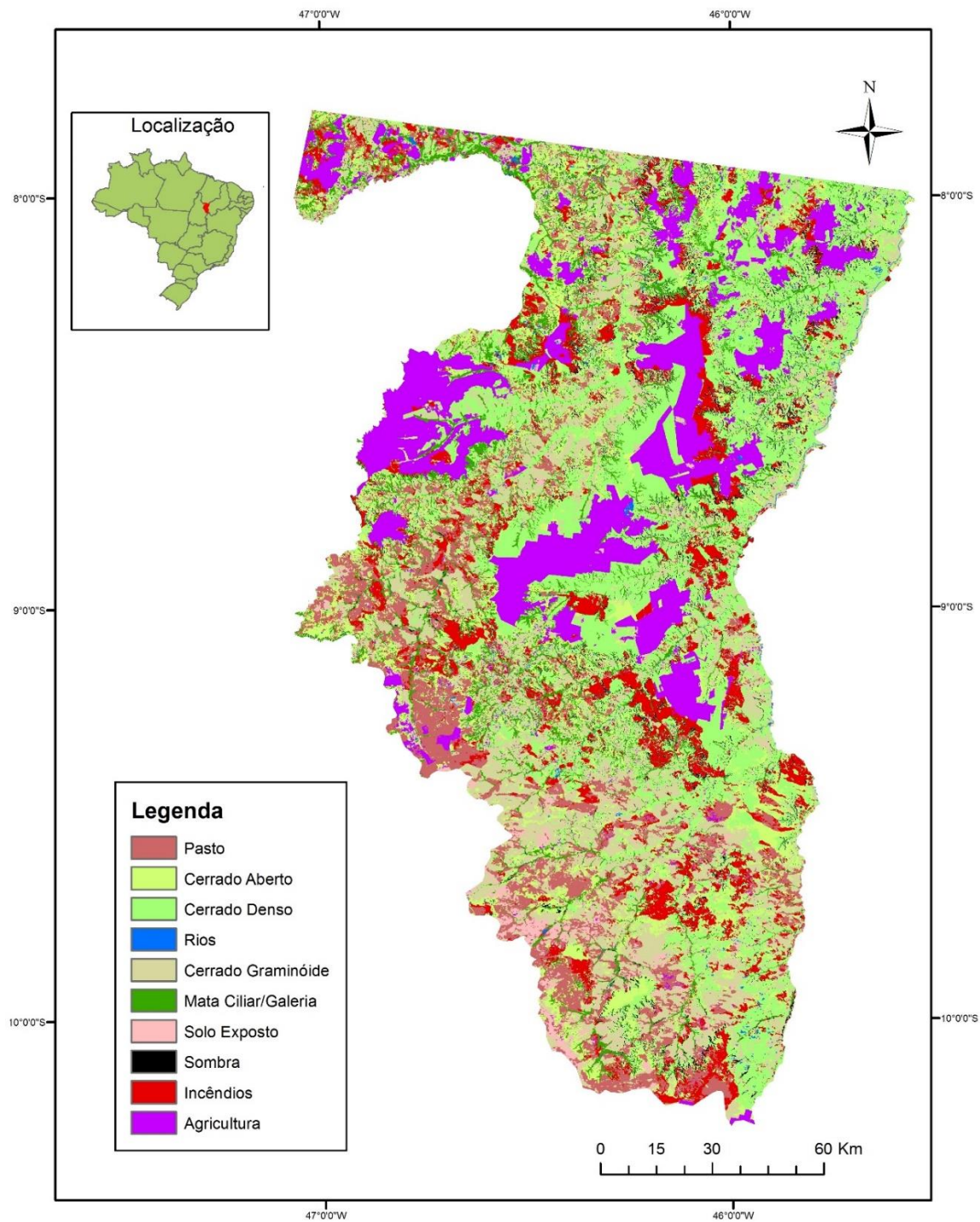
APÊNDICE B - Classes de uso e cobertura da terra no Sul do Estado do Maranhão no ano de 2000.



APÊNDICE C - Classes de uso e cobertura da terra no Sul do Estado do Maranhão no ano de 2005.



APÊNDICE D - Classes de uso e cobertura da terra no Sul do Estado do Maranhão no ano de 2010.



APÊNDICE E - Classes de uso e cobertura da terra no Sul do Estado do Maranhão no ano de 2015.

