Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Centro de Energia Nuclear na Agricultura

Alteração no uso e cobertura do solo na bacia do médio rio Araguaia, Brasil central

Henrique Oliveira Sawakuchi

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ecologia Aplicada

Piracicaba
2010

Henrique Oliveira Sawakuchi
Biólogo

Alteração no uso e cobertura do solo na bacia do médio rio Araguaia, Brasil central

Orientadora:
Profa. Dra. **MARIA VICTORIA RAMOS BALLESTER**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ecologia Aplicada

Piracicaba
2010

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Sawakuchi, Henrique Oliveira
Alteração no uso e cobertura do solo na bacia do médio rio Araguaia, Brasil central / Henrique Oliveira Sawakuchi. - - Piracicaba, 2010.
131 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 2010.

1. Amazônia 2. Análise de séries temporais 3. Bacia hidrográfica 4. Cerrado Cobertura do solo 6. Ecologia da paisagem 7. Uso do solo I. Título

CDD 551.483
S271a

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

A meu pai (in memoriam), minha mãe e meus irmãos

pelo exemplo, apoio e incentivo

Dedico

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho contou com a colaboração direta e indireta de diversas pessoas, entre as quais, em especial, gostaria de agradecer:

Em primeiro lugar a Prof. Dra. Maria Victoria Ramos Ballester pela orientação, amizade e, principalmente, pela paciência de sempre sanar minhas intermináveis dúvidas.

Aos meus irmãos, André e Gabriel, pelo incentivo e conselhos na sobre a vida acadêmica e pelo exemplo de pessoas que são.

À Mariana, pelo companheirismo e incentivo ao longo desses anos.

A todos da Rep. Biosfera pelos inúmeros momentos de felicidade e angústia compartilhados, em especial ao Xuleta, Hadija, Prisionêro, Sapão e Benito pelas conversas e idéias durante este projeto.

Ao apoio e amizade de todos do laboratório de Análise Ambiental e Geoprocessamento: Fernando, Tati (Sorvetão), Rosangela, Deise, Fátima, Nei, Giovana, Alex, Xanda, Gustavo, Reynaldo, Célia, Pereira e em especial ao Daniel, José Mauro, Eric e André pela ajuda com os programas, dicas sobre a vida acadêmica e duvidas na formatação deste trabalho.

À Maria de Fátima Razera, Dariusz, Luís e Marcos (Mamμña), pela ajuda nos trabalhos de campo.

À todos do Woods Hole Research Center (WHRC), pela hospitalidade, apoio e amizade, em especial ao Eric Davidson pela ajuda com o visto e Claudia Stickler pelas sugestões sobre as métricas da paisagem.

Ao Prof. Manuel Eduardo Ferreira, da Universidade Federal de Goiás (UFG), pelo apoio, dicas e sugestões no mapeamento e escolhas das métricas deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de mestrado concedida.

À Secretaria do Programa de Pós-graduação Interunidades de Ecologia Aplicada, Regina Celis Telles de Freitas e Antonia Mara Piacentini Casarin.

SUMÁRIO

RESUMO....9
ABSTRACT....11
LISTA DE FIGURAS....13
LISTA DE TABELAS....15
1 INTRODUÇÃO....17
REFERÊNCIAS....21
2 ANÁLISE TEMPORAL DA ESTRUTURA DA PAISAGEM EM UMA ZONA DE ECÓTONO ENTRE FORESTA AMAZÔNICA E CERRADO E A IMPORTÂNCIA DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO....27
Resumo....27
Abstract....27
2.1 Introdução....28
2.2 Materiais e Métodos....29
2.3 Resultados e Discussão....31
2.4 Conclusões....35
Referências....36
3 MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DO SOLO DAS ÚLTIMAS QUATRO DÉCADAS NA BACIA DO MÉDIO RIO ARAGUAIA, BRASIL CENTRAL....39
Resumo....39
Abstract....39
3.1 Introdução....40
3.2 Material e Métodos....42
3.2.1 Descrição da área de estudo....42
3.2.2 Aquisição das imagens....44
3.2.3 Pré-processamento e classificação das imagens....46
3.2.4 Levantamento de campo para obtenção de pontos de controle....48
3.2.5 Teste de acurácia da classificação....51
3.3 Resultados e Discussão....52
3.3.1 Acurácia do mapeamento....52
3.3.2 Mapas de uso e cobertura do solo....54
3.4 Conclusões....59
Referências....60

4 ANÁLISE TEMPORAL DA FRAGMENTAÇÃO DA PAISAGEM EM UMA ÁREA DE TRANSIÇÃO FLORESTA TROPICAL ÚMIDA-CERRADO (BACIA DO MÉDIO ARAGUAIA, BRASIL)..... 65
Resumo 65
Abstract 65
4.1 Introdução 66
4.2 Materiais e Métodos 69
4.2.1 Descrição da área de estudo 69
4.2.2 Análise da composição e configuração da paisagem 71
4.3 Resultados e discussão 76
4.3.1 Nível de detalhamento dos mapas de uso da terra 76
4.3.2 Composição e configuração da paisagem 79
4.4 Conclusões 92
REFERÊNCIAS 93
5 ANÁLISE ESPACIAL DA VEGETAÇÃO NATIVA PRIMÁRIA NA BACIA DO MÉDIO RIO ARAGUAIA E O PAPEL DE FATORES FÍSICOS E POLÍTICOS NA CONSERVAÇÃO DA VEGETAÇÃO
Resumo 101
Abstract 101
5.1 Introdução 102
5.2 Materiais e Métodos 104
5.2.1 Descrição da área de estudo 104
5.2.2 Identificação da vegetação primária 107
5.2.3 Fatores que influenciam a conservação da vegetação nativa 108
5.2.4 Análise estatística 112
5.3 Resultados e Discussão 113
5.4 Conclusões 120
REFERÊNCIAS 121
APÊNDICE 127

RESUMO

Alteração no uso e cobertura do solo na bacia do médio rio Araguaia, Brasil central

A região do médio rio Araguaia está localizada em uma área de transição entre a Floresta Tropical e o Cerrado, região esta que vem sofrendo um intenso processo de desmatamento nas últimas décadas. Contudo, a quantificação e os impactos destas alterações são ainda pouco conhecidos. Portanto, este estudo teve como objetivo avaliar a dinâmica temporal das alterações na estrutura da paisagem na bacia do médio Araguaia, entre 1975 e 2007, e os fatores relacionados a estas alterações. O capítulo 1 apresenta uma contextualização científica desta pesquisa. Os outros 4 capítulos apresentam manuscritos que serão submetidos a publicação. O capítulo 2 analisa as alterações no uso e cobertura da terra na região do Parque Estadual do Cantão (Tocantins) para um período de 19 anos, entre 1981 e 2000. Nossos resultados mostraram que a redução da vegetação nativa e conseqüente aumento de áreas agropastoris está associada ao aumento da fragmentação. Observamos também uma baixa conversão da vegetação nativa no interior do parque. No entanto, estes baixos valores podem estar associados à localização da reserva, dentro da planície de inundação do rio Araguaia. O capítulo 3 mostra os resultados do mapeamento do uso e cobertura do solo para o médio Araguaia nos anos de 1975, 1985, 1996 e 2007. Para tal, foi utilizado o método de classificação híbrida. O mapeamento apresentou uma acurácia geral de 85%. A extensão da área perdida das três classes de cobertura nativa (floresta, cerrado aberto e cerrado *stricto*), ao longo destes 32 anos analisados, totaliza uma redução de 26% destas coberturas. Os resultados dos efeitos destas mudanças na estrutura e configuração da paisagem são apresentados no capítulo 4. A análise da composição mostrou que, áreas de floresta e cerrado *stricto* foram as mais afetadas pelas conversões. Em relação à configuração da paisagem, foi verificada uma considerável redução no tamanho do maior fragmento, principalmente de floresta, que foi acompanhado do aumento no número de pequenos fragmentos. Por sua vez, esta apresenta uma relação com o aumento da densidade de borda, diminuição das áreas centrais médias e aumento da distância entre os fragmentos, resultado que mostra um elevado índice de fragmentação da vegetação nativa remanescente. Por fim, no capítulo 5, apresentamos os resultados sobre os remanescentes de cobertura nativa em 2007. Dos 166 mil km² da área estudada, 86.808 km² eram de vegetação primária em 2007. Com isso foi realizada uma análise de regressão logística para identificar a influência da distância de estradas, distância de cidades, declividade do terreno, situação fundiária, fertilidade do solo e ocorrência de alagamento no processo de desmatamento. Valores significativos ($p<0,05$) mostram que o distanciamento de estradas e cidades, o aumento da declividade, a presença de unidades de conservação de proteção integral, terras indígenas, áreas alagáveis e áreas com baixa fertilidade apresentam influência positiva para a presença e manutenção de áreas primárias. A análise destes processos é muito importante para um melhor entendimento da dinâmica regional de uso do solo, além de fornecer informações de apoio para um planejamento regional mais eficiente e sustentável.

Palavras-chave: Amazônia; Cerrado; Análise temporal; Estrutura da paisagem; Regressão logística

ABSTRACT

Land use land and cover changes in the middle Araguaia river basin, central Brazil

The central region of the Araguaia river basin encompasses a transition area between the Tropical Rain Forest and the Cerrado in Brazil. Despite of the fact that during the last four decades, this area has undergone an intense deforestation process, the quantification and impact of these changes are still unknown. Thus this study aimed to evaluate the dynamics of changes in landscape structure in the middle Araguaia river basin; and the driving factors of such changes.Chapter 1 of this thesis introduces the scientific contextualization of this research. The other 4 chapters present manuscripts to be submitted for publication. Chapter 2 analyzes the land use and land cover changes in the Cantão State Park region, Tocantins, for a period of 19 years, from 1981 to 2000. Our findings showed that the reduction of native vegetation and consequent increase of agricultural and pasture areas were related to the increase of fragmentation. We observed low conversion of native vegetation inside of the park area. However, these low rates of native vegetation losses may be associated with the geographical location of the reserve within the Araguaia's floodplain.Chapter 3 present the results of the land use and land cover mapping of the middle Araguaia region for 1975, 1985, 1996 and 2007. To derive these maps, a hybrid classification method was implemented. The mapping showed an overall accuracy of 85%. The extent of native cover (forest, open cerrado and cerrado *stricto*) changes over the 32 years totalized a reduction of 26% of these land covers. The results of the effects of these changes in landscape structure and configuration were evaluated in Chapter 4. Our analysis of landscape composition showed that areas of forest and cerrado *stricto* were the most affected by conversions. Regarding the landscape configuration, there was a considerable reduction in the largest patch index, mainly of forest, which was followed by an increase in the number of small patches, which in turn was related to the increase of edge density, decrease of core areas and increase in the mean patch distance. These results indicate a high degree of fragmentation of remaining native vegetation.Finally, Chapter 5 analyzes the native vegetation cover remnants in 2007. Of the 166,000 km² of the study area, 86,808 km² were remnants of primary vegetation. Then, we performed a logistic regression analysis to identify the influence of distance from roads, distance from cities, slope, land tenure, fertility and the occurrence of flooding in the deforestation process. Significant values ($p < 0.05$) for all variables were obtained, showing that the distance from roads and cities, slope increase, presence of conservation units, indigenous lands, wetlands and areas with low fertility have a positive influence for the presence and maintenance of primary vegetation. The analysis of these processes is very important for better understanding the regional dynamics of land use, and provide supporting information for a more efficient and sustainable regional planning.

Keywords: Amazon; Cerrado; Temporal analysis; Landscape structure; Logistic regression

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagem Landsat 5 (TM) de 2000, mostrando área de estudo 30

Figura 2 - Mapa da cobertura e uso da terra na região do Parque Estadual do Cantão 31

Figura 3 - Métricas da paisagem (a) proporção das áreas das classes da paisagem e (b) número de fragmentos na área estudada ao longo de 20 anos (1981 a 2000) 32

Figura 4 - Áreas desmatadas no interior do PEC nas duas datas analisadas e foto da área 34

Figura 5 – Localização da área de estudo no Brasil, em relação à bacia hidrográfica do Rio Araguaia e os Biomas Cerrado e Floresta Amazônica.....43

Figura 6 – Localização e órbita-ponto das cenas Landsat-5 TM, utilizadas para cobrir a área do trecho médio do Rio Araguaia 45

Figura 7 - Pontos coletados para teste de acurácia do mapa de cobertura e uso do solo no trecho médio da bacia do Rio Araguaia 2007, mostrando as diferentes coberturas e usos considerados no mapeamento. A) Floresta; B) Cerrado aberto; C) Cerrado *stricto*; D) Área queimada e E) Agropastoril. 50

Figura 8 – A) Variação do perfil espectral entre as bandas do satélite Landsat-5/TM, no ano de 2007, para as diferentes classes de uso e cobertura do solo no trecho médio da bacia do Rio Araguaia mostrando os pontos cujas amostras foram extraídas e foto da área, onde B = Floresta; C = Cerrado aberto; D = Cerrado *stricto*; E = Área queimada e F = Agropastoril 54

Figura 9 - Mapas de uso e cobertura do solo demonstrando a paisagem em 1975 e 1985 no trecho médio da bacia do Rio Araguaia.....56

Figura 10 - Mapas de uso e cobertura do solo demonstrando a paisagem em 1996 e 2007 no trecho médio da bacia do Rio Araguaia 57

Figura 11 – Variação das áreas de cada classe ao longo do tempo.....58

Figura 12 - Localização da área de estudo 70

Figura 13 – Área das classes para diferentes agrupamentos da legenda nos mapas de uso e cobertura do solo do trecho médio da bacia do Rio Araguaia entre 1976 e 2007: a) três classes de cobertura nativa (floresta, cerrado aberto e cerrado sensu *stricto*); b) Cobertura nativa separada em floresta e cerrado e; c) considerando todas as classes de vegetação nativa agrupadas.....78

Figura 14 - Mapas de uso e cobertura do solo no trecho médio da bacia do Rio Araguaia demonstrando a paisagem em: A) 1975 e B) 2007 80

Figura 15 – Variação das taxas de incremento de áreas convertidas considerando períodos de aproximadamente 10 anos 81

Figura 16 – Alterações na porcentagem das classes em relação à paisagem no trecho médio da bacia do Rio Araguaia para os anos 1976, 1985, 1996 e 2007 ... 83

Figura 17 – A) Mapa das microrregiões geográficas do IBGE que fazem parte da área estudada; B) Evolução da população residente entre 1970 e 2006; C) Evolução do número de cabeças de gado entre 1970 e 2006 84

Figura 18 - Evolução do índice do maior fragmento no trecho médio da bacia do Rio Araguaia para os seguintes anos: 1976, 1985, 1996 e 2007 85

Figura 19 – Evolução dos valores das métricas de configuração da paisagem ao longo do tempo: a) densidade de fragmentos; b) área média dos fragmentos; c) densidade de borda; d) razão perímetro-área média; e) área central média; f) índice de proximidade médio 88

Figura 20 – Localização do trecho médio da bacia do Rio Araguaia mostrada em mosaico de imagens Landsat5-TM (R5G4B3) no ano de 2007. 106

Figura 21 – Mapas dos fatores avaliados que podem apresentar alguma influência na presença de remanescentes de vegetação primária no trecho médio da bacia do Rio Araguaia; a) distância de estradas; b) distância de cidades; c) declividade do terreno; d) situação fundiária; e) fertilidade do solo; f) ocorrência de alagamento natural. Fonte: CSR-IBAMA (a, b e e), USGS (c), MMA (d) e EVA et al. 2002 (f) 109

Figura 22 – Mapa das áreas de ocorrência de vegetação primária na bacia do médio rio Araguaia para o ano de 2007 114

Figura 23 – Área de vegetação primária ocupada por cada fisionomia na bacia do médio Araguaia em 2007 115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Órbita/ponto e data de passagem das cenas Landsat-2 MSS e Landsat-5 TM utilizadas para o mapeamento da região do médio rio Araguaia 46

Tabela 2 - Valor para avaliar o grau de concordância a partir do índice Kappa.....52

Tabela 3 - Avaliação da acurácia do mapa de uso e cobertura do solo do médio rio Araguaia, referentes a 2007 53

Tabela 4 - Métricas da paisagem utilizadas neste estudo 74

Tabela 5 - Métricas da paisagem utilizadas neste estudo ..... (Continuação...) 75

Tabela 6 – Variação da porcentagem da área de cada classe de uso e cobertura em relação à paisagem, no trecho médio da bacia do Rio Araguaia entre 1976 e 2007 79

Tabela 7 – Informações das áreas protegidas existentes na região da bacia do médio rio Araguaia divididas por categorias. As UCs de proteção integral presentes na área correspondem a Parques Estaduais (P.E.), Parques Nacionais (P.N.) e Refúgio de Vida Silvestre (R.V.S.); as UCs de uso sustentável correspondem a Áreas de Proteção Ambiental (A.P.A.)..... 111

Tabela 8 – Classes de fertilidade que ocorrem na área estudada e a respectiva área ocupada por cada uma delas..... 111

Tabela 9 – Valores estimados dos coeficientes da regressão logística para a variável situação fundiária, com seus respectivos valores p, realizado para o trecho médio da bacia do Rio Araguaia em 2007. A classe “Uso Sustentável” apresenta valor p superior a 0,05, sendo desta forma desconsiderada..... 117

Tabela 10 – Valores estimados dos coeficientes da regressão logística para a variável fertilidade do solo e seus respectivos valores p. A classe “Muito baixa” apresenta valor p superior a 0,05, sendo desta forma desconsiderada 118

1 INTRODUÇÃO

Com a mais extensa floresta tropical úmida e o maior rio do mundo, a Amazônia é um dos mais importantes ecossistemas do planeta. Isso se deve, principalmente, à grande biodiversidade e às elevadas taxas de conversão da cobertura do solo, observados nas últimas décadas (KRUSCHE et al., 2005). Esta intensa mudança que o ecossistema amazônico vem sofrendo, se deve, principalmente, ao rápido desenvolvimento associado ao corte seletivo, expansão da agricultura, pecuária, e urbanização, alterações estas que têm um importante papel na estrutura e funcionamento dos ecossistemas desta região, causando um impacto global inquestionável (DAVIDSON; ARTAXO, 2004).

As mudanças na cobertura e uso do solo estão diretamente relacionadas com diversos problemas ambientais, os quais podem causar alterações em escalas locais, regionais e globais. A retirada da floresta e sua substituição por culturas e pastagens, afetam o clima local, regional e global devido à modificação das trocas de energia e materiais que ocorrem na superfície da terra (IPCC, 2007).

Uma série de trabalhos publicados nos últimos cinco anos, como parte do Experimento de Grande escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, demonstraram que a retirada da floresta e sua substituição por culturas como o pasto, resulta na diminuição da evapotranspiração e no aumento do escoamento superficial (SANTIAGO, 2005; VICTORIA et al., 2007). Mudanças significativas nas vias de ciclagem de elementos como nitrogênio, fósforo, carbono e íons maiores em ecossistemas terrestres (DAVIDSON et al., 2004; NEILL et al., 2006) e aquáticos (BALLESTER et al., 2003; DAVIDSON et al., 2004; THOMAS et al., 2004; KRUSCHE et al., 2005) também foram observados.

A paisagem amazônica é dominada por uma extensa rede de drenagem que compõe o rio Amazonas, responsável por 1/5 da disponibilidade mundial de água doce (IBGE, 2005), com reconhecida importância no funcionamento do sistema climático global, sendo tanto uma fonte quanto um sumidouro de carbono (HOUGHTON et al., 2000; RICHEY et al., 2002).

Os processos de colonização na Amazônia têm atraído considerável atenção nos últimos trinta anos, uma vez que as mudanças na cobertura e uso do solo estão associadas à apropriação da terra (BATISTELLA; MORAN, 2005). A fase mais intensa de ocupação desta região teve início na década de 1970, com a inauguração da rodovia Transamazônica. Embora áreas extensas ainda permaneçam intactas, a taxa de perda da floresta é muito elevada, em especial no “arco do desmatamento”, ao longo das bordas sul e leste.

Desmatamentos em larga escala iniciaram com a decisão de deslocar a capital nacional para o centro do Brasil e a construção de uma rede de estradas conectando a região norte com o sul e o nordeste do país (MORAN, 1981). Nas décadas de 70 e 80, grandes projetos de colonização e mineração foram implantados na região, como por exemplo, o Pólo Noroeste e Carajás, além de terem sido construídas usinas hidroelétricas e rodovias. Os incentivos fiscais para os grandes projetos agropecuários tiveram também papéis importantes, viabilizando a conversão de grandes áreas florestais em pastagens extensivas (MAHAR, 1989; NEPSTAD et al., 2001). Atualmente, a região amazônica passa por uma segunda fase de ocupação, onde os incentivos fiscais têm um papel menor e a rentabilidade de atividades de extração madeireira e agropecuária estão impulsionando a expansão e a transformação da fronteira agrícola (MATTOS; UHL, 1994; MARGULIS, 2004) e se intensificando na zona de transição entre a Floresta Tropical e o Cerrado.

O Cerrado brasileiro é o bioma que, atualmente, vem sofrendo a conversão mais rápida da cobertura do solo observada no Brasil, superando aquela da Floresta Tropical Amazônica (FERREIRA et al., 2003; SANO; FERREIRA; HUETE, 2005). Dos cerca de dois milhões de km^2 do território brasileiro cobertos originalmente pelo cerrado, cerca de 65% já haviam sofrido alguma alteração até 1993 (MANTOVANI; PEREIRA, 1998). A Amazônia Legal brasileira contém 850 mil Km^2 de cerrado, concentrados nos estados do Mato Grosso (43%) e Tocantins (29%) (SKOLE; TUCKER, 1993).

Assim como na Floresta Tropical, a ocupação do Cerrado tem resultado diversos problemas ambientais devido ao manejo inadequado do solo e a grande extensão territorial das ocupações. O desmatamento indiscriminado e as queimadas resultam na perda de solos por erosão, poluição hídrica e atmosférica, e perda de biodiversidade

(FERREIRA et al., 2003; QUESADA et al., 2004). Além disto, a conversão de habitats contínuos em áreas fragmentadas afeta também os processos ecológicos, como a dispersão de sementes, a polinização e a ciclagem de nutrientes (HANADA, 2004). Em vista destes impactos ambientais, surge a necessidade de conhecer e controlar os processos de conversão desta vegetação pelas atividades humanas (MANTOVANI; PEREIRA, 1998).

Na região hidrográfica do Tocantins-Araguaia, a Floresta Tropical ocupa as porções norte e noroeste, apresentando característica de zona de transição para o bioma cerrado, que domina a maior parte da bacia. O cerrado apresenta como fisionomia freqüente uma formação aberta de árvores e arbustos baixos, coexistindo com uma camada de gramíneas rasteiras. Este bioma destaca-se também pela grande biodiversidade, com mais de 6.000 espécies de árvores e 800 espécies de aves, além de grande variedade de peixes e outras formas de vida (ANA, 2007). Nesta região, o processo de desmatamento também se intensificou a partir da década de 70, com a construção da rodovia Belém-Brasília, da hidrelétrica de Tucuruí e da expansão das atividades agropecuárias e de mineração.

O avanço das tecnologias desenvolvidas para o aproveitamento agropecuário do Cerrado permitiu que, em pouco tempo, este fosse explorado intensamente, levando à perda de quase metade de sua cobertura original (MMA, 2009). A intensa ocupação humana, a construção de estradas e o avanço da fronteira agrícola, que já atinge todo o Cerrado e parte da Floresta Amazônica, transformaram essas paisagens em ilhas, inseridas em uma matriz de agroecossistemas (ANA, 2007).

A planície do Bananal, localizada no trecho do médio rio Araguaia, é uma das maiores áreas de sedimentação fluvial do continente sul americano, semelhante ao pantanal mato-grossense. Os impactos induzidos pela ação antrópica, principalmente pelo desmatamento para expansão da fronteira agropecuária no Cerrado, têm gerado um acelerado processo de erosão no alto Araguaia, acarretando alterações significativas na morfologia do rio em seu trecho médio (LATRUBESSE; STEVAUX, 2006). As conseqüências a médio e longo prazo para os ecossistemas da região são ainda pouco conhecidas, podendo-se verificar, no curto prazo, a degradação da qualidade de suas águas por contaminantes de diversos tipos (ARRUDA et al, 2000).

As propostas de expansão da fronteira agrícola dentro da bacia do Araguaia têm provocado profundas discussões políticas, sociais e científicas na região Centro-Oeste. O foco desses debates tem sido os projetos governamentais de infra-estrutura de transporte, os quais pretendem incentivar o que denominam de desenvolvimento regional, através de sua integração à economia nacional dentro dos moldes tradicionais de melhoria de infra-estrutura de transportes. Tal processo resulta em uma maior facilidade para o avanço da fronteira agrícola e monoculturas, cuja produção é destinada à exportação (ARRUDA et al, 2000), modificando profundamente a estrutura da paisagem regional.

Para auxiliar no desenvolvimento, gestão, conservação e planejamento regional, a ecologia da paisagem é uma ciência básica, que possibilita estudar os processos ecológicos em diferentes escalas temporais e espaciais (TURNER, 1989). Do ponto de vista ecológico, a paisagem é definida como uma unidade ambiental heterogênea, constituída por um mosaico de ecossistemas interativos, que se repetem ao longo de uma área (FORMAN, 1995) e apresentam três características básicas (FORMAN; GODRON, 1986):

A) Estrutura: relação espacial entre diferentes ecossistemas ou elementos presentes na paisagem, ou seja, é a distribuição da energia, dos materiais e espécies em relação ao tamanho, forma, número, tipo e configuração dos ecossistemas;

B) Função: refere-se à interação entre os elementos espaciais, que são o fluxo de energia, materiais e organismos dos ecossistemas componentes; e

C) Alterações: mudanças naturais ou antrópicas na estrutura e função do mosaico ecológico, ao longo do tempo.

A capacidade de quantificar a estrutura da paisagem é, portanto, o pré-requisito para o estudo da função e das alterações da mesma (MCGARIGAL; MARKS, 1995). Para tal, o uso de dados de sensores remotos, como fotografia aéreas e imagens de satélite, proporciona um meio rápido e sistemático de avaliar as condições da cobertura e uso do solo e, posteriormente, quantificar a estrutura da paisagem.

O conhecimento da dinâmica espaço-temporal da cobertura e uso do solo, assim como das alterações na estrutura da paisagem, fornece subsídios para entender a

dinâmica de ocupação de uma região e avaliar os impactos ambientais resultantes das atividades humanas.

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar as mudanças na cobertura e uso do solo na região do médio rio Araguaia nas últimas quatro décadas (1975 a 2007), como conseqüência da expansão da fronteira agrícola na região, bem como o efeito das mesmas na estrutura da paisagem e a influência de fatores regionais na manutenção de remanescentes de vegetação nativa primária.

Dessa forma a presente dissertação de mestrado foi organizada na forma de capítulos. Este primeiro capítulo faz uma contextualização geral do trabalho e os outros quatro capítulos são artigos correspondentes aos objetivos específicos da proposta de estudo.

Sendo assim, o capítulo 2 aborda as análises das alterações no uso e cobertura da terra entre 1981 e 2000 na região do Parque Estadual do Cantão (Tocantins). Este foi um trabalho piloto, realizado em uma pequena área para determinação da metodologia.

O mapeamento do uso e cobertura do solo para o médio Araguaia nos anos de 1975, 1985, 1996 e 2007 pode ser verificado no capítulo 3.

Os resultados dos efeitos das mudanças na estrutura da paisagem no médio Araguaia são apresentados no capítulo 4.

E no capítulo 5, são apresentados os resultados sobre a cobertura nativa em 2007 e a influência de alguns fatores físicos intrínsecos da área na presença e ausência destes remanescentes.

REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas. **Divisão hidrográfica nacional**: região hidrográfica do Tocantins-Araguaia. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/PlanejHidrologico/pbhta/PlanoEstrategicodeRecursosHidricos/CaracterizacaodaRegiaoHidrograficaTocantins-Araguaia.pdf> Acesso em: 15 fev. 2008.

ARRUDA, M.B.; DIAS, A.; LATRUBESSE, E.M.; GALINKIN, M.; MENDONÇA, A.F.; SCARDUA, F.P. Projeto corredor ecológico Bananal-Araguaia. Brasília, 2000. Disponível em: www.cebrac.org.br/v2/projetos_download/projetoCEAraguaia.pdf. Acesso em: 10 nov. 2007.

BALLESTER, M.V.R.; VICTORIA, D.D.; KRUSCHE, A.V.; COBURN, R.; VICTORIA, R.L.; RICHEY, J.E.; LOGSDON, M.G.; MAYORGA, E.; MATRICARDI, E. A remote sensing/GIS-based physical template to understand the biogeochemistry of the Ji-Parana river basin (Western Amazonia). **Remote Sensing of Environment,** New York, v.87, n.4, p.429-445, nov. 2003.

BATISTELLA, M.; MORAN, E.F. Dimensões humanas do uso e cobertura das terras na Amazônia: uma contribuição do LBA. **Acta Amazonica,** Manaus, v.35, p.239-247, 2005.

DAVIDSON, E.A.; ARTAXO, P. Globally significant changes in biological processes of the Amazon Basin: results of the Large-scale Biosphere-Atmosphere Experiment. **Global Change Biology,** Oxford, v.10, n.5, p.519-529, may 2004.

DAVIDSON, E.A.; NEILL, C.; KRUSCHE, A.V.; BALLESTER, V.V.R.; MARKEWITZ, D.; FIGUEIREDO, R.D. Loss of nutrients from terrestrial ecosystems to streams and the atmosphere following land use change in Amazonia. In: DEFRIES, R. S.; ASNER, G. P.; HOUGHTON, R. A. (Ed.). **Ecosystems and Land Use Change**. Washington: Amer Geophysical Union, v.153, 2004, chap., p.147-158.

FERREIRA, L.G.; YOSHIOKA, H.; HUETE, A.; SANO, E.E. Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in the Brazilian Cerrado: An analysis within the Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA). **Remote Sensing of Environment,** New York, v.87, n.4, p.534-550, nov. 2003.

FORMAN, R.T.T. **Land mosaic:** the ecology of landscape and regions. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 632 p.

FORMAN, R.T.T.; GODRON, M. **Landscape ecology**. New York: John Wiley, 1986. 619 p.

HANADA, L.C. **Mudança no uso e cobertura do solo na fronteira agrícola da Amazônia Ocidental Bacia do Ji-Paraná – Rondônia**. 2004. 74p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

HOUGHTON, R.A.; SKOLE, D.L.; NOBRE, C.A.; HACKLER, J.L.; LAWRENCE, K.T.; CHOMENTOWSKI, W.H. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. **Nature,** London, v.403, n.6767, p.301-304, 2000.

IBGE. **Perfil dos municípios brasileiros - Meio Ambiente 2002**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 2005. 388 p.

IPCC. **Climate Change 2007:** Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, v. 2007. 104 p.

KRUSCHE, A.V.; BALLESTER, M.V.R.; VICTORIA, R.L.; BERNARDES, M.C.; LEITE, N.K.; HANADA, L.; VICTORIA, D.D.C.; TOLEDO, A.M.; OMETTO, J.P.; MOREIRA, M.Z.; GOMES, B.M.; BOLSON, M.A.; GOUVEIA NETO, S.; BONELLI, N.; DEEGAN, L.; NEILL, C.; THOMAS, S.; AUFDENKAMPE, A.K.; RICHEY, J.E. Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. **Acta Amazonica,** Manaus, v.35, p.197-205, 2005.

LATRUBESSE, E.M.; STEVAUX, J.C. Características físico-bióticas e problemas ambientais associados à planície aluvial do rio Araguaia, Brasil central. **Revista UnG - Geociências,** Guarulhos, v.5, n.1, p.65-73, 2006.

MAHAR, D.J. **Government policies and deforestation in Brazil's Amazon region**. Washington: World Bank Publications, v. 1989. 64 p.

MANTOVANI, J.E.; PEREIRA, A. Estimativa da integridade da cobertura vegetal do Cerrado/ Pantanal através de dados TM/Landsat. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998. Santos. **Anais...** Santos, 1998. p. 1455-1466.

MARGULIS, S. **Causas do desmatamento da amazonia brasileira**. Brasília: Banco Mundial, v. 2004. 80 p.

MATTOS, M.M.; UHL, C. Economic and ecological perspectives on ranching in the Eastern Amazon. **World Development,** Kidlington, v.22, n.2, p.145-158, 1994.

MCGARIGAL, K.; MARKS, B.J. **FRAGSTATS:** spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Portland: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995. 122 p.

MMA. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado – PPCerrado**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=1&idConteudo=9410>. Acesso em: 05 mar. 2010.

MORAN, E.F. **Developing the Amazon**. Bloomington: Indiana University Press, 1981. 292 p.

NEILL, C.; DEEGAN, L.A.; THOMAS, S.M.; HAUPERT, C.L.; KRUSCHE, A.V.; BALLESTER, V.M.; VICTORIA, R.L. Deforestation alters the hydraulic and biogeochemical characteristics of small lowland Amazonian streams. **Hydrological Processes,** Chichester, v.20, n.12, p.2563-2580, aug 2006.

NEPSTAD, D.; CARVALHO, G.; CRISTINA BARROS, A.; ALENCAR, A.; PAULO CAPOBIANCO, J.; BISHOP, J.; MOUTINHO, P.; LEFEBVRE, P.; LOPES SILVA, U.; PRINS, E. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v.154, n.3, p.395-407, 2001.

QUESADA, C.A.; MIRANDA, A.C.; HODNETT, M.G.; SANTOS, A.J.B.; MIRANDA, H.S.; BREYER, L.M. Seasonal and depth variation of soil moisture in a burned open savanna (campo sujo) in central Brazil. **Ecological Applications,** Tempe, v.14, n.4, p.S33-S41, aug 2004.

RICHEY, J.E.; MELACK, J.M.; AUFDENKAMPE, A.K.; BALLESTER,V.M.; HESS, L.L. Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO2. **Nature,** London, v.416, n.6881, p.617-620, apr 2002.

SANO, E.E.; FERREIRA, L.G.; HUETE, A.R. Synthetic aperture radar (L band) and optical vegetation indices for discriminating the Brazilian savanna physiognomies: A comparative analysis. **Earth Interactions,** Boston, v.9, p.1-15, 2005.

SANTIAGO, A.V. **Simulações dos efeitos da cobertura vegetal no balanço hídrico da bacia do rio Ji-Paraná, RO**. 2005. 69p. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SKOLE, D.; TUCKER, C. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988 **Science,** Washington, v.260, n.5116, p.1905-1910, jun 1993.

THOMAS, S.M.; NEILL, C.; DEEGAN, L.A.; KRUSCHE, A.V.; BALLESTER, V.M.; VICTORIA, R.L. Influences of land use and stream size on particulate and dissolved materials in a small Amazonian stream network. **Biogeochemistry,** Dordrecht, v.68, n.2, p.135-151, apr 2004.

TURNER, M.G. LANDSCAPE ECOLOGY - THE EFFECT OF PATTERN ON PROCESS. **Annual Review of Ecology and Systematics,** Palo Alto, v.20, p.171-197, 1989.

VICTORIA, D.D.; SANTIAGO, A.V.; BALLESTER, M.V.R.; PEREIRA, A.R.; VICTORIA, R.L.; RICHEY, J.E. Water balance for the Ji-Parana River Basin, Western Amazon, using a simple method through geographical information systems and remote sensing. **Earth Interactions,** Boston, v.11, p.1-22, 2007.

2 ANÁLISE TEMPORAL DA ESTRUTURA DA PAISAGEM EM UMA ZONA DE ECÓTONO ENTRE FLORESTA AMAZÔNICA E CERRADO E A IMPORTÂNCIA DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

Resumo

O Cerrado e a Floresta Amazônica têm passado por uma grande fase de degradação nas últimas décadas devido ao intenso uso do solo pelas atividades humanas. A zona de transição entre estes dois biomas sobrepõem, em quase toda sua extensão, com o chamado, arco do desmatamento. Apesar da importância deste ecótono, poucos estudos ainda foram desenvolvidos nestas regiões. Este trabalho analisou as alterações no uso e cobertura da terra ocorrida entre 1981 e 2000 na região do Parque Estadual do Cantão e parte do Parque nacional do Araguaia, ambos situados no estado do Tocantins. Foram utilizadas imagens Landsat 2 MSS (1981) e Landsat 5 TM (2001) para o mapeamento das mudanças do uso e cobertura do solo. A área foi classificada em floresta, cerrado, pasto/cultura, água e áreas urbanas. Os resultados mostram que a região estudada teve uma redução de 6% de floresta (735km²) e 11% de cerrado (1324km²), seguido por um aumento de mais de três vezes da área de pasto/cultura inicial, ocupando uma extensão de 2873km² em 2000. Estas alterações estão associadas ao aumento do número de fragmentos de floresta, cerrado e pasto/cultura. Em relação às áreas dentro do limite do Parque Estadual, verificamos uma redução de 2,42% da vegetação nativa. No entanto, estas baixas taxas de degradação dentro dos limites do parque podem estar associadas à localização da reserva dentro da planície de inundação do rio Araguaia.

Palavras-chave: Mudanças na paisagem; Ecótono; Unidades de conservação

TEMPORAL ANALYSIS OF THE LANDSCAPE STRUCTURE IN AN ECOTONE ZONE BETWEEN TROPICAL RAIN FOREST AND SAVANNA AND THE IMPORTANCE OF CONSERVATION UNITS

Abstract

The Brazilian Savanna and Amazon Rain Forest have undergone large changes in the last decades due to intensive soil use for the human activities. The transition zones between these two biomes overlap in most part of their extension with the deforestation arch. Despite of the importance of this ecotone region, few studies have been performed in this area to evaluate landscape changes. This chapter analyzes 20 years of land use alterations in the neighborhood of the Cantão State Park and part of Araguaia National Park, both situated in Tocantins State (Brazil). Using Landsat 2 MSS (1981) and Landsat 5 TM (2001) images to map the land use and land cover changes, the area was classified into forest, savanna, pasture/culture, water, and urbanization. Our results show that the total area of the park and it's adjacency had a decrease of 6% of its forest (735km^2) and 11% of savanna (1324km^2) cover, associated with an increase of more than threefold of the pasture/culture, covering 2873km^2 in 2000.

These changes are also associated with the increase of forest, savanna and pasture/culture path numbers. Considering the total area of the parks we noted that only within Cantão's boundary there was a decrease of 2,42% of the native vegetation. This low value of degradation inside the parks probably is linked to the localization of the parks within the Araguaia and Javaés floodplains.

Keywords: Landscape changes; Ecotone; Protected areas

2.1 Introdução

Os processos de colonização na Amazônia têm atraído considerável atenção nos últimos trinta anos, uma vez que as mudanças no uso e cobertura do solo estão associadas à apropriação da terra (BATISTELLA; MORAN, 2005). Embora áreas extensas ainda permaneçam intactas, a taxa de perda da floresta é elevada, em especial no "arco do desmatamento", ao longo das bordas sul e leste da floresta Tropical Amazônica, na zona de transição entre a Floresta Tropical e o Cerrado.

O avanço da fronteira agrícola já atinge quase todo o Cerrado e parte da Floresta Amazônica, sendo que esta ocupação humana e a construção de estradas transformam paisagens naturais em ilhas inseridas numa matriz de agroecossistemas, afetando uma série de processos ecológicos.

O Cerrado é o bioma que vem sofrendo a conversão mais rápida da cobertura do solo observada no Brasil, superando aquela da floresta tropical úmida (FERREIRA et al., 2003; SANO; FERREIRA; HUETE, 2005).

Dos cerca de dois milhões de km^2 do território brasileiro cobertos originalmente pelo cerrado, cerca de 65% já sofreram algum tipo de alteração (MANTOVANI; PEREIRA, 1998). A Amazônia Legal brasileira contém 850 mil Km^2 de cerrado, concentrados nos estados do Mato Grosso (43%) e Tocantins (29%) (SKOLE; TUCKER, 1993). Na região hidrográfica do Tocantins-Araguaia, a floresta tropical úmida ocupa as porções norte e noroeste, apresentando característica de zona de transição para o bioma cerrado, que domina a maior parte da área. O Cerrado apresenta como fisionomia freqüente uma formação aberta de árvores e arbustos baixos, coexistindo com uma camada de gramíneas rasteiras. Este bioma destaca-se também pela grande biodiversidade, com mais de 6.000 espécies de árvores e 800

espécies de aves, além de grande variedade de peixes e outras formas de vida (ANA, 2008).

A ocupação do Cerrado tem resultado em diversos problemas ambientais devido à pequena utilização de tecnologias adequadas e a grande extensão territorial das ocupações. O desmatamento indiscriminado e as queimadas causam problemas como a perda de solos por erosão, poluição hídrica e atmosférica, e perda de biodiversidade (FERREIRA et al., 2003; QUESADA et al., 2004). Além disto, a conversão de habitats contínuos em áreas fragmentadas afeta também os processos ecológicos, como dispersão de sementes, polinização e ciclo de nutrientes (HANADA, 2004).

O objetivo geral deste estudo foi avaliar as mudanças na cobertura e uso do solo da região do Parque Estadual do Cantão (PEC) ao longo de 20 anos de alterações, como conseqüência da expansão da fronteira agrícola na região.

2.2 Materiais e Métodos

A área estudada abrange uma área total de 11.485 km² e compreende todo o PEC e parte do Parque Nacional do Araguaia (PNA).

Com cerca de 988 km^2 de área o PEC foi criado em 1998 e compreende uma área de floresta sazonalmente alagável inserida em uma área de ecótono entre a Floresta Amazônica e o Cerrado. Anualmente, esta região passa por um período de inundação que atinge tanto extensas áreas abertas quanto florestas, tornando esta área um ambiente único e de extrema importância biológica.

O parque é cercado pelos rios Araguaia, Côco e Javaés. Localiza-se no estado de Tocantins, próximo às fronteiras dos estados de Mato Grosso e Pará (Figura 1), fazendo limite com mais duas outras áreas protegidas, o Parque Nacional do Araguaia (PNA), criado em 1959, ao sul e a APA Ilha do Bananal/Cantão a leste.

Em termos de clima, duas estações são nitidamente marcadas, o verão (de novembro a abril) em que predominam as chuvas, e o inverno (de maio a outubro) onde ocorre o período da seca. A precipitação média anual varia de 1900 a 2100 $mm.ano^{-1}$ e a temperatura média anual é de 28º C (SEPLAN, 2008). Na época de cheia, parte da área do PEC e PNA ficam inundadas.

A principal atividade econômica da região é a pecuária de corte extensiva, praticada em áreas de pastagem cultivadas ou nativas. As pastagens naturais, em geral, apresentam baixa capacidade de suporte animal (ANA, 2008).

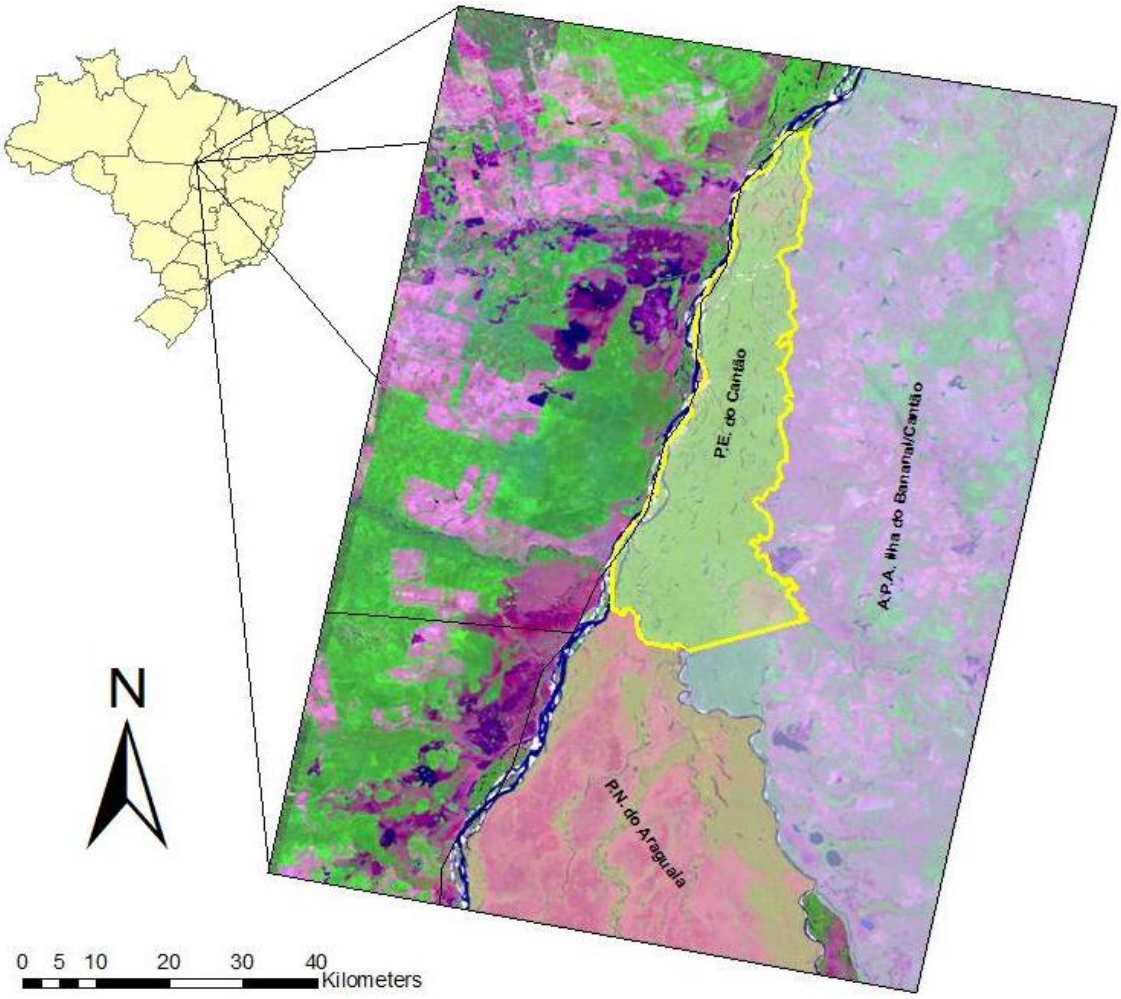

Figura 1 - Imagem Landsat 5 (TM) de 2000, mostrando área de estudo

A análise da evolução espaço-temporal da cobertura e uso do solo da área de estudo foi efetuada utilizando técnicas de geoprocessamento e métricas da paisagem. Os dados foram adquiridos, georeferenciados, armazenados, processados e analisados com o auxílio do Sistemas de Informações Geográfica ArcGIS, versão 9.2 e o Processador de Imagens Erdas Imagine, versão 9.1.

Os mapas de uso e cobertura do solo foram obtidos através do processamento digital de cenas do satélite Landsat-2, sensor MSS e do Landsat-5, sensor TM, referentes aos anos de 1981 e 2000, respectivamente. As cenas Landsat-2 foram

geometricamente corrigidas com relação à imagem Landsat-5, obtidas junto ao *Global Land Cover Facility* (http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp). O método de classificação empregado foi do tipo supervisionado, por máxima verossimilhança, utilizando as seguintes classes: floresta, agropastoril, cerrado, área urbana e água.

A dinâmica da paisagem foi avaliada utilizando índices quantitativos que descrevem a composição e configuração da mesma em cada uma das datas de estudo. Para cada período analisado, foram determinadas as quantidades totais e percentuais correspondentes à área de cada uma das classes definidas e o número de fragmentos para cada classe analisada. Todos os índices foram calculados utilizando o software FRAGSTATS.

2.3 Resultados e Discussão

As imagens de satélite compreendem uma área de 11.485 km^2. O mapeamento das alterações da paisagem ao longo do tempo ilustra o avanço das áreas agropastoris sobre áreas de floresta e cerrado (Figura 2).

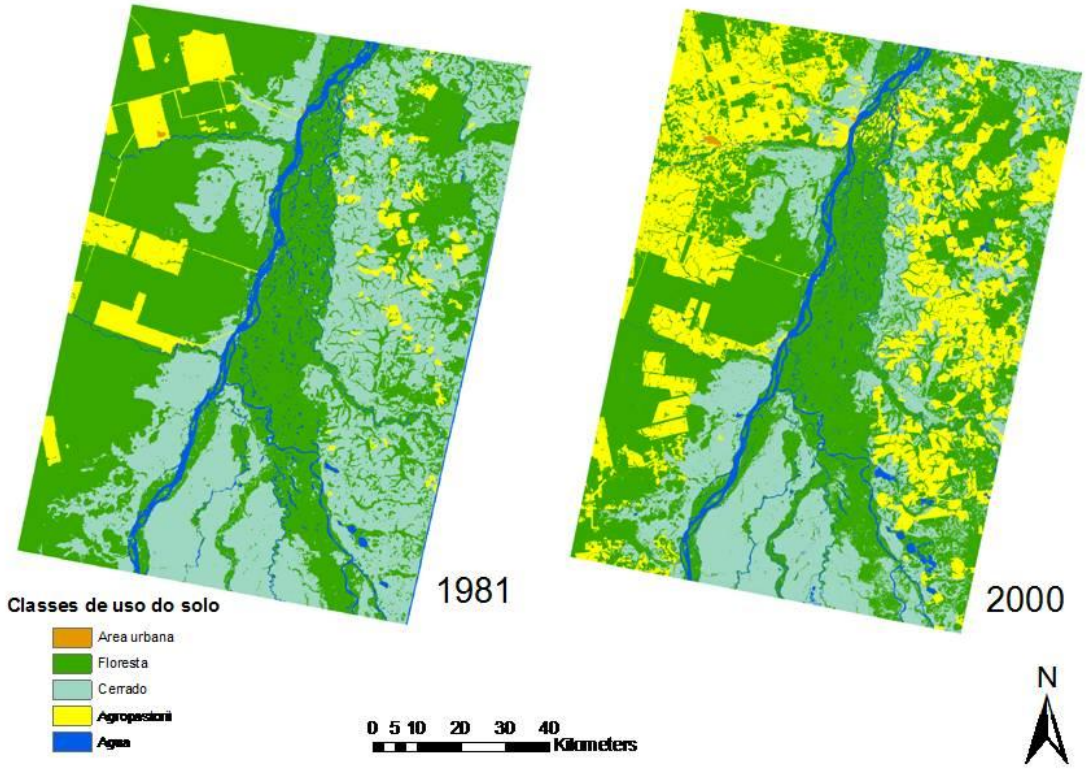

Figura 2 - Mapa da cobertura e uso da terra na região do Parque Estadual do Cantão

O cálculo das métricas da paisagem mostra que, em 1981, a matriz da paisagem era composta por floresta e cerrado, compreendendo 54 e 35% da área estudada, respectivamente. Nesta época a classe agropastoril compreendia aproximadamente 7% da região. No ano 2000, a análise do mapeamento de uso e cobertura do solo revelou que a proporção da vegetação nativa reduziu para 47% de floresta e 24% de cerrado, acompanhada de um crescimento de áreas agropastoris para 24% (Figura 3a). Acompanhando o crescimento das áreas agropastoris, o número de fragmentos para todas as classes de vegetação também aumentou consideravelmente, podendo se observar um incremento de 5, 4 e 17 vezes do número de fragmentos de cerrado, floresta e agropastoril, respectivamente, produzindo uma paisagem cada vez mais recortada com fragmentos de vegetação nativa cada vez mais desconexos (Figura 3b).

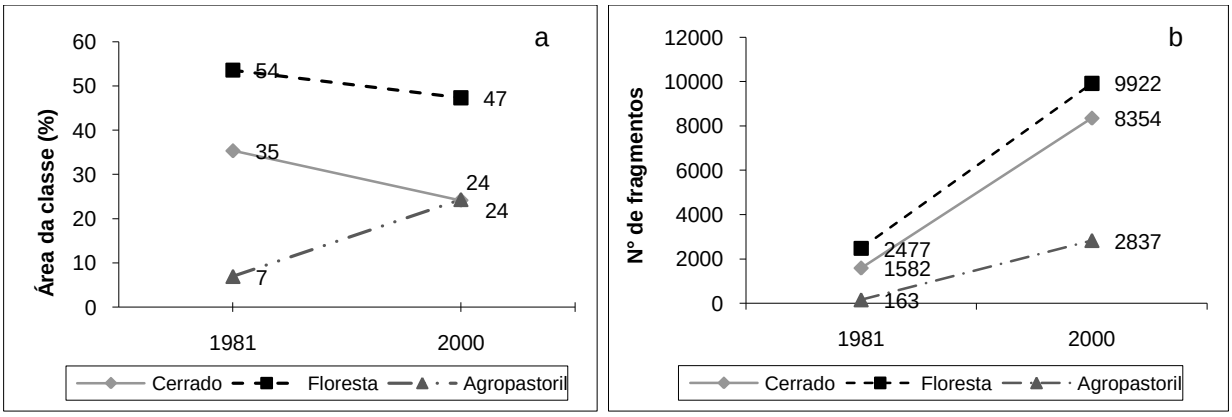

Figura 3 - Métricas da paisagem (a) proporção das áreas das classes da paisagem e (b) número de fragmentos na área estudada ao longo de 20 anos (1981 a 2000)

O aumento do número de fragmentos, em todas as classes de vegetação, está relacionado ao avanço de áreas agropastoris sobre áreas de vegetação nativa. Desta forma, com a conversão de floresta e cerrado em áreas agropastoris, em um primeiro momento, ocorre um aumento do número de fragmentos para todas as classes. Entretanto, com a continuidade deste avanço, existe uma tendência de redução do número de fragmentos da classe agropastoril relacionada à união entre fragmentos desta classe, podendo ocorrer, se mantida esta taxa, uma conversão da matriz da paisagem.

Padrões similares foram observados em outros estudos na região. A análise da dinâmica temporal do uso e cobertura da terra em Lagoa da Confusão, no estado do Tocantins mostra que a área passou por uma grande expansão agrícola sobre áreas naturais de varjão e cerrado, principalmente devido à implantação de projetos hidroagrícolas e pastagens (MARTINS et al*.,* 2007). Cardille e Foley (2003) observaram uma tendência de conversão de plantações e pastagens naturais para pastagens plantadas na região leste do Pará e norte do Tocantins entre 1980 e 1995, enquanto no Mato Grosso, a conversão foi, principalmente, de pastagens naturais para plantações e pastagens plantadas.

Em relação à conversão no uso do solo dentro das áreas protegidas do Parque Estadual do Cantão e do Parque Nacional do Araguaia, pode-se notar que essas sofreram poucos impactos. Das alterações quantificadas, considerando apenas as áreas do interior dos parques, foi observado que, em 1981, a área do PEC apresentava 1,12% de áreas agropastoris no seu interior (12km^2). Já em 2000, estas áreas passaram a 35km^2 ou 3,54%. Estes fragmentos agropastoris se concentram, principalmente, na parte norte do parque, próximo a Caseara (Figura 4), compreendendo pastagens e pequenas plantações de subsistência que são utilizadas durante o período seco, quando a área não está alagada, comprovando uma forte influência de uma área urbana nas adjacências das áreas protegidas.

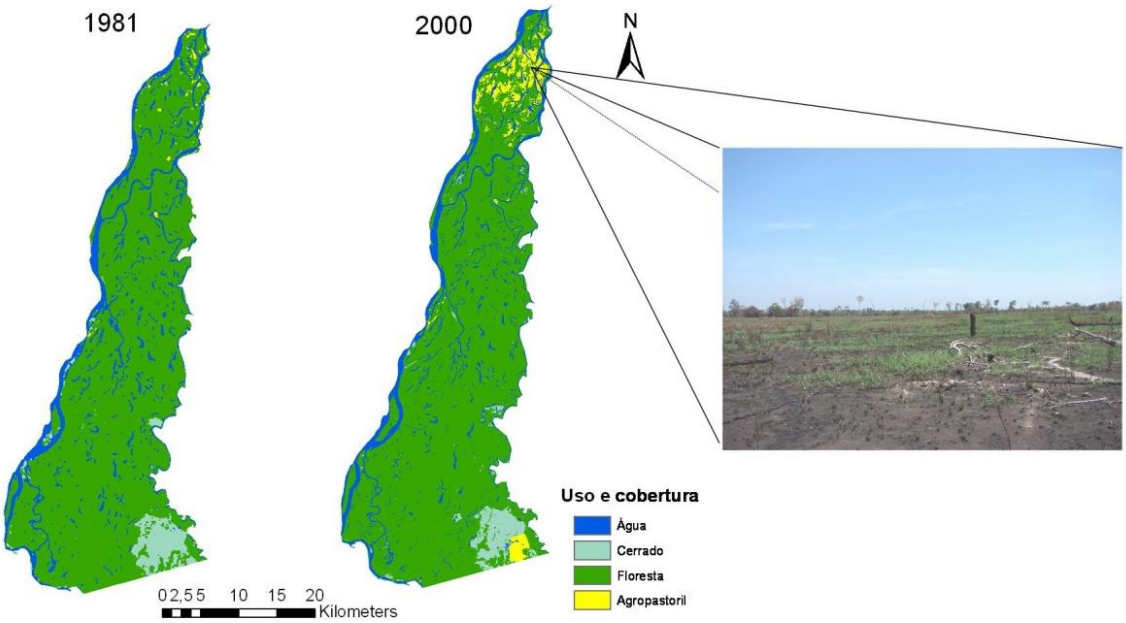

Figura 4 - Áreas desmatadas no interior do PEC nas duas datas analisadas e foto da área

As áreas desmatadas dentro do PEC provavelmente foram abertas antes da criação do mesmo em 1998, mas ainda vêm sendo utilizadas, já que os problemas fundiários do parque não foram resolvidos. Essa ocupação traz diversos prejuízos para a biodiversidade local, pois com o uso do fogo para limpeza das áreas de cultivo e pastagem, este se alastra para áreas de floresta, onde dificilmente é controlado.

Grande parte das áreas de cerrado da região está muito degradada. Essas áreas são utilizadas como pastagens naturais, sendo empregado, anualmente, o fogo para eliminar a cobertura vegetal seca a fim de facilitar a rebrota com o início das chuvas. Mesmo sendo um evento natural do cerrado, a presença freqüente de fogo torna-se impactante tanto para a fauna quanto para a flora, tornando a fisionomia de cerrado cada vez mais aberta e menos diversa.

Mesmo sendo um parque relativamente antigo, o Parque Nacional do Araguaia enfrenta uma série de problemas: criação de gado no seu interior, queimadas, pesca predatória, captura de ovos de tartaruga, caça e relacionamento conflitante entre a administração do parque com os índios da região. Apesar de todos esses problemas, pode-se considerar que esta área não sofreu grandes alterações em relação ao tipo de cobertura.

Na região estudada, existem extensas áreas de campos inundáveis, principalmente dentro do PNA, utilizadas como pastagens naturais na época seca. Assim como no PEC, essas áreas são queimadas antes das primeiras chuvas, no fim do período seco, para rebrota do capim. Dessa forma, extensas áreas são queimadas quase todos os anos e o impacto desse fogo nos fragmentos florestais e nas outras fisionomias de cerrado ainda são pouco conhecidos.

Mesmo com todos esses fatores impactantes, a proporção de áreas desmatadas dentro dos parques ainda pode ser considerada pequena. Uma característica importante, e provavelmente determinante na dificuldade de ocupação da área, se deve à dinâmica de inundação da região, que se encontra dentro da planície de inundação dos rios Araguaia e Javaés. Em certos pontos desta área, a água pode subir mais de 5m em relação ao solo, dificultando o cultivo e criação de animais.

Provavelmente o histórico de conversão de áreas naturais para agropastoris no cerrado ocorre inicialmente sobre áreas de campo limpo, campo sujo e campo cerrado, devido à facilidade de acesso e ao provável uso anterior como pastagens naturais. Já nas áreas de floresta, principalmente nos estados do Mato Grosso e Pará, é necessária a derrubada da vegetação para a implantação de lavouras e pastagens. Essa conversão de áreas naturais para áreas antropizadas tende a atingir um patamar onde a matriz da paisagem não mais será composta por áreas naturais, e a presença de fragmentos de vegetação nativa passa a ocorrer de forma isolada nas unidades de conservação, que acabam funcionando como “ilhas” de biodiversidade.

Esta dinâmica, associada à resposta espectral semelhante entre áreas de pastagem e áreas de campo limpo e campo sujo, dificultam o processo de separação e identificação destas coberturas. Assim, uma vez que muitas áreas naturais são utilizadas como pastagens, é difícil determinar qual o grau de degradação destas áreas de cerrado.

2.4 Conclusões

A análise das imagens de satélite mostrou que as áreas compreendidas pelas unidades de conservação apresentaram pouca alteração na cobertura vegetal nativa.

Em relação ao PEC seria interessante analisar imagens mais recentes para avaliar, principalmente, sua efetividade na proteção das áreas de floresta alagada, que compreende quase toda área do parque, já que este havia sido criado apenas dois anos antes da última data analisada.

Além da presença das reservas, outro fator importante que dificultaria a permanência de áreas cultivadas e criação de animais na região é a dinâmica de inundação da planície do Araguaia, onde os parques estão inseridos. No entanto, para esta comprovação, seria necessário fazer uma análise em outras áreas alagáveis não protegidas.

Mais estudo a fim de subsidiar informações para o planejamento regional em relação à conservação da biodiversidade deve ser feitos com a intenção de criar corredores de ligação entre outras áreas protegidas para assegurar o fluxo gênico e a permanência das diferentes espécies da fauna e flora.

REFERÊNCIAS

ANA. **Divisão hidrográfica nacional**: região hidrográfica do Tocantins-Araguaia. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/PlanejHidrologico/pbhta/PlanoEstrategicodeRecursosHidricos/CaracterizacaodaRegiaoHidrograficaTocantins-Araguaia.pdf> Acesso em: 15 fev. 2008.

BATISTELLA, M.; MORAN, E.F. Dimensões humanas do uso e cobertura das terras na Amazônia: uma contribuição do LBA. **Acta Amazonica,** Manaus, v.35, p.239-247, 2005.

CARDILLE, J.A.; FOLEY, J.A. Agricultural land-use change in Brazilian Amazonia between 1980 and 1995: Evidence from integrated satellite and census data. **Remote Sensing of Environment,** New York, v.87, n.4, p.551-562, nov 2003.

FERREIRA, L.G.; YOSHIOKA, H.; HUETE, A.; SANO, E.E. Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in the Brazilian Cerrado: An analysis within the Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA). **Remote Sensing of Environment,** New York, v.87, n.4, p.534-550, nov 2003.

HANADA, L.C. **Mudança no uso e cobertura do solo na fronteira agrícola da Amazônia Ocidental Bacia do Ji-Paraná – Rondônia**. 2004. 74p. Dissertação

(Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MANTOVANI, J.E.; PEREIRA, A. Estimativa da integridade da cobertura vegetal do Cerrado/ Pantanal através de dados TM/Landsat. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998. Santos. **Anais...** Santos, 1998. p. 1455-1466.

MARTINS, I.C.M.; BRITO, C.F.P.; MARTINS, A.K.E.; VIANA, R.H.O. Análise temporal da dinâmica do uso e cobertura da terra nas Fazendas Lago Verde e Barreirinhas, localizada no município de Lagoa da Confusão – TO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2007. p. 2833-2839.

QUESADA, C.A.; MIRANDA, A.C.; HODNETT, M.G.; SANTOS, A.J.B.; MIRANDA, H.S.; BREYER, L.M. Seasonal and depth variation of soil moisture in a burned open savanna (campo sujo) in central Brazil. **Ecological Applications,** Tempe, v.14, n.4, p.S33-S41, aug 2004.

SANO, E.E.; FERREIRA, L.G.; HUETE, A.R. Synthetic aperture radar (L band) and optical vegetation indices for discriminating the Brazilian savanna physiognomies: A comparative analysis. **Earth Interactions,** Boston, v.9, p.1-15, 2005.

SEPLAN. **Atlas do Tocantins:** subsídios à gestão e planejamento territorial. Palmas: SEPLAN, 2008. 62 p.

SKOLE, D.; TUCKER, C. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988. **Science,** Washington, v.260, n.5116, p.1905-1910, jun 1993.

3 MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DO SOLO DAS ÚLTIMAS QUATRO DÉCADAS NA BACIA DO MÉDIO RIO ARAGUAIA, BRASIL CENTRAL

Resumo

Os biomas Cerrado e Amazônia vêm sofrendo mudanças rápidas e significativas, na cobertura e uso do solo, devido, principalmente, ao desenvolvimento associado à expansão da agricultura. Essas mudanças estão diretamente relacionadas com diversos problemas ambientais que podem causar alterações em escalas globais, regionais ou locais. Desta forma, neste trabalho avaliamos as mudanças na cobertura e uso do solo do médio rio Araguaia nas últimas quatro décadas, como conseqüência da expansão da fronteira agrícola na região. Os mapas de uso e cobertura do solo da região foram obtidos através do processamento digital de cenas do satélite Landsat-2, sensor MSS (Multispectral Scanner System) e cenas do Landsat-5, sensor TM (Thematic Mapper) de 1975, 1985, 1996 e 2007, pelo método de classificação híbrida. O mapeamento apresentou uma acurácia geral de 85%. A quantidade de área perdida das três classes de cobertura nativa (floresta, cerrado aberto e cerrado *stricto*), ao longo destes 32 anos analisados, foi semelhante, indicando que o desmatamento ocorreu de forma homogênea na paisagem, totalizando uma redução de 26% da cobertura nativa, durante este período, resultado da expansão das áreas agropastoris.

Palavras-chave: Floresta tropical; Cerrado; Classificação híbrida; Expansão agrícola

LAND USE LAND COVER MAPPING OF THE LAST FOUR DECADES IN THE MIDDLE ARAGUAIA RIVER BASIN, CENTRAL BRAZIL

Abstract

The Cerrado and Amazon biomes in Brazil have suffered rapid and significant changes in land use and land cover. These changes were caused mainly by the development associated with the agriculture expansion, which is directly related to several environmental problems that can have global, regional and local impacts. Thus, the purpose of this study was to assess land use and land cover changes on the middle Araguaia River basin for the last four decades, as a result of agricultural expansion in the region. Land use and land cover maps of the region were obtained through digital processing of Landsat-2 MSS (Multispectral Scanner System) and Landsat-5 TM (Thematic Mapper) scenes of 1975, 1985, 1996 and 2007, using hybrid classification. The mapping showed an overall accuracy of 85%. The amount of lost area of the three native classes of vegetation (forest, open cerrado and cerrado *stricto*), over the 32 years studied, was similar, indicating that deforestation occurred homogeneously in the landscape, with a total reduction of 26% in native coverage, due to the agricultural and pasture expansion.

Keywords: Tropical Forest; Cerrado; Hybrid classification; Agricultural expansion

3.1 Introdução

A Floresta Amazônica brasileira e o Cerrado cobrem juntos mais de 7.10^6 km² da América do Sul e possuem uma elevada diversidade, em termos de composição de espécies, fisionomias de ecossistemas, regimes de distúrbios e atividades humanas (ASNER et al., 2005).

A cobertura do solo indica o estado físico da terra, incluindo os tipos materiais terrestres presentes na superfície (vegetação, água, entre outros) e a quantidade destes. Já o uso do solo esta relacionada às atividades humanas ligadas a ocupação da terra (TURNER; MEYER, 1994). As mudanças na cobertura e uso do solo estão diretamente relacionadas com diversos problemas ambientais que podem causar alterações em escalas locais, regionais e globais. A retirada da floresta, por exemplo, e sua substituição por culturas afetam o clima local, regional e global devido à modificação das trocas de energia e materiais que ocorrem na superfície da terra (IPCC, 2007).

Os processos de colonização na Amazônia têm atraído considerável atenção nos últimos trinta anos, uma vez que as mudanças na cobertura e uso do solo estão associadas à apropriação da terra (BATISTELLA; MORAN, 2005). A fase mais intensa de ocupação desta região teve início na década de 1970 com a inauguração da rodovia Transamazônica. Embora áreas extensas ainda permaneçam intactas, a taxa de perda da floresta é muito elevada, em especial no “arco do desmatamento”, ao longo das bordas sul e leste da Floresta Amazônica.

O Cerrado brasileiro é o bioma que, atualmente, vem sofrendo a mais rápida conversão na cobertura do solo observada no Brasil, superando aquela da Floresta Tropical Amazônica (FERREIRA et al., 2003; SANO; FERREIRA; HUETE, 2005). Dos cerca de 2 milhões de km^2 do território brasileiro cobertos originalmente pelo Cerrado, aproximadamente 65% já haviam sofrido alguma alteração até 1993 (MANTOVANI; PEREIRA, 1998). O mapeamento mais completo e recente de todo bioma Cerrado equivale ao ano de 2002, quando foi verificado que um total de 80 milhões de hectares já havia sido convertido, principalmente, em pastagens plantadas e culturas agrícolas, no cerrado (SANO et al., 2010). Além disso, os empreendimentos do Programa de

Aceleração do Crescimento (PAC), criado em 2007, ligados à melhoria de infraestrutura já executaram, de forma legal, o desmatamento de 730 km² para o avanço de suas obras, localizadas principalmente na Amazônia, Cerrado e Caatinga (SCOLESE, 2010). Essas obras ainda poderão ter fortes consequências principalmente ligadas a pavimentação e criação de novas rodovias, as quais abrem caminho para uma série de novas ocupações.

O mapeamento e monitoramento das fisionomias de cerrado e das áreas convertidas são importantes, não apenas para subsidiar a seleção de novas áreas de conservação, mas também para promover um uso mais sustentável do solo e aumentar o entendimento da dinâmica de alterações no Cerrado e seu impacto no balanço do carbono, ciclagem de nutrientes e recursos hídricos (ASNER et al., 2005).

Já foi verificado que a intensa ocupação do solo na bacia do alto rio Araguaia resultou em impactos indiretos no médio Araguaia, trecho onde o rio é muito dinâmico, causando mudanças morfológicas significativas no seu leito nos últimos 40 anos (LATRUBESSE; STEVAUX, 2006).

A construção de uma série histórica de mapas de uso e cobertura do solo, utilizando imagens de satélite, passou a ser possível a partir da década de 70 com o lançamento do satélite Landsat, permitindo o estudo de diversos aspectos do nosso planeta e a avaliação da dinâmica de alterações causadas por processos naturais ou pelas práticas humanas (NASA, 2010). O sensoriamento remoto é certamente a alternativa mais apropriada para estudar o funcionamento de grandes biomas como o Cerrado e a Amazônia (ASNER et al., 2005) e o mapeamento do uso e cobertura do solo serve de base para o entendimento de vários processos relacionados ao desmatamento.

Com isso, o objetivo deste trabalho foi mapear o uso e cobertura do solo das últimas quatro décadas (1975, 1985, 1996, e 2006) na região do médio rio Araguaia a fim de fornecer subsídio para um melhor entendimento do grau de conservação da vegetação local e do processo de ocupação da área.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Descrição da área de estudo

A área selecionada para este trabalho compreende o trecho médio da bacia do rio Araguaia, ocupando uma área de 166.000 km² situados na faixa de transição entre os biomas Cerrado e Floresta Amazônica, abrangendo parte dos estados do Tocantins, Mato Grosso, Pará e Goiás, no Brasil central (Figura 5).

O cerrado compõe a vegetação dominante da região de estudo, com suas diferentes fisionomias (RIBEIRO; WALTER, 1998): Campo Limpo, Campo Sujo, o qual pode ser seco, úmido e com murunduns (formações campestres); Cerrado Ralo e Cerrado Típico (Cerrado Sentido Restrito); Cerrado Denso (formações arbustivo-arbóreas) e Cerradão, Mata Seca e Mata de Galeria (formações florestais). Nas áreas periodicamente inundáveis, como a Ilha do Bananal (Figura 5), ocorrem formas rasteiras e abertas de vegetação como Campo Sujo Úmido, Campo Sujo com murunduns e Mata de Galeria às margens dos rios, enquanto em zonas mais altas ocorrem formações de Cerradão e Floresta Aluvial com dossel emergente (DIEGUES, 2002). Em relação à fisionomia de Floresta Tropical, a área de estudo é basicamente dominada por Floresta Ombrófila Aberta (IBGE, 2004).

Em termos geológicos, a região do médio rio Araguaia é caracterizada por uma bacia sedimentar Quaternária bem desenvolvida, denominada de Bacia Bananal, com aproximadamente 106.000 km². Na porção norte desta bacia sedimentar ocorre a Ilha do Bananal, considerada a maior ilha fluvial do mundo.

Em relação ao clima, duas estações são nitidamente marcadas na região de estudo: o verão chuvoso (de novembro a abril) e o inverno seco (de maio a outubro). A precipitação média anual varia de 1600 a 2100 mm/ano e a temperatura média anual é de 28º C (SEPLAN, 2008).

Na região há predomínio de plintossolos e solos concrecionários, ocorrendo também solos hidromórficos, latossolos e areias quartzosas (SEPLAN, 2008). Os dois tipos de solos predominantes na área estudada apresentam limitações em relação à produção agrícola, principalmente, devido à má drenagem e à presença de concreções ferruginosas, respectivamente (COUTINHO, 2005).

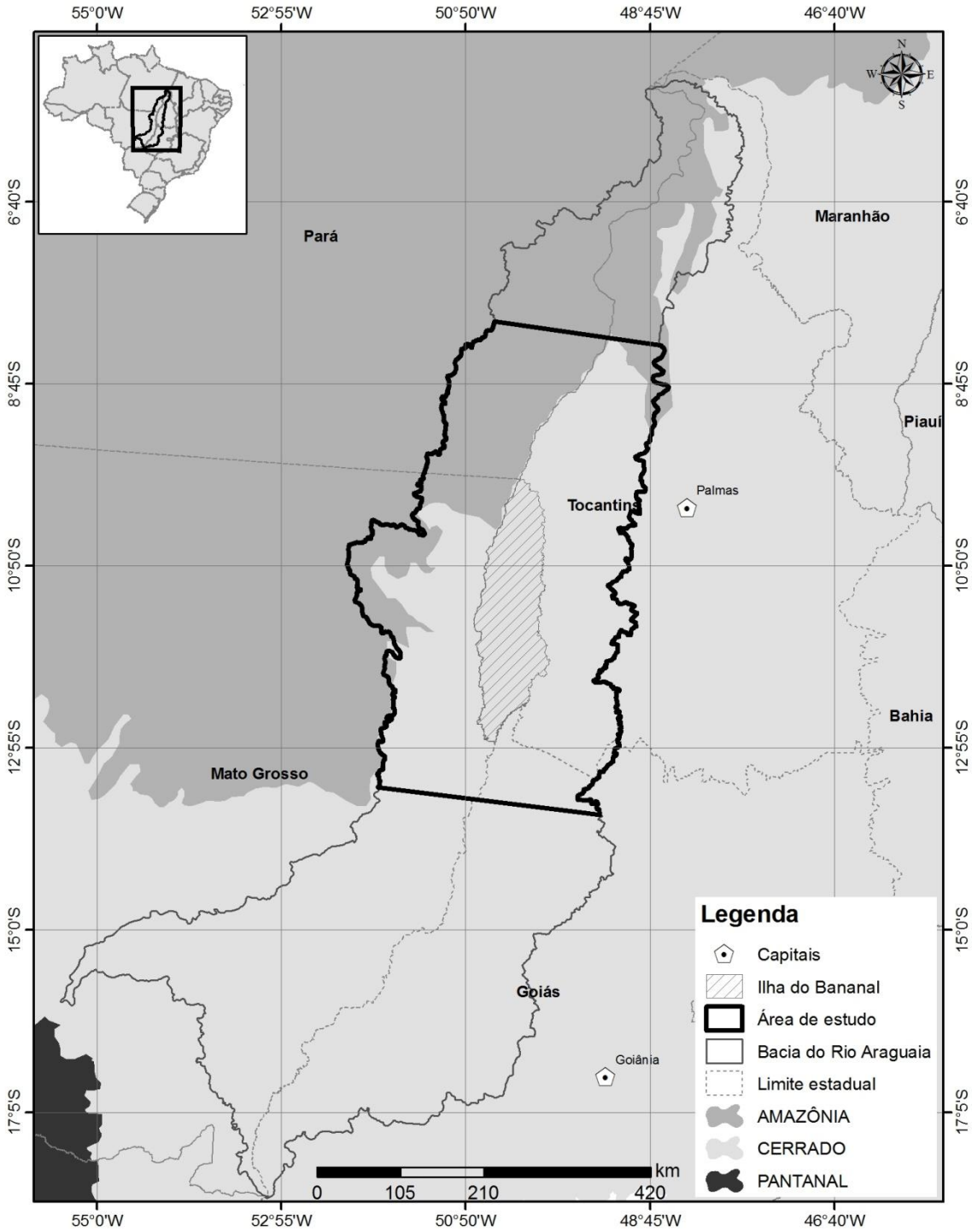

Figura 5 – Localização da área de estudo no Brasil, em relação à bacia hidrográfica do Rio Araguaia e os Biomas Cerrado e Floresta Amazônica

A principal atividade econômica da região é a pecuária, que ocupa a maioria das áreas produtivas e se dá de duas maneiras: em pastos plantados e em pastos naturais.

As áreas inundáveis, dominantes na planície do Bananal, sustentam razoável carga animal na época seca, graças ao seu lençol freático superficial e à fertilização proporcionada pelos sedimentos depositados durante as inundações (DIEGUES, 2002).

A agricultura na região hidrográfica do Tocantins-Araguaia é, principalmente, voltada para a produção de soja, arroz, milho, feijão e mandioca. O cultivo da soja na região iniciou-se em meados da década de 80. Hoje, vem ocupando grande importância no contexto regional principalmente em Goiás e Mato Grosso e, de forma menos expressiva, no Pará. O arroz constitui uma lavoura importante na região, concentrando-se nos estados do Tocantins e Goiás. O feijão, a mandioca o milho são, em geral, culturas tradicionais típicas de pequenos produtores (ANA, 2007).

A área estudada ainda abrange a maioria das unidades de conservação e terras indígenas da bacia do rio Araguaia, sendo 10 terras indígenas, cinco unidades de conservação de proteção integral e duas de uso sustentável, somando quase 50 mil km² ou cerca de 30% da área.

3.2.2Aquisição das imagens

Com o objetivo de padronizar o mapeamento da cobertura e uso do solo entre 1975 e 2007, em relação à resolução espacial e espectral, buscou-se utilizar o máximo de imagens possível de um mesmo satélite. Entretanto, devido ao extenso período desejado para a série histórica foi necessária a utilização de cenas dos satélites Landsat-2, sensor MSS (Multispectral Scanner System), bandas 4, 5, 6 e 7 para o ano de 1975 e Landsat-5, sensor TM (Thematic Mapper Data) referentes aos anos de 1985, 1996, e 2007. Estas foram obtidas através do portal de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2007).

Foram selecionadas imagens que correspondem aos meses de seca, devido à menor incidência de nuvens neste período Dentre estas, foram escolhidas cenas que apresentavam as melhores condições atmosféricas, sendo descartadas, na medida do possível, aquelas que apresentaram algum tipo de problema, como faixas de ruído ou a falta de informação da energia refletida em uma área no terreno, geralmente provocada por uma falha momentânea no sistema de registro da energia (MOREIRA, 2005).

Também foram descartadas cenas que não apresentaram continuidade com a imagem subseqüente, neste caso, ficando uma grande faixa não imageada entre as duas cenas.

A Figura 6 mostra a localização órbita-ponto das 12 cenas Landsat-5 TM utilizadas e a posição destas em relação área estudada. As informações das datas de passagem de todas as cenas utilizadas são apresentadas na Tabela 1.

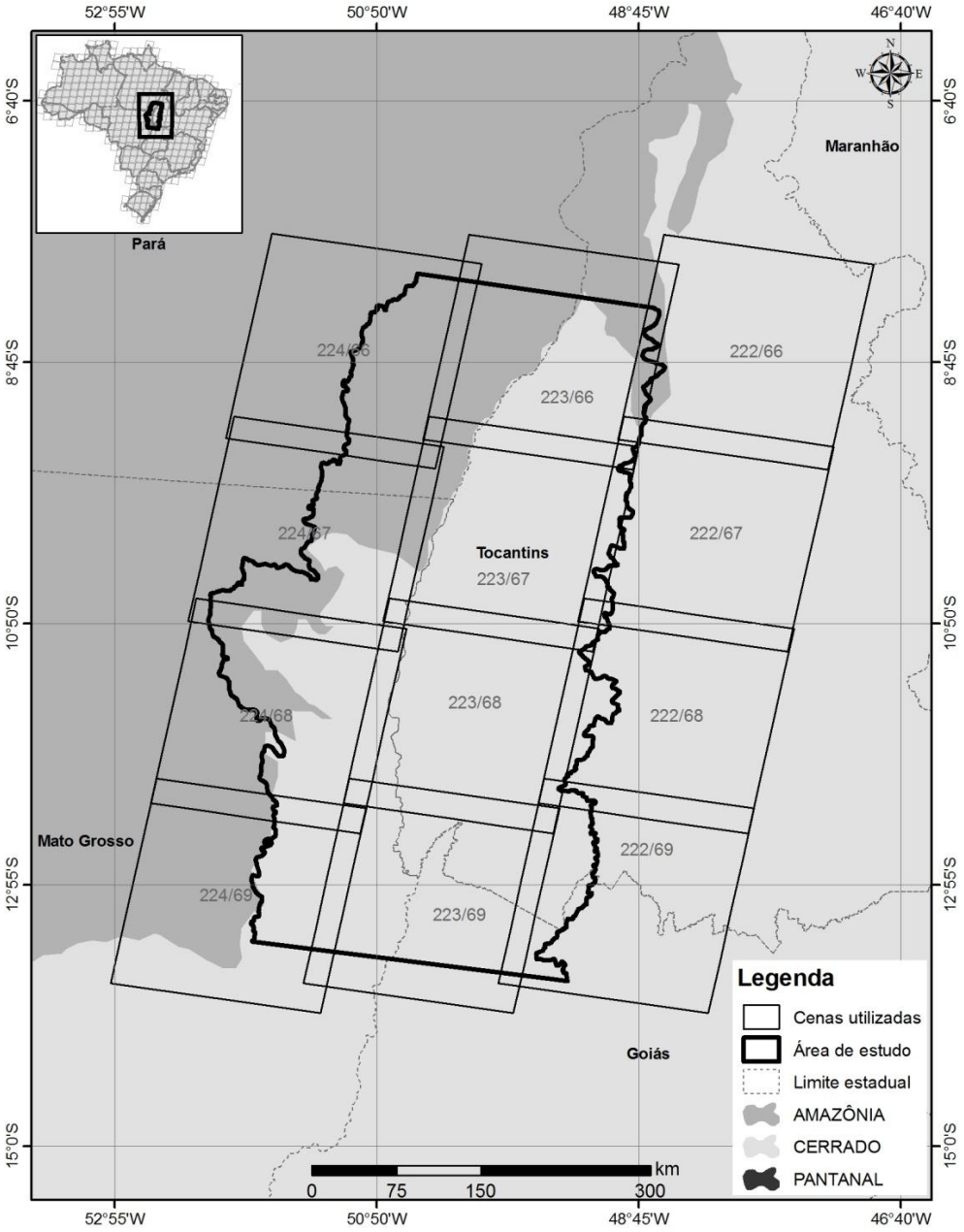

Figura 6 – Localização e órbita-ponto das cenas Landsat-5 TM, utilizadas para cobrir a área do trecho médio do Rio Araguaia

Tabela 1 – Órbita/ponto e data de passagem das cenas Landsat-2 MSS e Landsat-5 TM utilizadas para o mapeamento da região do médio rio Araguaia

Ano	Órbita/Ponto (Landsat-2 MSS)					
	239/66	239/67	239/68	239/69	240/66	240/67
1975	20 ago.	20 ago.	16 set.	20 ago.	08 set.	21 ago.
	Órbita/Ponto (Landsat-5 TM)					
	222/66	222/67	222/68	222/69	223/66	223/67
1985	23 jul.	21 jun.	21 jun.	21 jun.	14 jul.	14 jul.
1996	05 jul.	19 jun.	05 jul.	05 jul.	10 jun.	09 mai.
2007	02 jun.	02 jun.	02 jun.	02 jun.	09 jun.	09 jun.

Ano	Órbita/Ponto (Landsat-2 MSS)					
	240/68	240/69	241/67	241/68	-	-
1975	03 ago.	03 ago.	19 jul.	15 mai.	-	-
	Órbita/Ponto (Landsat-5 TM)					
	223/68	223/69	224/66	224/67	224/68	224/69
1985	14 jul.	14 jul.	22 ago.	22 ago.	22 ago.	03 jun.
1996	09 mai.	09 mai.	03 jul.	03 jul.	03 jul.	03 jul.
2007	09 jun.	09 jun.	16 jun.	16 jun.	16 jun.	16 jun.

3.2.3Pré-processamento e classificação das imagens

O pré-processamento, classificação digital e demais correções das cenas foram realizados com o auxílio do Processador de Imagens ERDAS IMAGINE, versão 9.1.

Inicialmente, todas as cenas foram projetadas em um sistema único Universal Transversa de Mercator, esferóide Sul Americano, 1969, zona 22.

Para construção de uma série histórica de mapas de uso e cobertura do solo de extensas áreas, que abrangem mais de uma imagem de satélite, além de ser necessária uma sobreposição exata entre as cenas subseqüentes de um mesmo período, é também importante que a mesma ocorra entre as cenas das diferentes

datas, as quais podem ser provenientes de diferentes sensores, sendo necessária a correção geométrica. Tal correção busca eliminar os erros que podem ser produzidos por diferentes fontes, tais como: rotação da terra durante o processo de imageamento, tamanho e forma da célula, variações de velocidade e altitude da plataforma e variações topográficas (JENSEN, 1996). Além disso, a correção geométrica visa eliminar dois tipos de erros que, freqüentemente, ocorrem nos dados de satélites: os devidos ao movimento do satélite e aqueles determinados pela curvatura da Terra (MOREIRA, 2005). Desta forma, mesmo cenas de um mesmo mês, porém com dias de passagem diferentes, já apresentam um pequeno deslocamento, sendo necessária a correção geométrica para reparar o posicionamento das imagens.

Todas as imagens foram registradas e corrigidas geometricamente em relação às cenas ortorretificadas dos satélites Landsat-5 e Landsat-7, referentes aos anos de 1992 e 2000, respectivamente, obtidas junto ao *Global Land Cover Facility* (GLCF, 2008). Estas correções foram feitas através da extensão *AutoSync* do Processador de Imagens ERDAS IMAGINE utilizando o modelo polinomial de 3ª ordem e reamostragem pelo vizinho mais próximo, considerando valores de erro (RMSE - *Root Mean Square Error*) inferiores a 0,5.

A seguir foram construídos os mosaicos para cada conjunto de cenas das datas estipuladas. Para cada ano foi utilizada uma cena de referência para o ajuste do histograma das demais, a fim de obter um mosaico mais homogêneo, sem alteração de cores entre as imagens, facilitando o processo classificação.

No entanto, só foi possível obter um ajuste adequado para todo o conjunto de imagens no ano de 2007. Nos outros conjuntos de imagens não foi possível obter um mosaico completo de todas as cenas, as quais apresentaram consideráveis diferenças da coloração entre elas. Isto prejudica e dificulta o processo de classificação, já que um mesmo alvo irá apresentar diferentes valores espectrais, dificultando ainda mais a separação das classes. Desta forma, a solução encontrada foi juntar o maior número de cenas que apresentaram um ajuste adequado entre as cores e as cenas que não se ajustam foram classificadas separadamente e depois unidas em um mosaico único para a data.

A classificação digital das imagens foi realizada através de uma metodologia híbrida, envolvendo uma classificação não-supervisionada seguida de uma classificação supervisionada.

Na primeira etapa, foi utilizado o algoritmo ISODATA, para obter diferentes grupos de classes com respostas espectrais semelhantes, reduzindo a ocorrência de erros artificiais e selecionando os grupos mais apropriados para processamentos posteriores. Nesta etapa foi utilizado um número três vezes maior do que a quantidade de classes desejada. Cada uma dessas classes criadas pela classificação não supervisionada foi checada em relação à respectiva cobertura visualizada nas cenas e então nomeada. As classes que representavam amostras puras da classe desejada foram agrupadas e as classes que apresentaram misturas entre classes foram reclassificadas de forma supervisionada utilizado o algoritmo de máxima verossimilhança, seguindo as classes de uso do solo propostas, visando o aumento de acurácia da classificação (YU; NG, 2006).

A legenda foi composta de sete classes, sendo três de vegetação nativa, as quais foram separadas de acordo com a densidade arbórea. Desta forma, a classe floresta incluiu fisionomias de Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual, Mata de Galeria e Cerradão. A classe cerrado *stricto* compreende áreas de Cerrado Denso e Cerrado Típico e, finalmente, áreas de cerrado aberto incluem Cerrado Ralo, Cerrado Rupestre, Campo Sujo, Campo Sujo Úmido e Campo Sujo com murunduns, seguindo a classificação das fisionomias proposto por Ribeiro e Walter (1998). Além dessas classes, foram consideradas também as classes: agropastoril, incluindo áreas de pastagem, agricultura e solo exposto; áreas queimadas; áreas urbanas, nuvens.

3.2.4 Levantamento de campo para obtenção de pontos de controle

Foram realizadas duas viagens de campo para reconhecimento da área e aquisição de pontos para verdade terrestre na região de estudo, ambas efetuadas na época seca para facilitar a validação das imagens de satélite utilizadas, as quais correspondem a este mesmo período, diminuindo assim o erro causado pela sazonalidade nas fisionomias vegetais. A primeira delas ocorreu em setembro de 2007, percorrendo o

trecho do rio Javaés na parte norte da Ilha do Bananal e sul do Parque Estadual do Cantão e teve como objetivo principal propiciar um conhecimento prévio da área, de modo a aprimorar a identificação de certas coberturas do solo e auxiliar no processo de classificação.

O segundo levantamento ocorreu em outubro de 2008. Os pontos foram coletados ao longo de todo trecho médio da bacia do Rio Araguaia, na região ao redor da Ilha do Bananal, abrangendo parte dos estados do Mato Grosso, Pará, Tocantins e Goiás. Foram coletados ao todo 287 pontos distribuídos nos diferentes usos e cobertura do solo. A maioria deles corresponde a áreas agropastoris, já que estas áreas normalmente se encontram adjacentes às estradas (Figura 7).

Os pontos tiveram sua localização registrada com um receptor de GPS e em cada local, foram ainda efetuados os registros fotográficos e descritivos da paisagem, com ênfase na cobertura e uso do solo.

As maiores dificuldades enfrentadas para a obtenção dos pontos de controle na área de estudo se devem às péssimas condições das estradas e a falta de estradas públicas, principalmente, no estado de Mato Grosso, onde grande parte das vias de acesso está localizada dentro de propriedades particulares, onde a entrada é restrita, limitando a checagem de diversas áreas.

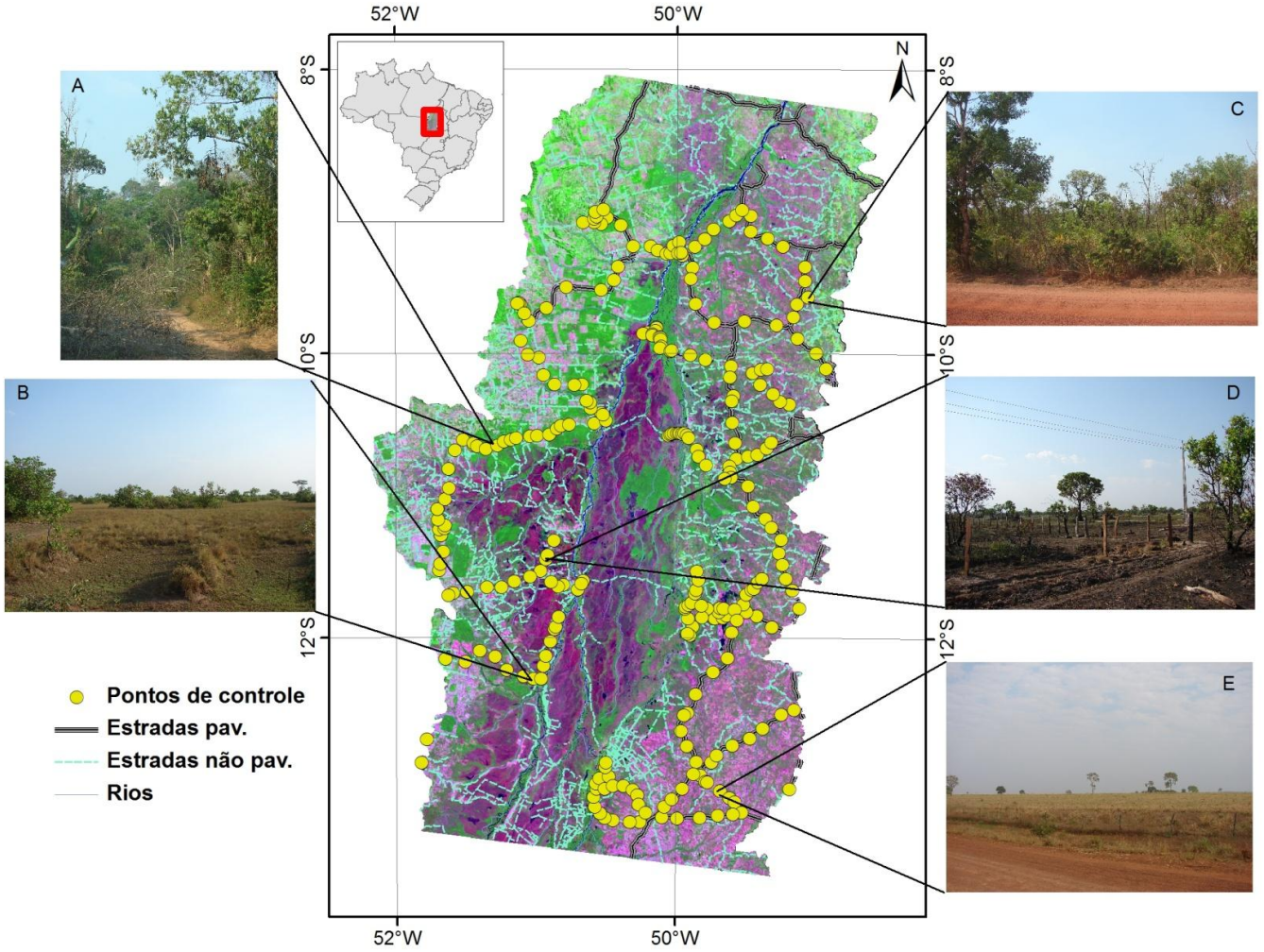

Figura 7 - Pontos coletados para teste de acurácia do mapa de cobertura e uso do solo no trecho médio da bacia do Rio Araguaia 2007, mostrando as diferentes coberturas e usos considerados no mapeamento. A) Floresta; B) Cerrado aberto; C) Cerrado *stricto*; D) Área queimada e E) Agropastoril

3.2.5Teste de acurácia da classificação

A maneira mais comum para expressar a precisão de mapas, está na declaração da porcentagem da área mapeada que foi corretamente classificada quando comparada com dados de referência ou "verdade de campo". Denominada Exatidão Global, esta declaração é normalmente derivada de uma contraparte da classificação correta gerada por amostragem dos dados classificados e expressa na forma de matriz de erro, algumas vezes denominada de matriz de confusão ou tabela de contingência (STORY; CONGALTON, 1986). Jensen (1996) sugeriu que a análise comparativa da precisão local, através da matriz de erro, pode fornecer métodos mais eficientes para comparar a precisão de mapeamentos de uso da terra do que uma simples comparação de precisão através de uma estimação global. Entretanto, Gong e Howarth (1990) utilizaram o índice Kappa (K) como uma medida de precisão importante a ser associada à matriz de erro, por representá-la inteiramente, isto é, considerando todos os elementos da matriz e não apenas aqueles que se situam na diagonal principal, como acontece com o índice de Exatidão Global.

Desta forma, para verificar se as informações que compõem os mapas resultantes da classificação possuem uma confiabilidade temática, é necessário avaliar a acurácia dos mesmos. O teste de acurácia foi realizado no software ERDAS IMAGINE 9.2, o qual calcula a acurácia do usuário e do produtor, a exatidão global e índice kappa, entre as informações derivadas do mapa classificado e informações de campo.

Os valores de acurácia do usuário (erros de inclusão) e acurácia do produtor (erros de omissão) mostram, individualmente, a eficácia da classificação para cada classe. O erro de inclusão está relacionado com as células que são incluídas em uma determinada classe, mas que na verdade pertencem à outra. O erro de omissão mostra as células que foram omitidas da classe correta sendo classificadas em outras classes.

O valor de exatidão global mínimo geralmente utilizado, e que indica uma boa classificação, é de 85% e o valor do índice Kappa seguiu valores acima dos limites mínimos descritos na literatura para a aceitação da classificação (Tabela 2).

Tabela 2 - Valor para avaliar o grau de concordância a partir do índice Kappa

Valor do Kappa	Concordância
< 0,20	Pobre
0,21 - 0,40	Fraca
0,41 - 0,60	Moderada
0,61 - 0,80	Boa
0,81 - 1,00	Muito boa

Fonte: Adaptado de Galparsoro e Fernández (2001).

A acurácia do procedimento de classificação foi verificada em relação ao mapeamento do ano de 2007. Para tal foi realizado, uma comparação dos resultados da classificação com dados obtidos em 287 pontos de controle coletados no campo em setembro de 2007 e outubro de 2008 (Figura 7). Apenas depois de obtido um valor de acurácia satisfatório foi dado prosseguimento ao mapeamento referente às outras datas.

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Acurácia do mapeamento

A acurácia geral da classificação do mapa de 2007 foi de 85,02%, com valor do índice Kappa global de 0,75. Estes valores indicam que a classificação é aceitável (≥85%) e pode ser considerada como boa (Kappa≥0,61).

Apesar da dificuldade de separação entre áreas de pastagens e cerrado encontrados na literatura (ROBERTS et al., 2002; SANO et al., 2010), neste trabalho os menores valores de acurácia foram verificados entre as classes de cerrado.

A Tabela 3 mostra os valores obtidos na acurácia da classificação de cada uma das classes, revelando que o cerrado aberto e o cerrado *stricto* foram as que apresentaram os menores valores de acurácia do usuário e índice kappa.

O perfil espectral da Figura 8 demonstra bem a semelhança entre os valores de refletância de amostras de cerrado aberto e cerrado *stricto* para cada faixa do espectro eletromagnético, representado por cada banda do sensor TM do satélite Landsat-5.

Tabela 3 - Avaliação da acurácia do mapa de uso e cobertura do solo do médio rio Araguaia, referentes a 2007

Classes	Número total de pontos de referência	Total classificado	Corretos	Acurácia do produdor (%)	Acurácia do usuário (%)	Kappa
Água	17	18	16	94,1	88,9	0,882
Floresta	41	45	33	80,5	73,3	0,689
Cerrado aberto	27	21	14	51,8	**66,7**	**0,632**
Cerrado *stricto*	19	28	17	89,5	**60,7**	**0,579**
Agropastoril	175	167	156	89,1	93,4	0,831
Queimada	2	2	2	100	100	1
Área urbana	6	6	6	100	100	1
Total	287	287	244			

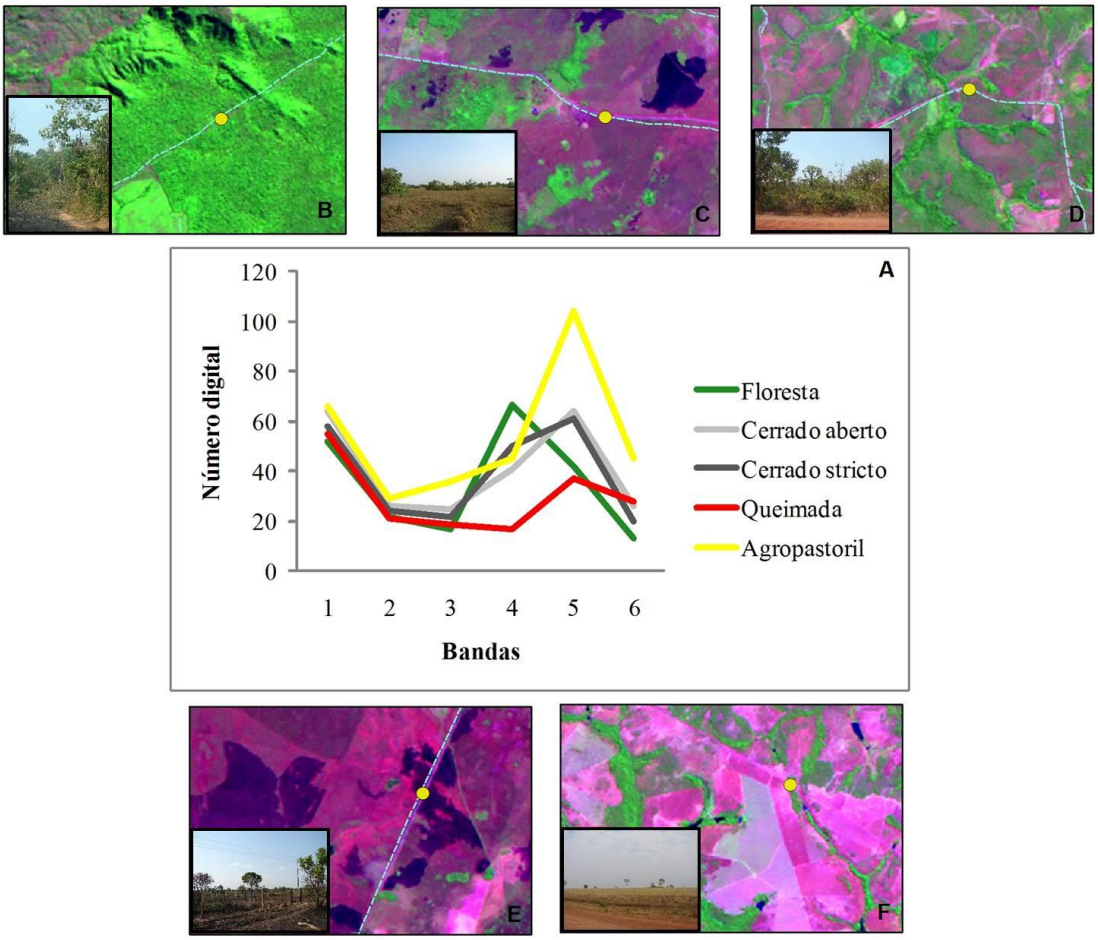

Figura 8 – A) Variação do perfil espectral entre as bandas do satélite Landsat-5/TM, no ano de 2007, para as diferentes classes de uso e cobertura do solo no trecho médio da bacia do Rio Araguaia mostrando os pontos cujas amostras foram extraídas e foto da área, onde B = Floresta; C = Cerrado aberto; D = Cerrado *stricto*; E = Área queimada e F = Agropastoril

3.3.2Mapas de uso e cobertura do solo

As Figuras 9 e 10 apresentam os mapas de uso e cobertura do solo de 1975, 1985, 1996 e 2007. Esta série histórica mostra as intensas alterações que a região sofreu durante esse período.

A análise da variação temporal das áreas cobertas por cada classe de cobertura e uso do solo indica que, no decorrer do período estudado, a matriz da paisagem era composta por floresta, seguida pelo cerrado aberto e cerrado *stricto*, respectivamente (Figura 11). Em 1975, a paisagem era dominada pela vegetação nativa, que cobria 87% da área de estudo. Deste total, 39% eram floresta tropical úmida e 48% cerrado. Por

sua vez, este último era composto por 26% de cerrado aberto e 22% *stricto*. A cobertura agropastoril nesta época ocupava apenas 8% da área. Em 1985 a cobertura nativa ocupava 85% da área, com uma redução da cobertura de floresta e cerrado *stricto* para 34% e 21%, respectivamente. Nesta mesma data ainda foram registrados o aumento do cerrado aberto para 29% e agropastoril para 12%.

A partir de 1985 a conversão da cobertura nativa para áreas agropastoris foi mais intensa, mantendo uma mesma proporção na taxa de conversão até 2007. Em 1996, a proporção de áreas agropastoris já igualava com a de ambas as fisionomias de cerrado. Nesta data, os valores de cobertura observados foram de 33%, 23%, 20% e 22% para floresta, cerrado aberto, *stricto* e agropastoril, respectivamente, mostrando a redução da cobertura nativa para 76% do total da área estudada.

Em 2007, data do último mapeamento, esses valores passaram para 31% de floresta, 20% de cerrado aberto, 13% cerrado *stricto* e 34% de cobertura agropastoril, demonstrando a conversão na matriz da paisagem, quando consideramos as três fisionomias separadas, totalizando 64% de cobertura nativa na área mapeada. Desta forma, ao longo dos 32 anos analisados, foi verificada uma redução de mais de 37 mil km² de vegetação nativa, resultado do crescimento de 26% de áreas agropastoris entre 1975 e 2007.

Apesar da verificação de valores semelhantes de redução das classes de cobertura nativa, a fisionomia mais afetada ao longo destes 32 anos analisados foi o cerrado *stricto*, o qual sofreu uma redução de aproximadamente 9%, seguido pela floresta (8%) e pelo cerrado aberto (6%). As áreas agropastoris ocuparam, quase que com uma mesma proporção, todas as fisionomias de vegetação nativa.

Entre 1975 e 1996 é possível observar um incremento da área coberta por cerrado aberto. Estas mudanças foram avaliadas com operações de sobreposição entre os mapas destas datas efetuadas no SIG ARCGIS.

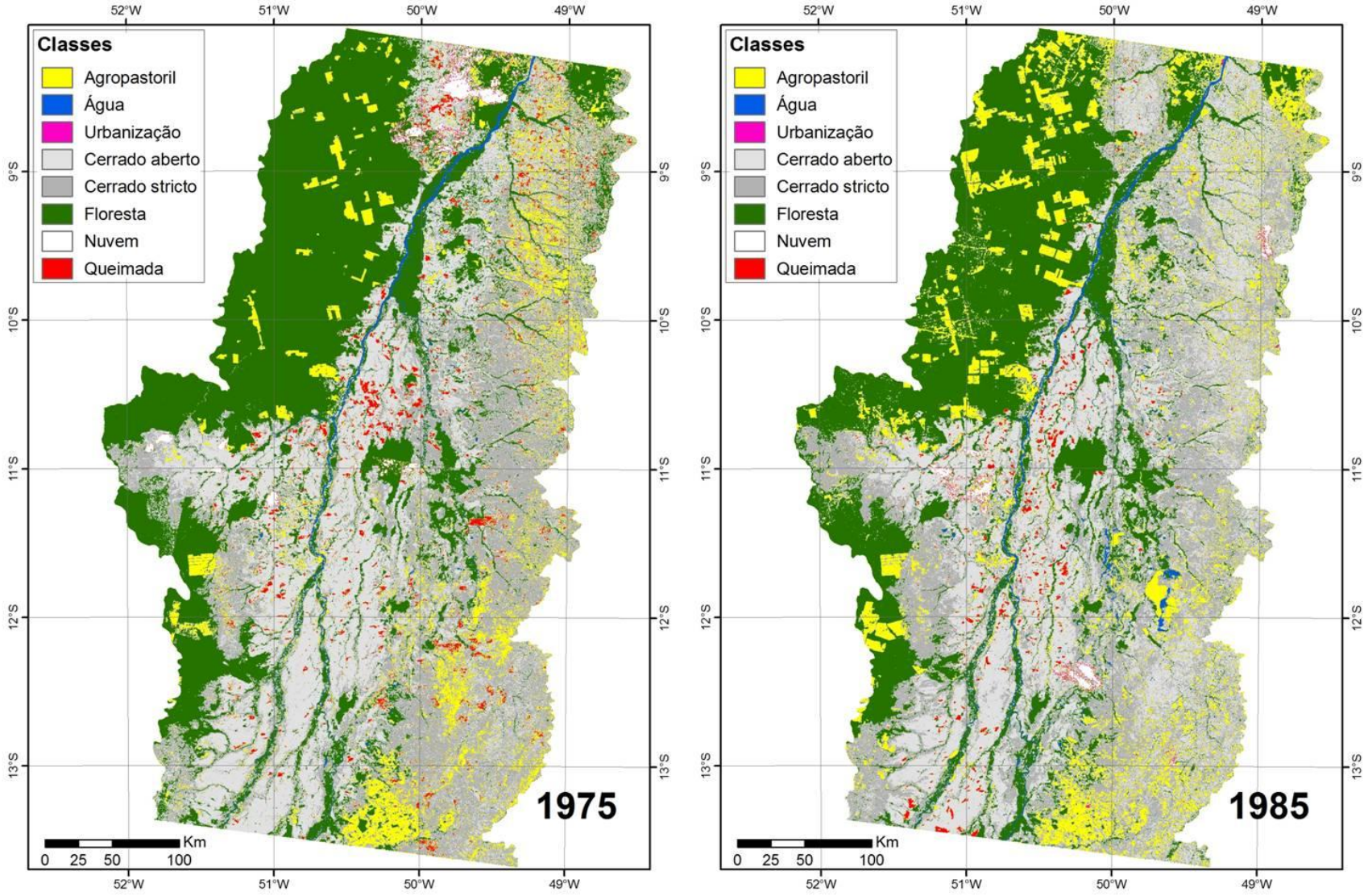

Figura 9 - Mapas de uso e cobertura do solo demonstrando a paisagem em 1975 e 1985 no trecho médio da bacia do Rio Araguaia

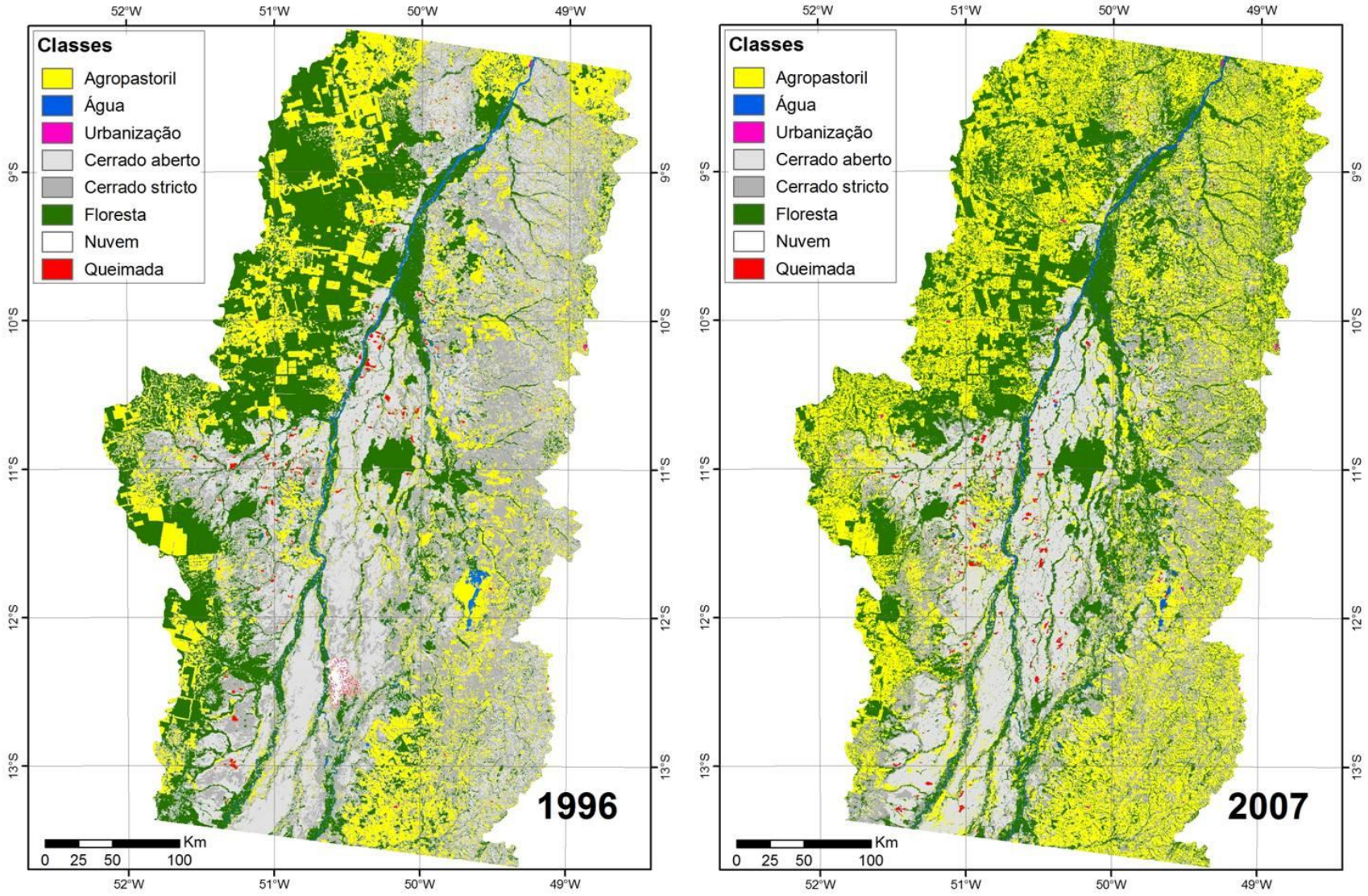

Figura 10 - Mapas de uso e cobertura do solo demonstrando a paisagem em 1996 e 2007 no trecho médio da bacia do Rio Araguaia

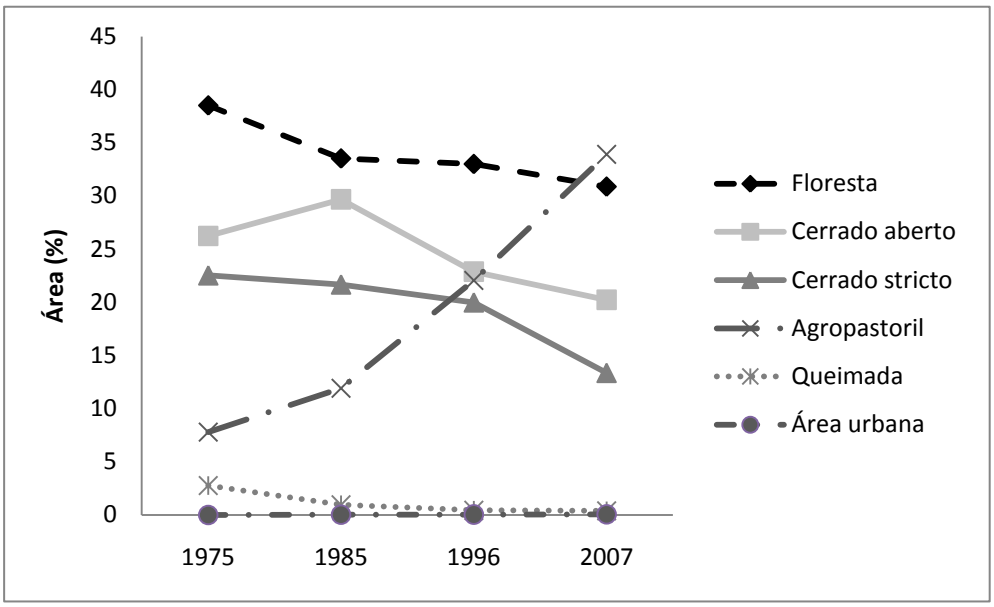

Figura 11 – Variação das áreas de cada classe ao longo do tempo

Foi verificado que, aproximadamente 17.500 km², representados por floresta, cerrado *stricto* e agropastoril, em 1975, foram classificadas como cerrado aberto em 1985, enquanto cerca de 13.100 km² de cerrado aberto foram convertidos para essas outras classes de coberturas em 1985. Portanto, através destes cálculos foi verificado um aumento de 4.400 km² de cerrado aberto por conseqüência da transformação de floresta, cerrado *stricto* e agropastoril nesta classe. Destas conversões, a maior contribuição foi do cerrado *stricto* (2.634 km²), seguido das áreas agropastoris (950 km²). Esta alteração pode estar relacionada a dois principais fatores: efeito sazonal da vegetação ou degradação destas áreas.

Segundo dados do PRODES (INPE, 2009), entre 1978 e 2008, mais de 523 mil km² de floresta foram perdidos na Amazônia Legal, o que equivale a aproximadamente 10% do total de sua cobertura nativa. A comparação desta proporção com a deste estudo mostra que a taxa de desmatamento nesta região é maior do que a observada na Amazônia Legal brasileira. No entanto, apesar da taxa de desmatamento ser maior que a da Floresta Tropical úmida, esta ainda é menor que a taxa de conversão do cerrado, o qual em 2002 já havia perdido 39% de sua cobertura nativa (SANO et al., 2010).

Em mapeamento do uso e cobertura do solo realizado para o cerrado, no ano de 2002, Sano et al. (2010), verificou que o Tocantins, junto com Piauí e Maranhão, são os estados com maior índice de preservação do cerrado, sendo que este índice está

relacionado a elevada distância dos grandes centros consumidores. Além deste trabalho, Machado, et al. (2004) caracterizaram a região da Ilha do Bananal como um dos grandes blocos de vegetação nativa ainda existentes no cerrado, sendo que estes, estão, na maioria, relacionados a fatores regionais que dificultam ou impossibilitam a implantação de grandes projetos agrícolas.

No caso da região estudada estes fatores são a baixa fertilidade dos solos, presença de diversas áreas protegidas e regime de inundação, que restringem e dificultam a implantação de culturas agrícolas. Assim as alterações foram menos intensas na parte central da área de estudo, a qual é a mais protegida.

Apesar disto, mesmo considerando a presença desses fatores, que de certa forma limitam a expansão agrícola, no município de Lagoa da Confusão (TO), localizado na área estudada, houve uma grande expansão de áreas agrícolas sobre áreas naturais de varjão e cerrado, principalmente devido à implantação de projetos hidroagrícolas em áreas alagáveis e pastagens (MARTINS et al., 2007).

Na área de estudo, observa-se uma tendência de conversão de plantações e pastagens naturais para pastagens plantadas, principalmente, nas regiões leste do Pará e norte do Tocantins entre 1980 e 1995, enquanto no Mato Grosso foi verificado a conversão, principalmente, de pastagens naturais para culturas anuais e pastagens plantadas (CARDILLE; FOLEY, 2003).

3.4 Conclusões

A região do médio Araguaia vem sofrendo, nas últimas décadas, um intenso processo de conversão da vegetação nativa, com uma perda de 26% da cobertura nativa no período entre 1975 e 2007. Estas conversões estão quase que igualmente distribuídas entre as três classes de cobertura nativas aqui consideradas.

Aparentemente a presença de áreas protegidas, áreas inundáveis e baixa fertilidade do solo agem de forma positiva na manutenção das áreas naturais, pois todos estes fatores estão principalmente localizados na porção central da área, região esta que menos sofreu desmatamento.

Apesar da bacia do rio Araguaia, ocupar uma grande parte do bioma Cerrado, parte da Floresta Tropical e ainda ser uma das mais importantes áreas alagáveis da América do Sul, esta ainda é uma região muito pouco estudada e que ainda possui grandes áreas cobertas por vegetação nativa, as quais vêm sendo rapidamente transformadas.

Dessa maneira, o mapeamento dessas coberturas e as mudanças que estas vêm sofrendo são importantes informações que servem de subsídio para o entendimento da dinâmica de alterações da estrutura da paisagem regional.

REFERÊNCIAS

ANA. **Divisão hidrográfica nacional**: região hidrográfica do Tocantins-Araguaia. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/PlanejHidrologico/pbhta/PlanoEstrategicodeRecursosHidricos/CaracterizacaodaRegiaoHidrograficaTocantins-Araguaia.pdf> Acesso em: 15 fev. 2008.

ASNER, G.P.; KNAPP, D.E.; COOPER, A.N.; BUSTAMANTE, M. M.C.; OLANDER, L.P.; HEIDEBRECHT, K.B. Ecosystem structure throughout the Brazilian amazon from Landsat observations and automated spectral unmixing. **Earth Interactions,** Boston, v.9, p.1-31, 2005.

BALLESTER, M.V.R.; VICTORIA, D.D.; KRUSCHE, A.V.; COBURN, R.; VICTORIA, R.L.; RICHEY, J.E.; LOGSDON, M.G.; MAYORGA, E.; MATRICARDI, E. A remote sensing/GIS-based physical template to understand the biogeochemistry of the Ji-Parana river basin (Western Amazonia). **Remote Sensing of Environment,** New York, v.87, n.4, p.429-445, nov 2003.

BATISTELLA, M.; MORAN, E.F. Dimensões humanas do uso e cobertura das terras na Amazônia: uma contribuição do LBA. **Acta Amazonica,** Manaus, v.35, p.239-247, 2005.

CARDILLE, J. A.; FOLEY, J.A. Agricultural land-use change in Brazilian Amazonia between 1980 and 1995: Evidence from integrated satellite and census data. **Remote Sensing of Environment,** New York, v.87, n.4, p.551-562, nov 2003.

COUTINHO, A.C. **Dinâmica das queimadas no estado do Mato Grosso e suas relações com as atividades antrópicas e a economia local**. 2005. 308p. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

DIEGUES, A.C.S. **Povos e águas**: inventário de áreas úmidas. São Paulo: Núcleo de apoio à pesquisa sobre populações humanas e áreas úmidas, USP, v.2. 2002. 597 p.

FERREIRA, L. G.; YOSHIOKA, H.; HUETE, A.; SANO, E. E. Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in the Brazilian Cerrado: An analysis within the Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA). **Remote Sensing of Environment,** New York, v.87, n.4, p.534-550, nov. 2003.

GALPARSOSO, L.U. FERNÁNDEZ, S.P. **Medidas de concordancia**: el índice Kappa. 2001. Disponível em: <http://www.fisterra.com/mbe/investiga/kappa/kappa.htm>. Acesso em: 20 jul. 2008.

GLCF. Earth Science Data Interface. **ESDI**. Disponível em: <http://glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml>. Acesso em: nov. 2007.

GONG, P.; HOWARTH, P.J. An assessment of some factors influencing multiespectral land-cover classification. **Photogrammetric engineering and remote sensing,** Washington, v.56, n.5, p.597-603, 1990.

HANADA, L.C. **Mudança no uso e cobertura do solo na fronteira agrícola da Amazônia Ocidental Bacia do Ji-Paraná – Rondônia**. 2004. 74p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

IBGE. **Mapa de vegetação do Brasil**. Brasil: IBGE, 2004. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/default.php>. Escala 1: 5.000.000.

INPE. Dados de satélites. **Catálogo de Imagens Landsat**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em: set. 2007.

INPE. Monitoramento da floresta Amazônica brasileira por satélite. **PRODES**. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>. Acesso em: 11 jun. 2009.

IPCC. **Climate Change 2007:** Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2007. 104 p.

JENSEN, J.R. **Introductory digital image processing:** a remote sensing perspective. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 316 p.

MACHADO, R.B.; RAMOS NETO, M.B.; PEREIRA, P.G.P.; CALDAS, E.F.; GONÇALVES, D.A.; SANTOS, N.S.; TABOR, K.; STEININGER, M. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Disponível em: <www.conservation.org.br/arquivos/RelatDesmatam**Cerrado**.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2008.

MARTINS, I.C.M.; BRITO, C.F.P.; MARTINS, A.K.E.; VIANA, R.H.O. Análise temporal da dinâmica do uso e cobertura da terra nas Fazendas Lago Verde e Barreirinhas, localizada no município de Lagoa da Confusão – TO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2007. p. 2833-2839.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa: Ed. UFV, v. 2005. 320 p.

NASA. **The Landsat program**. Disponível em: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>. Acesso em: 03 abr. 2010.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, T.M.B. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed.). **Cerrado:** ambiente e flora. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 1998. chap. p.98-106.

ROBERTS, D.A.; NUMATA, I.; HOLMES, K.; BATISTA, G.; KRUG, T.; MONTEIRO, A.; POWELL, B.; CHADWICK, O.A. Large area mapping of land-cover change in Rondonia using multitemporal spectral mixture analysis and decision tree classifiers. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres,** Washington, v.107, n.D20, p.1-8, 2002.

SANO, E.; ROSA, R.; BRITO, J.; FERREIRA, L. **Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil**. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-009-0988-4>. Acesso em: 15 fev. 2010.

SANO, E.E.; FERREIRA, L.G.; HUETE, A.R. Synthetic aperture radar (L band) and optical vegetation indices for discriminating the Brazilian savanna physiognomies: A comparative analysis. **Earth Interactions,** Boston, v.9, p.1-15, 2005.

SCOLESE, E. Desmate do PAC equivale a metade de SP. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, 19 abr. 2010.

SEPLAN. **Atlas do Tocantins:** subsídios à gestão e planejamento territorial. Palmas: SEPLAN, v. 2008. 64p.

STORY, M.; CONGALTON, R.G. Accuracy assessment: a user's perspective. **Photogrammetric engineering and remote sensing,** Washington, v.52, n.3, p.397-399, 1986.

TURNER, B.L.; MEYER, W.B. Global land-use and land-cover changes: an overview. In: MEYER, W. B.; TURNER, B. L. (Ed.). **Changes in land use and land cover:** a global perspective. Cambridge: UCAR, 1994. chap. 1. p.3-10.

YU, X.; NG, C. An integrated evaluation of landscape change using remote sensing and landscape metrics: a case study of Panyu, Guangzhou. **International Journal of Remote Sensing,** London, v.27, n.5/6, p.1075-1092, 2006.

4 ANÁLISE TEMPORAL DA FRAGMENTAÇÃO DA PAISAGEM EM UMA ÁREA DE TRANSIÇÃO FLORESTA TROPICAL ÚMIDA-CERRADO (BACIA DO MÉDIO ARAGUAIA, BRASIL)

Resumo

O processo de colonização pelo homem vem causando não apenas a redução da vegetação nativa, mas também a fragmentação destes habitats, que resulta na redução da biodiversidade, invasão de espécies exóticas, aumento do escoamento superficial, perda de qualidade das águas superficiais, alteração do clima e na biogeoquímica de rios. Os efeitos das mudanças do uso e cobertura do solo na composição e configuração da paisagem foram efetuados através da análise da evolução temporal de índices de métrica da paisagem calculados para as seguintes datas, 1975, 1985, 1996 e 2007. A análise da estrutura da paisagem mostrou que, proporcionalmente, áreas de floresta e cerrado *stricto* foram as classes mais afetadas pelas conversões em áreas agropastoris. Em relação à configuração da paisagem, foi verificada uma considerável redução do tamanho do maior fragmento, principalmente de floresta que foi acompanhado do aumento no número de pequenos fragmentos, que por sua vez, está relacionado com o aumento da densidade de borda, diminuição das áreas centrais médias e aumento da distância entre os fragmentos, resultado que mostra um elevado índice de fragmentação da vegetação nativa remanescente.

Palavras-chave: Mudança no uso e cobertura do solo; Métricas da paisagem; Estrutura da paisagem; Amazônia; Cerrado

TEMPORAL ANALYSIS OF THE LANDSCAPE FRAGMENTATION IN A TRANSITION AREA BETWEEN TROPICAL RAIN FOREST AND SAVANNA (MIDDLE ARAGUAIA RIVER BASIN, BRAZIL)

Abstract

The human colonization process is causing not only the reduction of native vegetation, but also the fragmentation of habitats, leading to biodiversity losses, increase in invasion of exotic species and surface runoff, loss of surface water quality, climate change and changes in the biogeochemistry of rivers. The effects of land use and land cover changes in landscape composition and configuration in the middle Araguaia River basin were access by analyzing the temporal alteration of landscape metrics calculated for 1975, 1985, 1996 and 2007. The landscape structure analysis showed that, proportionally, forest and cerrado *stricto* were the most affected classes by culture and pasture conversions. In terms of landscape configuration, there was a considerable reduction in the largest fragment size, mainly of forest, which was accompanied by an increase in the number of small fragments, which was related to an increased density of edge, a decrease in the mean core area and an increase in the distance between the fragments, showing a high degree of fragmentation of the native vegetation remainings.

Keywords: Land use land cover changes; Landscape metrics; Landscape structure and configuration; Amazon; Cerrado

4.1Introdução

A influência humana na paisagem tem aumentado muito ao longo do último século. O processo de colonização pelo homem vem causando não apenas a redução das florestas, mas também a fragmentação dos habitats florestais (SKOLE; TUCKER, 1993).

Estudos recentes, sobre as mudanças que vêm ocorrendo no uso e cobertura da terra, apontam para fatores como a intensificação da agricultura, desmatamentos nos trópicos, expansão das áreas de pastagens e urbanização como os principais vetores do processo de desmatamento (ANDERSON, 2004). Estes fatores constituem a mais séria ameaça à diversidade biológica de animais e plantas devido à fragmentação de habitats (COLLINGE, 1996). Desta forma, metodologias para análises espaço-temporais da fragmentação da paisagem vêm sendo cada vez mais importantes para estudos ecológicos que visam uma compreensão da heterogeneidade espacial envolvendo áreas com grandes extensões (TURNER, 1990).

A distribuição espacial de fragmentos tem sido foco de atenção em muitos estudos ecológicos, devido a diversos processos a estes associados, como por exemplo, mudanças climáticas, dispersão de sementes e comportamento animal, os quais são potencialmente influenciados por estes componentes da paisagem (HARGIS; BISSONETTE; DAVID, 1998). A fragmentação de habitats é definida como um processo, em escala de paisagem, que envolve tanto a perda de habitat quanto a ruptura da continuidade do mesmo (FAHRIG, 2003).

A ecologia da paisagem está baseada na premissa que existe uma estrita relação entre os padrões e as funções ecológicos. Desta forma, os sistemas ecológicos são espacialmente heterogêneos, exibindo uma considerável variabilidade e complexidade em tempo e espaço (GUSTAFSON, 1998). Em termos de estrutura e funcionamento dos ecossistemas, o desmatamento nas regiões tropicais resulta na redução da biodiversidade (FAHRIG, 2001; PRIMACK, 2002), invasão de espécies exóticas, aumento do escoamento e perda de qualidade das águas superficiais e

alteração do clima (ANDREAE; CRUTZEN, 1997; COSTA; BOTTA; CARDILLE, 2003; FERRAZ et al., 2005), bem como alterações na biogeoquímica de rios (BALLESTER et al., 2003; THOMAS et al., 2004; KRUSCHE et al., 2005; NEILL et al., 2006). A extensão e magnitude destes impactos são influenciadas pelo tamanho, conectividade, formato, contexto e heterogeneidade dos fragmentos remanescentes (COLLINGE, 1996).

Os processos de colonização na região amazônica têm atraído considerável atenção nos últimos trinta anos, uma vez que as mudanças na cobertura e uso do solo estão associadas à apropriação da terra (BATISTELLA; MORAN, 2005). Embora áreas extensas ainda permaneçam intactas, a taxa de perda da floresta é elevada, em especial no “arco do desmatamento”, ao longo das bordas sul e leste do bioma amazônico, na zona de transição entre Floresta Tropical e Cerrado (INPE, 2008). Nesta região, o avanço da fronteira agrícola já atinge grandes extensões do Cerrado e parte da Floresta Tropical Úmida. Este processo de ocupação humana, associado à construção de estradas, transforma paisagens naturais em ilhas de vegetação, inseridas em uma matriz de agroecossistemas, afetando uma série de processos ecológicos.

Apesar de ainda existirem muitas lacunas no entendimento do desmatamento da Amazônia, sabe-se que o mesmo está concentrado, principalmente, nas áreas de transição entre Floresta Tropical e Cerrado, ao longo das estradas e nas fronteiras do país, como nos estados do Acre e Rondônia (ALVES et al., 1999; HOUGHTON et al., 2000; CARDILLE; FOLEY, 2003).

A topografia plana, o baixo preço das terras e a construção de Brasília em 1960, foram os principais fatores que fizeram do Cerrado a principal área para agropecuária no Brasil (COSTA; BOTTA; CARDILLE, 2003; KLINK; MACHADO, 2005). Em meados da década de 1990, aproximadamente 40% de toda produção de gado brasileira já ocorria neste bioma (SANO; BARCELLOS; BEZERRA, 2001) assim como 25% da produção de soja, 16% de milho, 13% de arroz e 8% de feijão (FERREIRA, 2009). Apesar do atual predomínio de pastagens cultivadas, grandes áreas de Cerrado, sobretudo aquelas de fisionomia aberta (Campo Limpo e Campo Sujo), são utilizadas como pastagens nativas. Estas áreas são formadas através da retirada de árvores e arbustos, para crescimento natural do capim nativo (COSTA; BOTTA; CARDILLE,

2003). Como conseqüência deste intensivo processo de ocupação, atualmente o Cerrado é um dos biomas mais severamente ameaçados do Brasil (FERREIRA, 2009). Estimativas recentes apontam que aproximadamente 50% da área do Bioma já foram desmatadas (EVA et al., 2004; MACHADO et al., 2004). Ressalta-se o fato que este bioma vem sofrendo a mais rápida conversão da cobertura do solo observada no país, superando aquela da Floresta Tropical (FERREIRA et al., 2003; SANO; FERREIRA; HUETE, 2005).

O Cerrado apresenta como fisionomia típica uma formação aberta de árvores e arbustos baixos, coexistindo com uma camada de gramíneas rasteiras, variando em um gradiente entre fisionomias graminosas a arbóreas. Este bioma destaca-se também pelos elevados níveis de biodiversidade e endemismo, com mais de 6.000 espécies de árvores e 800 espécies de aves, além de grande variedade de peixes e outras formas de vida (ANA, 2007).

Com mais de 2 milhões de km² do território brasileiro cobertos originalmente pelo cerrado (IBGE, 2004), apenas 7,4% de sua área é protegida por unidades de conservação, federais, estaduais e municipais, este valor é ainda menor quando se trata de unidades de conservação de proteção integral, caindo para 2,9% (MMA, 2009).

A Amazônia Legal brasileira abriga 850 mil Km² de Cerrado, concentrados principalmente nos estados do Mato Grosso (43%) e Tocantins (29%). A região hidrográfica do Tocantins-Araguaia está parcialmente situada dentro da Amazônia Legal e é caracterizada como uma zona de transição entre a Floresta Tropical, que ocupa as porções norte e noroeste e o bioma Cerrado, que domina o restante da paisagem.

A ocupação da região dos cerrados tem causado diversos problemas ambientais devido à intensidade e à grande extensão territorial destas ocupações, as quais resultam em perda de biodiversidade, uso excessivo dos recursos hídricos, perda de solos por erosão, assoreamento e poluição atmosférica (FERREIRA et al., 2003; QUESADA et al., 2004). Além disto, a conversão de habitats contínuos em áreas fragmentadas afeta também os processos ecológicos, como dispersão de sementes, polinização e ciclo de nutrientes (HANADA, 2004). Estimativas de perda da biodiversidade realizadas de acordo com a teoria de biogeografia de ilhas indicam que em 2002, quando foi registrada uma redução de 50% da área do cerrado, o valor

esperado de perda de espécies de vertebrados pode chegar a um total de 168 espécies desconsiderando o grupo dos peixes (MACHADO et al. 2008).

Apesar da rica biodiversidade e da acelerada taxa de desmatamento, o Cerrado ainda possui um conhecimento científico precário, com grandes lacunas de informações, principalmente, no norte do Cerrado, nos estados do Tocantins, Maranhão, Piauí e parte da Bahia e Mato Grosso (MACHADO et al. 2008).

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos decorrentes da conversão do uso e cobertura do solo na dinâmica da paisagem estrutural, através do uso de métricas da paisagem, as quais funcionam como indicadores da composição e configuração da paisagem na bacia do médio rio Araguaia, entre 1975 e 2007.

4.2 Materiais e Métodos

4.2.1 Descrição da área de estudo

Este estudo foi realizado na região da bacia do médio rio Araguaia, que se estende por cerca de 166 mil km², na porção central do Brasil e abrange parte da zona de transição entre os biomas Floresta Tropical amazônica e Cerrado (Figura 12).

O cerrado compõe a vegetação dominante da região de estudo, com suas diferentes fisionomias (RIBEIRO; WALTER, 1998): Campo Limpo, Campo Sujo (seco, úmido e com murunduns) (formações campestres), Cerrado Ralo e Cerrado Típico (Cerrado Sentido Restrito) e Cerrado Denso (formações arbustivo-arbóreas) e Cerradão, Mata Seca e Mata de Galeria (formações florestais). Nas áreas periodicamente inundáveis, como a Ilha do Bananal, ocorrem formas rasteiras e abertas de vegetação como Campo Sujo Úmido, Campo Sujo com murunduns e Mata de Galeria às margens dos rios, enquanto em zonas mais altas ocorrem formações de Cerradão e Floresta Aluvial com dossel emergente (DIEGUES, 2002). Em relação à fisionomia de Floresta Tropical, a área de estudo é basicamente dominada por Floresta Ombrófila Aberta (IBGE, 2004).

Em termos geológicos, a região do médio rio Araguaia é caracterizada por uma bacia sedimentar Quaternária bem desenvolvida, denominada de Bacia Bananal, com

aproximadamente 106.000 km². Na porção norte desta bacia sedimentar ocorre a Ilha do Bananal, considerada a maior ilha fluvial do mundo.

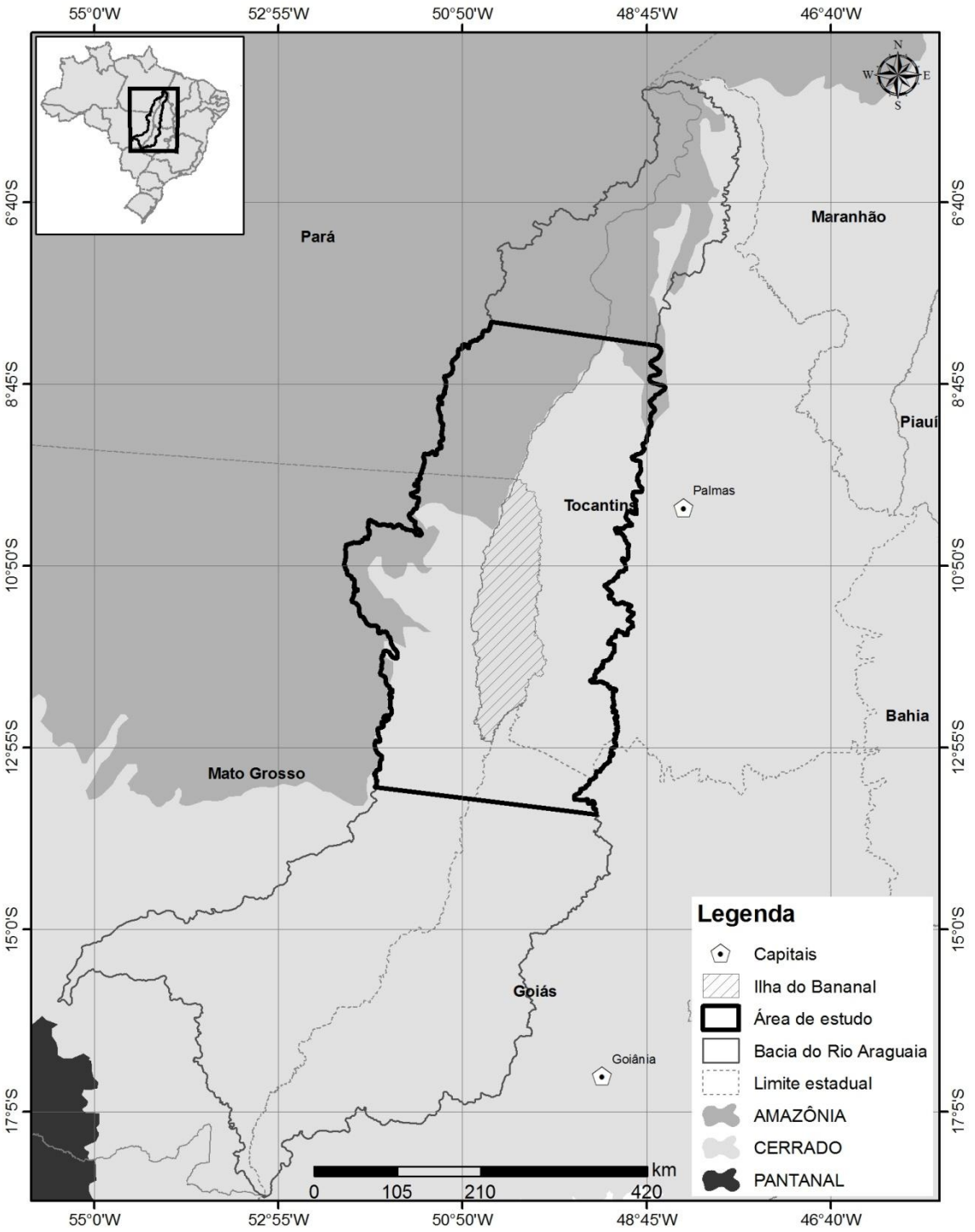

Figura 12 - Localização da área de estudo no trecho médio do rio Araguaia

Duas estações são nitidamente marcadas na região de estudo: o verão chuvoso (de novembro a abril) e o inverno seco (de maio a outubro). A precipitação média anual varia de 1600 a 2100 mm/ano e a temperatura média anual é de 28º C (SEPLAN, 2008).

Na região há predomínio de plintossolos e solos concrecionários, ocorrendo também solos hidromórficos nas partes mais alagadiças, latossolos e areias quartzosas (SEPLAN, 2008). Estes dois tipos de solos predominantes na região estudada apresentam limitações em relação à produção agrícola, principalmente, por causa da má drenagem e da presença de concreções ferruginosas, respectivamente (COUTINHO, 2005).

A principal atividade econômica da região é a pecuária, que ocupa a maioria das áreas produtivas e se dá de duas maneiras: em pastos plantados e em pastos naturais. As áreas inundáveis, dominantes na planície do Bananal, sustentam razoável carga animal na época seca, graças ao seu lençol freático superficial e à fertilização proporcionada pelos sedimentos depositados durante as inundações (DIEGUES, 2002).

A agricultura na região hidrográfica do Tocantins-Araguaia é principalmente voltada para a produção de soja, arroz, milho, feijão e mandioca. O cultivo da soja na região iniciou-se em meados da década de 1980, e hoje vem ocupando grande importância no contexto regional principalmente em Goiás e Mato Grosso e, de forma menos expressiva, no Pará. O arroz constitui uma lavoura importante na região, concentrando-se nos estados do Tocantins e Goiás. O feijão, a mandioca o milho são, em geral, culturas tradicionais típicas de pequenos produtores (ANA, 2007).

A área estudada ainda abrange a maioria das unidades de conservação e terras indígenas da bacia do rio Araguaia, sendo 10 terras indígenas, cinco unidades de conservação de proteção integral e duas de uso sustentável.

4.2.2Análise da composição e configuração da paisagem

Os efeitos das mudanças do uso do solo na estrutura da paisagem foram avaliados através da análise da evolução temporal de índices da paisagem calculados para

quatro mapas de cobertura e uso do solo, referentes aos anos de 1975, 1985, 1996 e 2007. Para detalhes sobre o mapeamento do uso e cobertura do solo ver Capítulo 3.

Os índices da paisagem podem ser separados em dois grupos. O primeiro é composto por aqueles que quantificam a composição da área de estudo, associada com a variedade e abundância de tipos de fragmentos na paisagem, sem relação com atributos espaciais. O outro grupo é formado por índices que quantificam a configuração espacial dos atributos na paisagem, os quais interferem nas relações espaciais entre os elementos da mesma e que necessitam de informações espaciais para o seu cálculo (MCGARIGAL; MARKS, 1995; GUSTAFSON, 1998; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001; GERGEL; TURNER, 2002). Desta forma é possível determinar a quantidade e qualidade de habitats na região estudada.

Pelo fato da paisagem ser dinâmica, a análise das alterações temporais do número e tamanho dos fragmentos, presença de corredores, barreiras de dispersão e probabilidade de propagação de distúrbios, deveriam sempre ser levadas em consideração nos estudos de ecologia da paisagem (TURNER, 1989). Entretanto, grande parte dos trabalhos sobre as causas e consequências do desmatamento na Amazônia não consideram essas mudanças temporais na estrutura da paisagem (FERRAZ et al., 2005). Sendo assim, métricas da paisagem podem ser usadas como ferramentas para um diagnóstico ambiental, com a função de descrever as mudanças tanto da composição quanto da configuração da paisagem (MACGARIGAL et al., 2002).

Muitas métricas são extremamente correlacionadas entre si e contêm informações redundantes (TURNER et al., 2001). Tais resultados são esperados, uma vez que o cálculo de todas as métricas está baseado, principalmente, no tamanho do fragmento, forma, razão perímetro-área e distância entre fragmentos (HARGIS; BISSONETTE; DAVID, 1998). Desta forma, a escolha das métricas deve ser realizada com cautela.

Muitos estudos têm sido realizados com a finalidade de conhecer melhor o comportamento de diferentes métricas, as relações entre elas e quais são mais indicadas para cada tipo de estudo (GUSTAFSON; PARKER, 1992; RIITTERS et al., 1995; GUSTAFSON, 1998; IMBERNON; BRANTHOMME, 2001; CARDILLE et al., 2005; LI et al., 2005). Riiters et al. (1995), analisaram a correlação entre 55 índices da paisagem, identificando 5 fatores independentes. Entretanto, esses fatores podem ser

diferentes se o cálculo for realizado para mapas que diferem em termos do número de classes, da escala, da extensão ou do período avaliado (HERZOG et al., 2001), enfatizando a importância da análise de correlação para a escolha das métricas mais adequadas para cada estudo. MacGarigal e McComb (1995) observaram, em uma análise de componentes principais entre 30 índices, que os três principais componentes eram: forma, densidade e tamanho dos fragmentos.

Portanto, neste estudo, foram calculados 17 índices, os quais passaram por uma análise de correlação a fim de selecionar os mais independentes referentes a cada um dos seguintes sub-grupos: área/densidade/borda, forma, área central e proximidade (ver Apêndice 1).

Os índices selecionados após esta análise para avaliar a composição da paisagem foram: área total da classe (ATC), porcentagem da área da classe (PAC) e a densidade de fragmentos (DF). Para a análise da configuração da paisagem foram utilizados: o índice do maior fragmento (IMF), área média dos fragmentos (AM), densidade de borda (DB), Razão perímetro-área média (RPA), área central média (ACM) e índice de proximidade média (PROXM) (Tabela 4). Todas as métricas foram calculadas utilizando o programa FRAGSTATS 3.3.

Tabela 4 - Métricas da paisagem utilizadas neste estudo

Sigla	Nome	Fórmulas	Descrição	Tipo
ATC	Área total da classe (ha)	$ATC = \sum_{j=1}^{n} a_{ij}\left(\frac{1}{10.000}\right)$ a_{ij} = área (m²) do fragmento ij (ha)	Soma das áreas de todos os fragmentos de uma determinada classe.	Composição
PAC	Porcentagem da área da classe (%)	$PAC = \frac{\sum_{j=1}^{n} a_{ij}}{A}(100)$ a_{ij} = área (m^2) do fragmento ij A = área total da paisagem (m^2)	Soma das áreas de todos os fragmentos de uma determinada classe dividida pela área total multiplicada por 100.	Composição
IMF	Índice do maior fragmento (%)	$IMF = \frac{\max_{j=1}^{n}(a_{ij})}{A}(100)$ a_{ij} = área (m^2) do fragmento ij A = área total da paisagem (m^2)	Porcentagem da paisagem compreendida pelo maior fragmento de uma classe.	Dominância
DF	Densidade de fragmentos (Nºfrag/100 ha)	$DF = \frac{n_i}{A}(10000)(100)$ n_i = número de fragmentos da paisagem A = área total da paisagem (m^2)	Número de fragmentos de uma determinada classe dividida pela área total.	Composição

Tabela 5 - Métricas da paisagem utilizadas neste estudo **(Continuação...)**

Sigla	Nome	Fórmulas	Descrição	Tipo
AM	Área média dos fragmentos (ha)	$AM = \frac{\sum_{j=1}^{n} x_{ij}}{n_i}$ X_{ij} = área (m²) do fragmento ij (ha) n_i = número de fragmentos da paisagem	Área média do tamanho dos fragmentos de uma classe.	Configuração
DB	Densidade de borda (m/ha)	$DB \frac{\sum_{k=1}^{m} e_{ik}}{A} (10{,}000)$ e_{ik} = comprimento total (m) da borda na paisagem por classe A = área total da paisagem (m^2)	Soma do comprimento de todos segmentos de borda de uma classe, dividido pela área total da paisagem.	Configuração
RPA	Razão perímetro-área média	-	Média da razão perímetro-área dos fragmentos de uma classe.	Configuração
ACM	Área central média (ha)	-	Média da área central dos fragmentos de uma classe.	Configuração
PROXM	Índice de proximidade média	-	Média do índice de proximidade entre os fragmentos.	Configuração

Nota: Mais detalhes sobre as métricas podem ser encontrados em McGarigal et al. (2002)

4.3 Resultados e discussão

4.3.1 Nível de detalhamento dos mapas de uso da terra

A escolha do nível de detalhamento da legenda de um mapa é uma questão muito importante para qualquer estudo ambiental. Um mapa com uma legenda muito detalhada tende a ter um custo de produção elevado, pois a demanda de tempo para preparação e a necessidade de imagens de alta resolução encarecem o processo (a depender da escala de trabalho). Em contrapartida, uma legenda muito generalizada pode esconder informações importantes da paisagem.

A Figura 13a apresenta a evolução temporal das classes de cobertura e uso da área de estudo. Como pode ser observado, as três classes de cobertura nativa apresentam um comportamento semelhante de redução ao longo do tempo, indicando que as atividades de desmatamento provavelmente estão ocorrendo com a mesma intensidade para os três tipos de cobertura nativa. No entanto, a análise separada de cada uma destas classes permite verificar que o cerrado *stricto* cobre uma área menor da paisagem. Mantendo esta mesma taxa de redução, esta seria a primeira fisionomia a ser totalmente convertida, o que torna clara a importância de alguma forma de controle e preservação de remanescentes desta fisionomia.

A Figura 13 (A, B e C) apresenta os resultados do efeito do detalhamento da legenda na composição da paisagem. Como pode ser observado, na Figura 13A, quando foi adotada uma legenda mais detalhada, na qual a vegetação nativa estava dividida em 3 classes (floresta, cerrado aberto e cerrado *stricto*), observa-se que em 1996 a área agropastoril ocupa aproximadamente 37 mil km², equivalente a 22% da área, valor superior à extensão ocupada por cerrado *stricto* (33 mil km² ou 20%) e semelhante à ocupada pelo cerrado aberto (38 mil km² ou 23%). Em 2007, é verificada a inversão da matriz, quando a cobertura agropastoril alcançou 56 mil km², totalizando 34% da cobertura local, enquanto que as áreas ocupadas por floresta, cerrado aberto e cerrado *stricto* eram de 51, 34 e 22 mil km², equivalentes a 31, 20 e 13% da área.

A análise considerando as duas classes de cerrado juntas permite visualizar com mais clareza as alterações ocorridas nos biomas Cerrado e Amazônico. Na Figura 13b, é possível verificar que, em 1975, a matriz da paisagem era composta pelo Cerrado, o

qual ocupava 81 mil km² ou 49% da área de estudo, seguido por 64 mil km² de floresta 38% da área. Neste ano, áreas agropastoris representavam uma pequena parcela da paisagem ocupando cerca de 13 mil km², equivalente a 8% da cobertura da área de estudo. No entanto, o avanço mais acentuado dessas áreas, a partir de 1985, afetaram profundamente ambos os biomas. Em 2007, com a redução das áreas ocupadas pelo Cerrado e Floresta Tropical, atingindo valores de 31 e 33%, respectivamente, a área da classe agropastoril atinge uma extensão de 56 mil km², equivalente a 34% da área, ultrapassando a área ocupada pelas classes de vegetação nativa, se tornando a matriz da paisagem.

Na Figura 13c, são apresentados os resultados da análise temporal, levando em consideração apenas a vegetação nativa (cerrado e floresta agrupados em uma única classe), a fim de se avaliar a tendência de desmatamento geral na região. Como se pode observar, a redução da vegetação nativa está diretamente relacionada ao aumento da classe agropastoril. Desta forma, quando considerada a vegetação nativa como um todo, é possível verificar que em 2007 a área coberta pela vegetação nativa é de 107 mil km² ou 64% da área, enquanto que a cobertura agropastoril ocupa 56 mil km², valor que representa 34% da área, mostrando o predomínio de cobertura nativa, a qual ainda representa a matriz da paisagem, nesta data.

Tanto a Floresta Tropical Úmida quanto o Cerrado possuem subdivisões com distintas fisionomias, cada uma com sua importância. Contudo, normalmente, todas essas diferentes fisionomias são consideradas como uma coisa só, ficando oculta a real importância de cada uma delas, principalmente no papel de manutenção da biodiversidade. Por exemplo, uma formação de cerrado denso, apresenta uma composição florística diferente de uma formação de cerrado aberta (RIBEIRO; WALTER, 1998), o que resulta em habitats e nichos distintos que podem sustentar diferentes comunidades faunísticas. Dessa forma, muita atenção deve ser dada à escolha da legenda, uma vez que informações importantes podem ser perdidas quando se adota um sistema muito generalista.

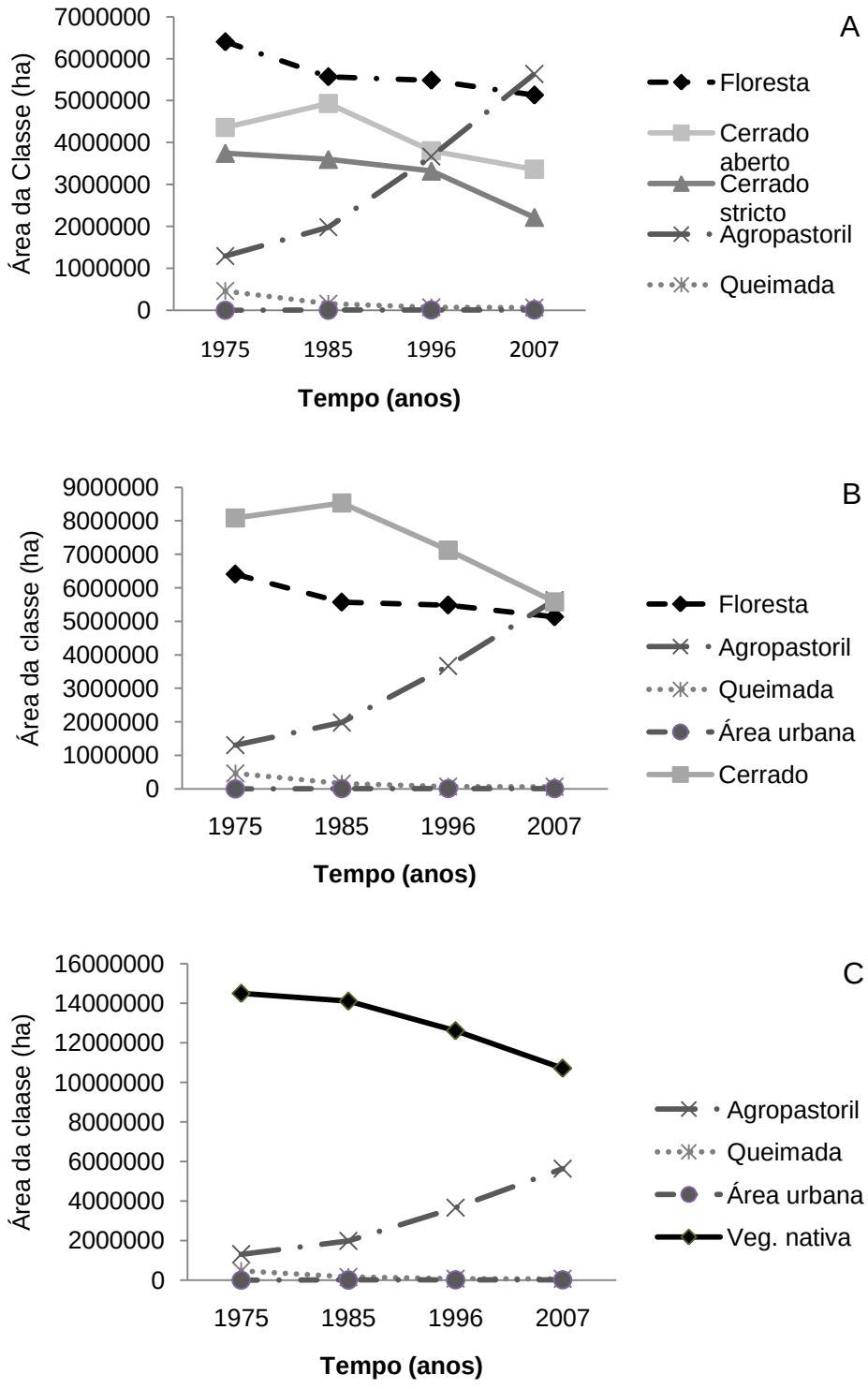

Figura 13 – Área das classes para diferentes agrupamentos da legenda nos mapas de uso e cobertura do solo do trecho médio da bacia do Rio Araguaia entre 1976 e 2007: a) três classes de cobertura nativa (floresta, cerrado aberto e cerrado sensu *stricto*); b) Cobertura nativa separada em floresta e cerrado e; c) considerando todas as classes de vegetação nativa agrupadas

Neste estudo, se a análise tivesse sido desenvolvida utilizando a classe cerrado como um todo, não seria possível discriminar que tipo de fisionomia do cerrado está sendo mais alterada ou avaliar a dinâmica de alteração da cobertura entre as próprias fisionomias de cerrado, e muito menos elaborar planos de ações para a gestão da paisagem ou controle do desmatamento. Dessa forma, como pode ser observada na Figura 13a, em 1996, a área ocupada por pastagens e culturas anuais já era maior que a de ambas as formações de cerrado. Porém, essa informação não pode ser obtida quando a classe cerrado é agrupada (Figura 13b). Quando agrupamos as diferentes coberturas do solo nativas em apenas uma classe (Figura 13c), há uma subestimativa da verdadeira condição da cobertura nativa, ocultando que a extensão das áreas convertidas já é maior que a área representada por cada um dos biomas, separadamente. A análise das classes agrupadas indica apenas que ainda existem grandes remanescentes de vegetação nativa.

4.3.2Composição e configuração da paisagem

A figura 14a, apresenta o mapa de cobertura e uso do solo em 1975. Como pode ser observado na Tabela 5, nesta data a matriz da paisagem era composta por cobertura nativa, composta de 39% de floresta e 48% cerrado (26% aberto e 22% *stricto*), totalizando 87% de cobertura nativa na época. Em 2007, esses valores passaram para 31% de floresta, 20% de cerrado aberto e 13% cerrado *stricto*, ou seja, 64% da área ainda coberta por vegetação nativa (Figura 14b).

Tabela 6 – Variação da porcentagem da área de cada classe de uso e cobertura em relação à paisagem, no trecho médio da bacia do Rio Araguaia entre 1976 e 2007

Classe	1975	1985	1996	2007
Floresta	38,5	33,5	33,0	30,6
Cerrado aberto	26,2	29,7	22,9	19,8
Cerrado *stricto*	22,5	21,7	20,0	13,3
Agropastoril	7,8	11,9	22,1	34,8
Queimada	2,8	0,9	0,4	0,4

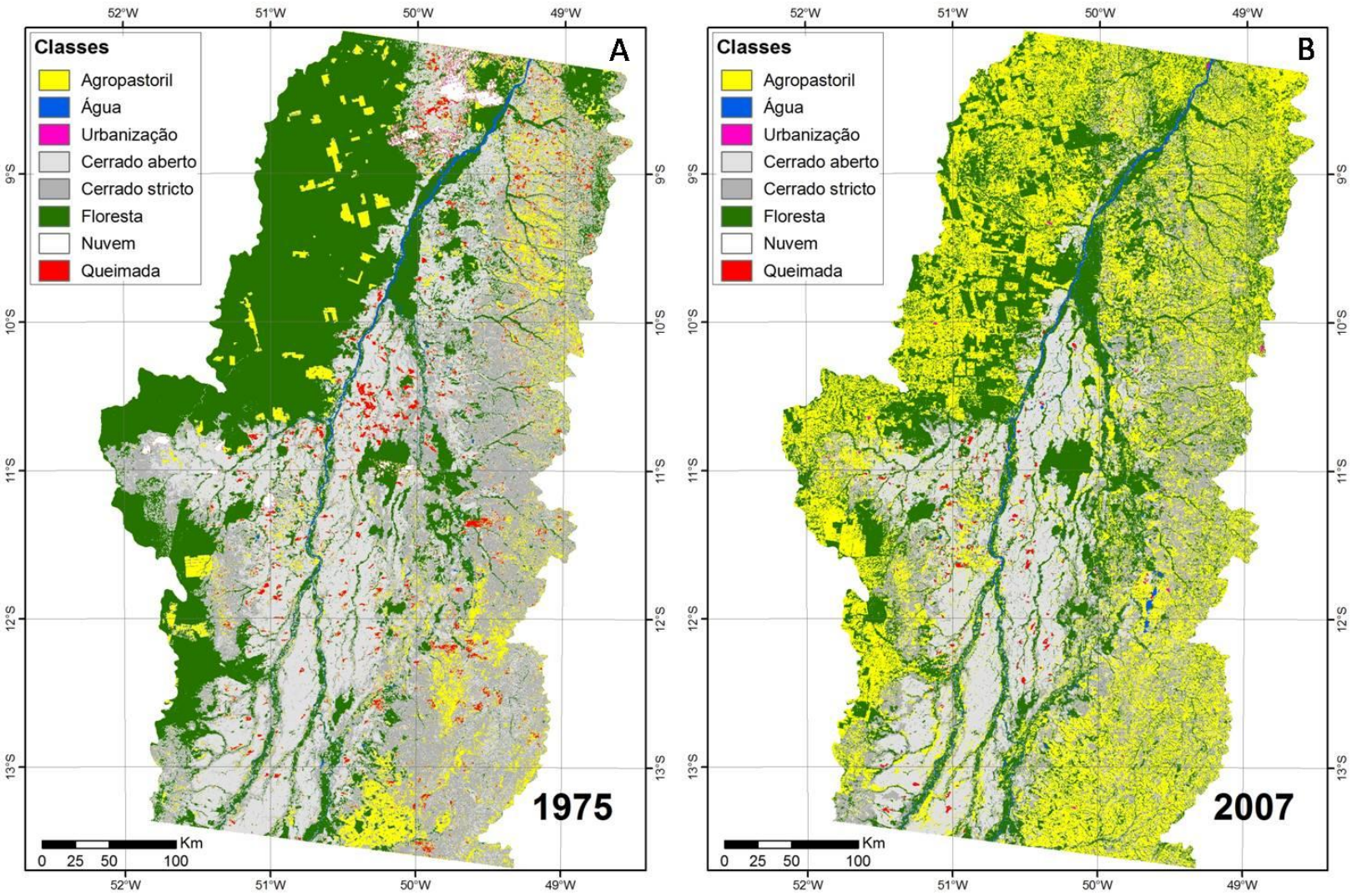

Figura 14 - Mapas de uso e cobertura do solo no trecho médio da bacia do Rio Araguaia demonstrando a paisagem em: A) 1975 e B) 2007

Desconsiderando a área previamente desmatada até 1975, ao longo dessas três décadas analisadas foi verificado um aumento de aproximadamente 45 mil km² de áreas desmatadas, o equivalente a 27% da área estudada. Esses valores equivalem a um incremento médio de áreas desmatadas de 1.401 $km^2.ano^{-1}$.

Entretanto, quando o intervalo de 32 anos é separado em períodos de aproximadamente 10 anos é possível notar que houve uma grande variação na taxa de desmatamento, indicando uma intensificação da mesma, de forma diferenciada, ao longo do tempo (Figura15). Assim entre 1975 e 1985, a taxa de perda de vegetação nativa (floresta e cerrado) foi de 685 $km^2.ano^{-1}$, o que representa uma redução de 4% na cobertura nativa neste período. Entre 1985 e 1996 a taxa de desmatamento subiu para 1533 $km^2.ano^{-1}$, havendo uma redução de 10% da cobertura nativa e entre 1996 e 2007 a taxa desmatamento atingiu 1921 $km^2.ano^{-1}$, totalizando uma perda de 13% da vegetação nativa neste período.

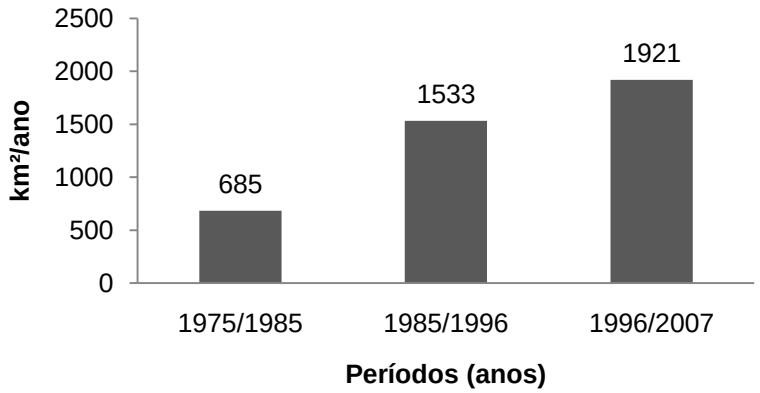

Figura 15 – Variação das taxas de incremento de áreas convertidas considerando períodos de aproximadamente 10 anos

A análise por fisionomias demonstra haver uma redução de aproximadamente 8% da área de floresta em 32 anos (1975 a 2007), sendo que o período de maior perda ocorreu entre 1975 e 1985, quando foi observada uma redução de 5% da sua área total.

A análise do cerrado aberto mostra que entre 1975 e 2007 ele sofreu uma redução de 6,4% neste período. Entretanto, inicialmente foi verificado um incremento de 3,5%, entre 1975 e 1985, seguido de uma redução de 6,8% entre 1985 e 1996, sendo este o

segundo período de maior redução desta classe. Este aumento registrado na área do cerrado aberto entre 1975 e 1985, pode estar relacionado à degradação de áreas de cerrado *stricto*, comumente utilizadas como pastagens naturais, dificultando o processo de separação entre as duas fisionomias de cerrado através de imagens de satélite.

O cerrado *stricto* apresentou redução de 9,2% de sua área em relação à paisagem durante os 32 anos avaliados, sendo esta, a fisionomia mais alterada. É importante considerar que o período entre 1996 e 2007 foi registrada a maior parte destas alterações, somando uma perda de 6,7%.

Em 1996, a quantidade da área agropastoril já era equivalente à área de ambas as fisionomias de cerrado. Em 2007, observa-se uma inversão na matriz da paisagem, quando a área de vegetação nativa é menor que a classe agropastoril (Figura 16).

A redução observada nas áreas das diferentes coberturas nativas está diretamente relacionada ao aumento da área agropastoril, a qual teve um rápido crescimento ao longo dos 32 anos, passando de 7,8% da paisagem em 1975 para 34,8% em 2007. O período entre 1985 e 1996 representou um aumento de 10,2% da área, sendo que no período seguinte (1996 a 2007), foi registrado um aumentou ainda maior, de 12,7% da área.

Estes resultados são semelhantes aos obtidos em outros estudos realizados na região. Cardille e Foley (2003) observaram uma tendência de conversão de plantações e pastagens naturais para pastagens plantadas nas regiões leste do Pará e norte do Tocantins entre 1980 e 1995, enquanto no Mato Grosso, a conversão foi, principalmente, de pastagens naturais para culturas anuais e pastagens plantadas, representando uma dinâmica de conversões semelhante.

A análise dos dados dos censos demográficos e agropecuários do IBGE, sobre as microrregiões contidas na área estudada (Figura 17A), mostra que houve um grande aumento tanto do número de habitantes (Figura17B) quanto do de cabeças de gado (Figura 17C) entre 1970 e 2006. Em 1970 foram registrados cerca de 420 mil habitantes e mais de 1,4 milhões de cabeças de gado, enquanto em 2006, a população era de 970 mil habitantes e existiam 10,4 milhões de cabeças (IBGE, 2009).

Como pode ser observado na Figura 17C, a partir de 1985 a taxa de crescimento do rebanho bovino passa a aumentar de forma significativa e linear, a uma taxa média

de 3% ao ano. Esta expansão indica que o padrão de aumento de áreas agropastoris, observado na Figura 16, a partir de 1985, pode ser atribuído a este processo.

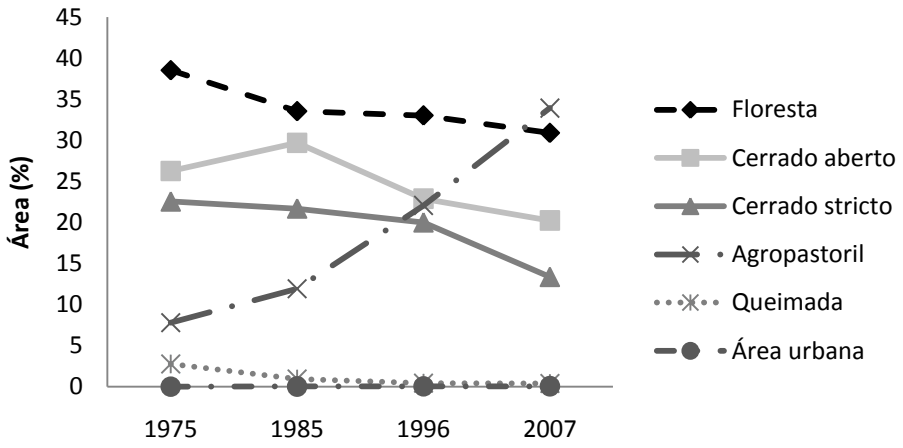

Figura 16 – Alterações na porcentagem das classes em relação à paisagem no trecho médio da bacia do Rio Araguaia para os anos 1976, 1985, 1996 e 2007

Desde os anos 1970, estímulos macroeconômicos e políticas governamentais influenciaram o aumento na criação de gado na região de estudo (VALENTE, 2007; MMA, 2009). A pecuária é majoritariamente extensiva e realizada em pastagens nativas, que são formadas pela retirada de parte das árvores e arbustos para maior propagação da gramínea, utilizada como alimento para o gado. Os rebanhos bovinos e suínos são basicamente para a produção de carne, e as extensas pastagens naturais, em geral, apresentam baixa capacidade de sustentação, sendo necessárias áreas de pastagem cultivada e manejo para expansão do rebanho.

De um modo geral, a dispersão do desmatamento na amazônia e no cerrado brasileiro tem sido associado com a implantação ou melhoria de estradas e com o aumento da população (DALE et al., 1994; ALVES et al., 1999; BALLESTER et al., 2003). Este aumento gera uma pressão nas áreas de vegetação nativa devido à maior demanda por terras e ao avanço da fronteira agrícola (BALLESTER, 2008).

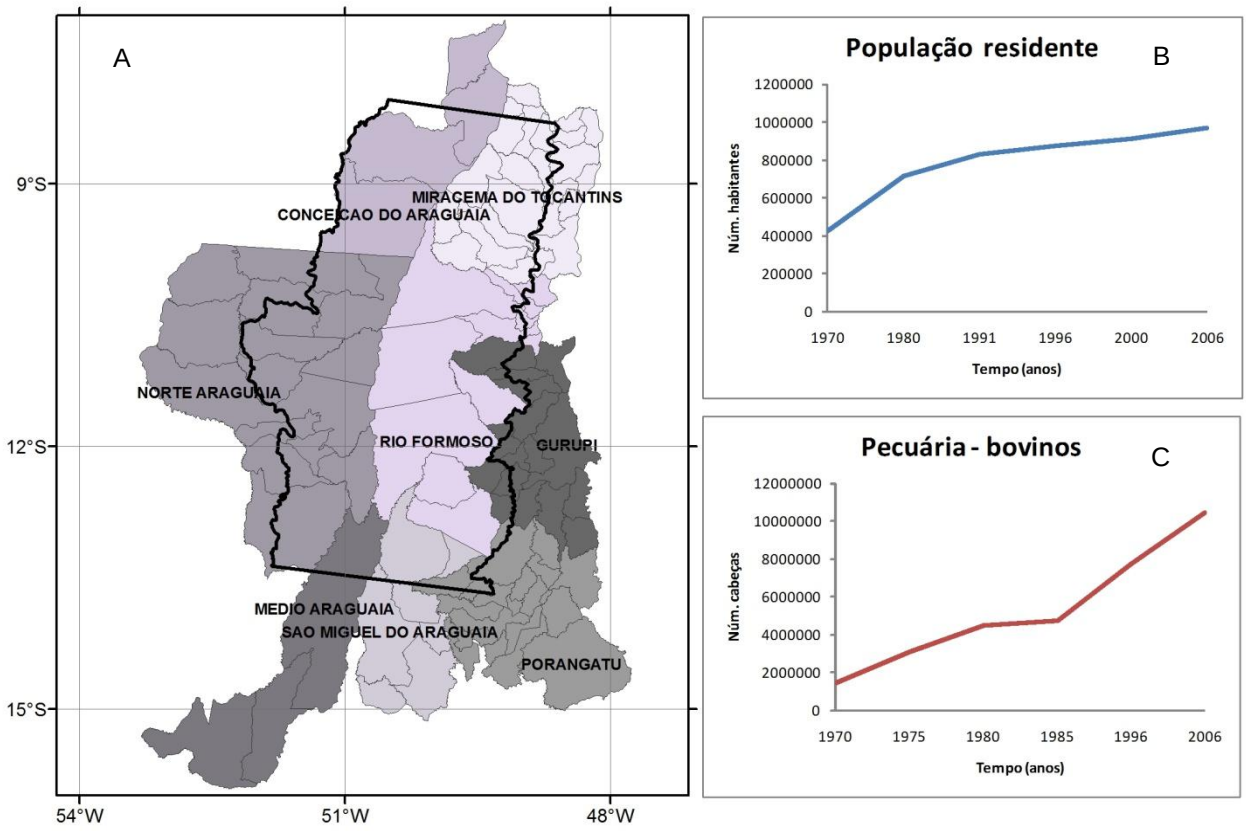

Figura 17 – A) Mapa das microrregiões geográficas do IBGE que fazem parte da área estudada; B) Evolução da população residente entre 1970 e 2006; C) Evolução do número de cabeças de gado entre 1970 e 2006

Como conseqüência destas conversões, a paisagem torna-se cada vez mais fragmentada. Tal fragmentação pode ser avaliada pelo índice do maior fragmento (IMF), uma medida indireta de dominância da paisagem, indica o grau de fragmentação da vegetação em uma região. Valores elevados estão associados com extensas áreas contínuas de uma determinada classe de cobertura do solo formando um fragmento. O mapa de cobertura e uso do solo mostra que, em 1975, grande parte da área de floresta, concentrada na região noroeste da área de estudo, formava um grande fragmento de floresta contínua, representando aproximadamente um quarto da paisagem (Figura 14A). Contudo, o aumento das áreas agropastoris, ao longo dos 32 anos, resultou na divisão desse bloco (Figura 14B), e conseqüentemente, uma rápida redução no valor do IMF, de cerca de 6 vezes, passando de 23,3% em 1975, para 4,2% em 2007, como pode ser observada na Figura 18.

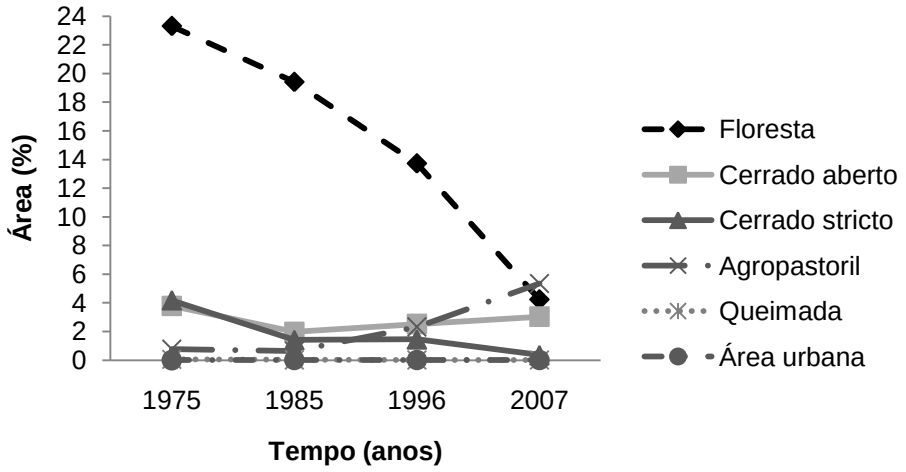

Figura 18 - Evolução do índice do maior fragmento no trecho médio da bacia do Rio Araguaia para os seguintes anos: 1976, 1985, 1996 e 2007

Apesar de ambas as fisionomias de cerrado se estender por uma vasta área (Figura 14), nenhuma delas forma um grande fragmento como a floresta. Em 1975 os valores do IMF para as fisionomias de cerrado aberto e *stricto* foram de 3,8% e 4,2%, respectivamente. A limitação para a existência de grandes fragmentos contínuos está relacionada, principalmente, à presença de matas de galeria que quebram a continuidade dos grandes blocos dessas fisionomias.

Analisando as alterações ocorridas nos valores do IMF do cerrado aberto ao longo do tempo, nota-se, inicialmente, uma redução de 3,8% em 1975 para 2% em 1985, seguida de aumento para 2,5% em 1996 e 3% em 2007. Esta pequena variação provavelmente está relacionada ao fato desta classe ocupar, predominantemente, a região central da área estudada, onde presença de áreas protegidas, a qualidade do solo e dinâmica de inundação dificultam a conversão da cobertura nativa, conseqüentemente, a divisão dos fragmentos.

O cerrado *stricto*, no entanto, sofre uma redução considerável, mas não contínua, no valor deste índice ao longo do tempo estudado. Estas reduções foram observadas entre 1975 e 1985, quando os valores passaram de 4,2% para 1,4%. Entre 1985 e 1996 foi registrado um ligeiro aumento para 1,45%, seguido de uma nova redução, atingindo 0,35% em 2007. É importante considerar que esta fisionomia ocupa quase toda porção leste, no estado do Tocantins, a qual foi fortemente convertida em pastagens cultivadas.

A presença de unidades de conservação em áreas de floresta e cerrado aberto tendem a preservar grandes fragmentos destas fisionomias, com isso o valor do IMF para estas tende a uma estabilização, assim como verificado em Machadinho onde a presença de uma reserva extrativista afeta positivamente o valor do IMF (BATISTELLA; MORAN, 2005).

Em termos ecológicos, grandes fragmentos de vegetação nativa são importantes, pois a probabilidade de sustentar uma variedade de funções ecossistêmicas e habitats para diversas espécies é mais elevada. Além disso, algumas espécies de animais necessitam de grandes áreas para sobreviver e outras são especialistas de habitats de interior, essas espécies são as primeiras a desaparecerem em paisagens fragmentadas (WOODROFFE; GINSBERG, 1998).

Portanto, é importante manter o maior número possível de grandes fragmentos em uma paisagem (SFLA, 2009).

Para uma análise mais detalhada da fragmentação da paisagem e da qualidade dos habitats remanescentes, é necessária a utilização de métricas que avaliem a composição e configuração da paisagem. Para tal, são analisadas as alterações do número, área média, forma e proximidade dos fragmentos ao longo do tempo (McGARIGAL et al. 2002). A análise de algumas destas métricas isoladamente, apresenta uma grande limitação interpretativa, como é o caso da densidade de fragmentos que não fornece informação sobre o tamanho e a distribuição espacial dos fragmentos (McGARIGAL et al. 2002). O tamanho e o número de fragmentos de uma classe ou de todo o mosaico da paisagem, talvez sejam os aspectos mais básicos dos padrões de uma paisagem e podem afetar uma infinidade de processos relacionados aos efeitos da fragmentação, que resulta na redução de habitas e aumento da área de borda, causando modificações no comportamento dos indivíduos, nos padrões de uso do habitat e nas interações inter e intra-específicas (McGARIGAL et al. 2002).

A análise dos resultados sobre a densidade de fragmentos (DF) revela um aumento considerável na fragmentação de todas as classes de cobertura e uso da paisagem ao longo do tempo (Figura 19a). O cerrado aberto e a floresta foram as classes que apresentaram maior aumento na DF, passado de 0,3 e 0,2 frag./100ha em 1975 para 1 e 0,9 frag./100ha em 2007, respectivamente. As classes agropastoril e cerrado *stricto*

apresentaram aumento de 0,1 frag./100ha para 0,7 frag./100ha e 0,3 frag./100ha para 0,6 frag./100ha, respectivamente, ao longo dos 32 anos analisados. A análise conjunta dos altos valores da DF com os baixos valores do IMF mostra que a paisagem, em 2007, apresenta um elevado número de fragmentos sem que haja a dominância de um tipo de cobertura.

Em relação à área média dos fragmentos (AM) (Figura 19b), entre 1975 e 2007, foi observada uma redução de 181 ha para 35 ha e 99 ha para 20 ha nos valores da floresta e do cerrado aberto, respectivamente. Estes resultados indicam que, apesar da floresta e do cerrado aberto apresentarem uma redução de 5 vezes no valor da AM, a floresta é a cobertura mais afetada. Esta apresentou um decréscimo médio, em termos numéricos, mais acentuado, de 146 ha, na AM, enquanto que a redução no valor de AM do cerrado aberto foi de 79 ha, ou seja, a redução da área média dos fragmentos de floresta foi quase 2 vezes maior do que a de fragmentos de cerrado aberto.

No cerrado *stricto*, nota-se uma redução de 77 ha, em 1975 para 39 ha em 1985, valor este mantido em 1996 e seguido por uma nova redução da AM em 2007 para 21 ha. A análise da AM para a classe agropastoril mostra um padrão descontínuo de aumentos e reduções ao longo do tempo. Em 1975 a AM registrada foi de 56 ha, em 1985 este valor reduziu para 49 ha, seguido de um aumento para 65,5 ha em 1996 e uma nova redução para 48 ha em 2007.

A redução da área média de fragmentos de floresta ao longo do tempo também foi observada juntamente com o aumento do número de fragmentos em dois assentamentos em no estado de Rondônia (BATISTELLA; MORAN, 2005).

Quando analisamos conjuntamente a área da classe, o IMF, a DF e a AM para a classe agropastoril, é possível notar que, apesar da área total, do IMF e da DF desta classe ter aumentado constantemente durante os 32 anos analisados, o valor da AM não segue esse mesmo padrão de aumento, mantendo um valor médio de 54 ha ao longo do tempo. Isto ocorre porque conforme novos fragmentos vão surgindo, a área total da classe aumenta, este aumento atinge um ponto onde que esses fragmentos começam a se unir, conseqüentemente, aumentando o IMF e a AM. No entanto, a criação de novos e pequenos fragmentos faz com que o valor da AM diminua novamente.

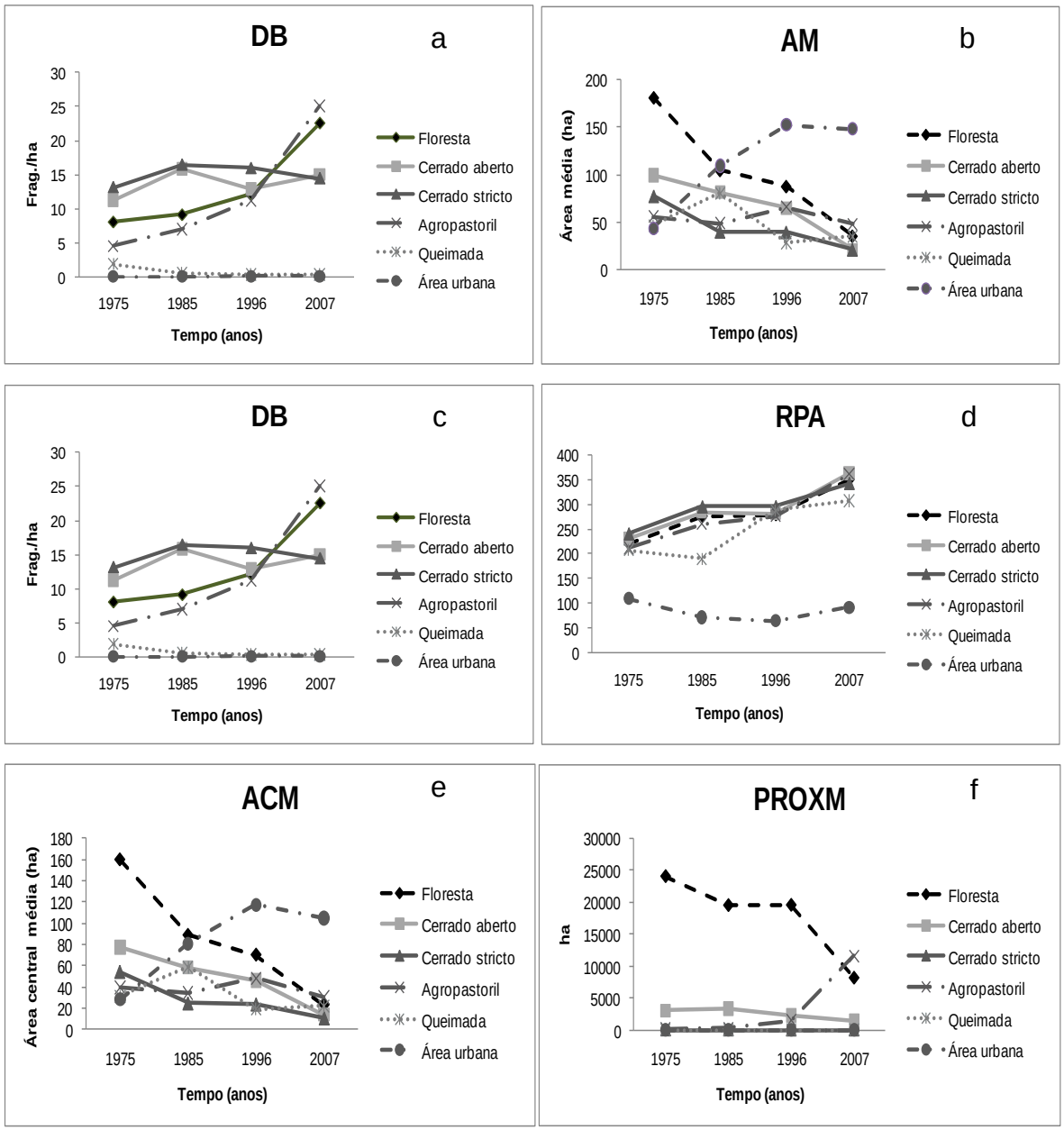

Figura 19 – Evolução dos valores das métricas de configuração da paisagem ao longo do tempo: a) densidade de fragmentos; b) área média dos fragmentos; c) densidade de borda; d) razão perímetro-área média; e) área central média; f) índice de proximidade médio

Um primeiro efeito da fragmentação de habitats é o aumento da área de borda, o qual é efetivamente quantificado pela densidade da mesma (HARGIS; BISSONETTE; DAVID, 1998). A quantidade de borda de uma determinada classe é um fator dependente do tamanho e forma dos fragmentos. Apesar de ser amplamente aceito que o efeito de borda deve ser analisado em relação a um organismo alvo, pois nem todas as espécies, sejam plantas ou animais, respondem da mesma forma a este efeito

(MCGARIGAL et al. 2002), a intenção deste estudo foi avaliar a quantidade de habitats que ainda mantêm as funções ecológicas originais preservadas.

A análise da densidade de borda (DB) (Figura 19c) mostra que as classes floresta e agropastoril apresentaram uma evolução similar ao longo do tempo, com um aumento da DB. Em 1975, floresta apresentava DB de 8 $m.ha^{-1}$ e em 2007 este valor passa para 22 $m.ha^{-1}$. Em relação às fisionomias de cerrado, essa variação foi diferente. O cerrado aberto apresentava em 1975 uma DB de 11 $m.ha^{-1}$, valor este que aumentou para 16 $m.ha^{-1}$ em 1985, seguido de redução para 13 $m.ha^{-1}$ em 1996 e um novo aumento para 15 $m.ha^{-1}$ em 2007. Em relação ao cerrado *stricto*, foi observado inicialmente um aumento, passando de 13 para 16 $m.ha^{-1}$ entre 1975 e 1985, após esse período a DB desta classe manteve seu valor em torno de 16 $m.ha^{-1}$ em 1996, seguido de redução para 14 $m.ha^{-1}$ em 2007. Assim como a floresta, as áreas agropastoris tiveram um aumento constante ao longo do tempo, sendo esta, a classe que apresentou o maior aumento da DB, passando de 4 $m.ha^{-1}$ em 1975 para 25 $m.ha^{-1}$ em 2007. Este aumento da DB da classe agropastoril esta relacionado com a expansão deste uso da terra sobre as coberturas nativas da área estudada. Sendo assim, é possível afirmar que a floresta foi a classe mais afetada pelo avanço das áreas agropastoris em relação ao aumento da quantidade de borda nos fragmentos florestais, além disso, é possível verificar que este aumento foi mais intenso após 1996.

A análise da razão perímetro-área (RPA) (Figura 19d) mostra um comportamento semelhante da variação ao longo do tempo dos valores desta métrica para todas as classes. Em um primeiro momento (1975 a 1985), observa-se um aumento na complexidade de forma dos fragmentos, que passaram de 221 para 275 (floresta), 230 para 284 (cerrado aberto), 241 para 296 (cerrado *stricto*) e 211 para 261 (agropastoril). Em 1996, com exceção da classe agropastoril que registrou o aumento para 276, as alterações nos valores da RPA foram insignificantes para floresta e ambos os cerrados. Em 2007, um novo aumento foi verificado, alcançando 349, 363, 343 e 361 para floresta, cerrado aberto, cerrado *stricto* e agropastoril, respectivamente, indicando que com o passar do tempo, os fragmentos de todas as classes foram se tornando cada vez mais dendríticos.

A limitação desta métrica como índice de forma é que ela varia com o tamanho do fragmento, ou seja, mantendo a forma de um fragmento constante, um aumento do tamanho deste fragmento causará uma redução da razão perímetro-área (MCGARIGAL et al. 2002).

Como pode ser observado na Figura 19e, os padrões de evolução da área central média (ACM) são semelhantes aos encontrados para a AM (Figura 19b), mostrando uma considerável redução da área central média dos fragmentos de vegetação nativa e uma flutuação dos valores de ACM da classe agropastoril. Entre 1975 e 2007, foi observada uma redução da área central média (ACM) de 160 ha para 23 ha, de 77 para 14 ha e de 54 para 11 ha nos valores da floresta, do cerrado aberto e do cerrado *stricto*, respectivamente. Estes resultados, demonstram uma elevada redução de 7 vezes na ACM da floresta e 5,5 vezes para o cerrado aberto e 5 vezes para o cerrado *stricto*. No entanto, a diferença entre a ACM inicial e final mostra que o tamanho médio dos fragmentos de floresta reduziram 137 ha, mais do que o dobro da redução registrada para o cerrado aberto (63 ha) e o triplo da redução do cerrado *stricto* (43 ha), demonstrando que esta foi a fisionomia mais afetada na área estudada. A análise da ACM para a classe agropastoril mostra um padrão descontínuo com aumentos e reduções ao longo do tempo. Em 1975 a ACM era de 39 ha, sendo que em 1985 este valor reduziu para 34 ha, seguido de um aumento para 48 ha em 1996 e uma nova redução para 30 ha em 2007.

A área central média, diferente da área do fragmento, fornece informações sobre a quantidade de habitats, excluindo o efeito de borda, e que ainda preservam a maior parte das funções ecologias existentes. Portanto, a área central é uma medida dependente da complexidade de forma dos fragmentos (GUSTAFSON, 1998; MCGARIGAL et al. 2002), pois mantendo a área constante, quanto mais recortado ou alongado for o fragmento, menor área central ele terá.

O índice de proximidade média (PROXM) é uma medida efetiva que avalia o grau de isolamento de fragmentos de vegetação nativa remanescente ou áreas convertidas (HARGIS; BISSONETTE; DAVID, 1998). O valor desta métrica aumenta conforme a vizinhança vai sendo ocupada por fragmentos da mesma classe e também quando estes fragmentos vão ficando mais próximo e contínuos (MCGARIGAL et al. 2002).

Em relação a este índice, como pode ser observado na Figura 19f, houve uma diminuição na proximidade entre fragmentos de todas as classes de vegetação nativa. Em termos de redução absoluta, floresta foi a mais afetada, passando de 24.025 para 8.241, ou seja, uma redução de 15.784 nos valores de proximidade média entre seus fragmentos, enquanto o cerrado aberto passou de 3.086 para 1.435 e o cerrado *stricto* de 7.313 para 187, durante o período de 1975 a 2007. A substituição da cobertura nativa por áreas agropastoris resultou em um aumento de 67 vezes nos valores de proximidade dos fragmentos agropastoris no período analisado, mostrando que os fragmentos desta classe estão cada vez mais próximos. Em relação às fisionomias de cerrado, foi verificada uma pequena redução na proximidade dos fragmentos de cerrado aberto, sendo que a distância entre os fragmentos dobrou entre 1975 e 2007. Apesar do cerrado aberto não ter sido tão afetado em relação ao distanciamento dos fragmentos o mesmo não ocorre para o cerrado *stricto* que passou por uma redução de 45 vezes no mesmo período. Dessa forma, apesar da floresta apresentar uma grande redução dos valores deste índice é o cerrado *stricto* que esta sofrendo as maiores conseqüências destas alterações, pois é a fisionomia que apresenta a menor quantidade de fragmentos dentro do raio de 800 m da vizinhança dos fragmentos, utilizada para o cálculo deste índice. Este aumento da distância entre os fragmentos pode dificultar ou até impedir o fluxo gênico de algumas espécies, isolando populações de animais ou plantas presentes neste fragmento.

O isolamento dos fragmentos de vegetação nativa implica em prejuízos relacionados à limitação do deslocamento de espécies e interações intra-específicas devido ao isolamento da população, aumentando a possibilidade de endo-cruzamentos (McGARIGAL et al. 2002).

Os índices da paisagem mostram um padrão típico de fragmentação das coberturas nativas observada em outros estudos (FERRAZ et al., 2005; REED; JOHNSONBARNARD; BAKER, 1996), nos quais foi verificado um aumento na densidade e distância de fragmentos e redução da dominância.

Apesar de ainda existirem dificuldades para a interpretação dos fatores e processos biofísicos e sócio-econômicos através do uso de métricas da paisagem, estas têm

funcionado como uma linguagem universal para descrever os padrões das paisagens (IMBERNON; BRANTHOMME, 2001).

Em relação à configuração da paisagem, foi observada uma considerável redução de grandes fragmentos, principalmente de floresta. Esta redução foi acompanhada de um aumento no número de pequenos fragmentos, que por sua vez, esta relacionado com o aumento da densidade de borda, diminuição das áreas centrais médias e aumento da distância entre os fragmentos.

4.4 Conclusões

A análise da estrutura da paisagem mostrou que, proporcionalmente, as áreas de floresta e cerrado *stricto* foram as classes mais afetadas pelas conversões em áreas agropastoris na área de estudo. Tal fato está relacionado com a topografia, tipos de solo e presença de áreas protegidas na parte central da bacia, a qual apresenta uma grande planície de inundação, com a presença de formações de cerrado aberto. Desta forma, esta dinâmica sazonal de inundação e a existência das áreas protegidas dificultam a conversão desta área. Entretanto, devido à dificuldade de avaliar a qualidade das mesmas através de imagens de satélite, não podemos afirmar que estas são áreas conservadas. O principal fator que dificulta esta avaliação é o fato de que as áreas de cerrado, principalmente as de formações mais abertas, apesar de não serem convertidas são utilizadas como pastagens naturais, ou seja, há mudança no uso, apesar de não haver mudança na cobertura. O uso do fogo é a principal forma de manejo utilizada pelos criadores de gado na região. Embora o cerrado apresente certas adaptações ao fogo, a freqüência destes eventos causa diversos impactos negativos, tanto para a fauna quanto para a flora.

A redução de grandes fragmentos, principalmente de floresta, acompanhada de um aumento no número de pequenos fragmentos, relacionado com o aumento da densidade de borda, diminuição das áreas centrais médias e aumento da distância entre os fragmentos, revelou uma paisagem com um elevado índice de fragmentação, principalmente nas áreas de floresta e cerrado *stricto*, que na sua maioria não são atingidas pela cheia do rio.

A área estudada abrange a maioria das terras protegidas da bacia do rio Araguaia, sendo cinco unidades de conservação de proteção integral (UC) e 10 terras indígenas (TI), ocupando uma área correspondente a 17% da área total estudada, porém grande parte destas se concentra na planície de inundação. Assim, seria importante a criação de áreas protegidas que abrigassem áreas de floresta e cerrado *stricto* fora das áreas inundáveis, e que pudessem ser conectadas com outras reservas em bacias hidrográficas vizinhas.

Estudos de ecologia da paisagem são importantes por fornecerem informações a respeito da qualidade do ambiente para o desenvolvimento de um planejamento regional mais adequado. Desta forma, os resultados aqui obtidos mostram um panorama da qualidade dos remanescentes de vegetação nativa, que podem ser utilizados para a seleção de novas áreas destinadas a preservação ou também para uma avaliação do estado de conservação das UCs existentes na área**.**

REFERÊNCIAS

ALVES, D.S.; PEREIRA, J.L.G.; SOUSA, C.L.D.; SOARES, J.V.; YAMAGUCHI, F. Characterizing landscape changes in central Rondonia using Landsat TM imagery. **International Journal of Remote Sensing,** London, v.20, p.2877-2882, 1999.

ANA. **Divisão hidrográfica nacional**: região hidrográfica do Tocantins-Araguaia. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/PlanejHidrologico/pbhta/PlanoEstrategicodeRecursosHidricos/CaracterizacaodaRegiaoHidrograficaTocantins-Araguaia.pdf> Acesso em: 15 fev. 2008.

ANDERSON, L.O. **Classificação e monitoramento da cobertura vegetal do estado do Mato Grosso utilizando dados multitemporais do sensor MODIS**. 2004. 247p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004.

ANDREAE, M.O.; CRUTZEN, P.J. Atmospheric Aerosols: Biogeochemical Sources and Role in Atmospheric Chemistry. **Science,** Washington, v.276, n.5315, p.1052-1058, may 16, 1997.

BALLESTER, M.V.R.; VICTORIA, D.D.; KRUSCHE, A.V.; COBURN, R.; VICTORIA, R.L.; RICHEY, J.E.; LOGSDON, M.G.; MAYORGA, E.; MATRICARDI, E. A remote sensing/GIS-based physical template to understand the biogeochemistry of the Ji-Parana river basin (Western Amazonia). **Remote Sensing of Environment,** New York, v.87, n.4, p.429-445, nov. 2003.

BALLESTER, M. V. R. **Mudanças na cobertura e uso do solo em paisagens do Brasil tropical e suas consequências para o funcionamento dos ecossistemas aquáticos**. 2008. 117p. Tese (Livre Docencia) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

BATISTELLA, M.; MORAN, E.F. Dimensões humanas do uso e cobertura das terras na Amazônia: uma contribuição do LBA. **Acta Amazonica,** Manaus, v.35, p.239-247, 2005.

CARDILLE, J.; TURNER, M.; CLAYTON, M.; GERGEL, S.; PRICE, S. METALAND: Characterizing spatial patterns and statistical context of landscape metrics. **Bioscience,** Washington, v.55, n.11, p.983-988, 2005.

CARDILLE, J.A.; FOLEY, J.A. Agricultural land-use change in Brazilian Amazonia between 1980 and 1995: Evidence from integrated satellite and census data. **Remote Sensing of Environment,** New York, v.87, n.4, p.551-562, nov. 2003.

COLLINGE, S.K. Ecological consequences of habitat fragmentation: Implications for landscape architecture and planning. **Landscape and Urban Planning,** Amsterdam, v.36, n.1, p.59-77, oct. 1996.

COSTA, M.H.; BOTTA, A.; CARDILLE, J.A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of Hydrology,** Amsterdam, v.283, n.1/4, p.206-217, dec. 2003.

COUTINHO, A. C. **Dinâmica das queimadas no estado do Mato Grosso e suas relações com as atividades antrópicas e a economia local**. 2005. 308p. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

DALE, V. H.; ONEILL, R. V.; SOUTHWORTH, F.; PEDLOWSKI, M. MODELING EFFECTS OF LAND MANAGEMENT IN THE BRAZILIAN AMAZONIAN SETTLEMENT OF RONDONIA. **Conservation Biology,** Cambridge, v.8, n.1, p.196-206, mar. 1994.

DIEGUES, A.C.S. **Povos e águas:** inventário de áreas úmidas. São Paulo: Núcleo de apoio à pesquisa sobre populações humanas e áreas úmidas, USP, v.2. 2002. 597 p.

EVA, H.D.; BELWARD, A.S.; DE MIRANDA, E.E.; DI BELLA, C.M.; GOND, V.; HUBER, O.; JONES, S.; SGRENZAROLI, M.; FRITZ, S. A land cover map of South America. **Global Change Biology,** Oxford, v.10, n.5, p.731-744, may 2004.

FAHRIG, L. How much habitat is enough? **Biological Conservation,** Essex, v.100, n.1, p.65-74, 2001.

FAHRIG, L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. **Annual Review of Ecology Evolution and Systematics,** Palo Alto, v.34, p.487-515, 2003.

FERRAZ, S.F.D.; VETTORAZZI, C.A.; THEOBALD, D.M.; BALLESTER, M.V.R. Landscape dynamics of Amazonian deforestation between 1984 and 2002 in central Rondonia, Brazil: assessment and future scenarios. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v.204, n.1, p.67-83, jan. 2005.

FERREIRA, L.G.; YOSHIOKA, H.; HUETE, A.; SANO, E.E. Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in the Brazilian Cerrado: An analysis within the Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA). **Remote Sensing of Environment,** New York, v.87, n.4, p.534-550, nov. 2003.

FERREIRA, M.E. **Modelagem da dinâmica de paisagem do cerrado**. 2009. 115p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

GALPARSOSO, L. U. FERNÁNDEZ, S. P. **Medidas de concordancia**: el índice Kappa. 2001. Disponível em: <http://www.fisterra.com/mbe/investiga/kappa/kappa.htm>. Acesso em: 20 jul. 2008.

GERGEL, S.E.; TURNER, M.G. **Learning landscape ecology:** a practical guide to concepts and techniques. New York: Springer-Verlag, 2002. 316 p.

GUSTAFSON, E.J. Quantifying landscape spatial pattern: What is the state of the art? **Ecosystems,** New York, v.1, n.2, p.143-156, mar. 1998.

GUSTAFSON, E.J.; PARKER, G.R. Relationships between landcover proportion and indexes of landscape spatial pattern. **Landscape Ecology,** Ar Lelystad, v.7, n.2, p.101-110, 1992.

HANADA, L.C. **Mudança no uso e cobertura do solo na fronteira agrícola da Amazônia Ocidental Bacia do Ji-Paraná – Rondônia**. 2004. 74p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

HARGIS, C.D.; BISSONETTE, J.A.; DAVID, J.L. The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation. **Landscape Ecology,** Dordrecht, v.13, n.3, p.167-186, 1998.

HERZOG, F.; LAUSCH, A.; MULLER, E.; THULKE, H.H.; STEINHARDT, U.; LEHMANN, S. Landscape metrics for assessment of landscape destruction and rehabilitation. **Environmental Management,** New York, v.27, n.1, p.91-107, 2001.

HOUGHTON, R.A.; SKOLE, D.L.; NOBRE, C.A.; HACKLER, J.L.; LAWRENCE, K.T.; CHOMENTOWSKI, W.H. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. **Nature,** London, v.403, n.6767, p.301-304, 2000.

IBGE. **Mapa de vegetação do Brasil**. Brasil: IBGE, 2004. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/default.php>. Escala 1: 5.000.000. Acesso em: 15 mai. 2008.

IBGE. Banco de dados agregados. **SIDRA**: sistema de recuperação automática. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em: 15 mai. 2008.

IMBERNON, J.; BRANTHOMME, A. Characterization of landscape patterns of deforestation in tropical rain forests. **International Journal of Remote Sensing,** London, v.22, n.9, p.1753-1765, jun. 2001.

INPE. Monitoramento da floresta Amazônica brasileira por satélite. **PRODES**. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>. Acesso em: 11 jun. 2008.

KLINK, C.A.; MACHADO, R.B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology,** Boston, v.19, n.3, p.707-713, 2005.

KRUSCHE, A.V.; BALLESTER, M.V.R.; VICTORIA, R.L.; BERNARDES, M.C.; LEITE, N.K.; HANADA, L.; VICTORIA, D.D.C.; TOLEDO, A.M.; OMETTO, J.P.; MOREIRA, M. Z.; GOMES, B.M.; BOLSON, M.A.; GOUVEIA NETO, S.; BONELLI, N.; DEEGAN, L.; NEILL, C.; THOMAS, S.; AUFDENKAMPE, A.K.; RICHEY, J.E. Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. **Acta Amazonica,** Manaus, v.35, p.197-205, 2005.

LI, X.Z.; HE, H.S.; BU, R.C.; WEN, Q.C.; CHANG, Y.; HU, Y.M.; LI, Y.H. The adequacy of different landscape metrics for various landscape patterns. **Pattern Recognition,** Kidlington, v.38, n.12, p.2626-2638, 2005.

MACHADO, R.B.; AGUIAR, L.M.S.; CASTRO, L.M.S.; NOGUEIRA, C.C.; RAMOS NETO, M.B. Caracterização da fauna e flora do Cerrado. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. (Ed.). **Savanas:** desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Brasília: EMBRAPA Cerrados, 2008. chap. 9. p.284-300.

MACHADO, R.B.; RAMOS NETO, M.B.; PEREIRA, P.G.P.,; CALDAS, E.F.; GONÇALVES, D.A.; SANTOS, N.S.; TABOR, K.; STEININGER, M. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Disponível em: <www.conservation.org.br/arquivos/RelatDesmatam**Cerrado**.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2008.

MARTINS, I.C.M.; BRITO, C.F.P.; MARTINS, A.K.E.; VIANA, R.H.O. Análise temporal da dinâmica do uso e cobertura da terra nas Fazendas Lago Verde e Barreirinhas, localizada no município de Lagoa da Confusão – TO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2007. p. 2833-2839.

MCGARIGAL, K.; MARKS, B.J. **FRAGSTATS:** spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Portland: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995. 122 p.

MCGARIGAL, K.; MCCOMB, W.C. Relationship between landscape structure and breeding birds in the Oregon coast range. **Ecological Monographs,** Lawrence, v.65, n.3, p.235-260, 1995.

MCGARIGAL, K.; CUSHMAN, S.A.; NEEL, M.C.; ENE, E. **FRAGSTATS**: Spatial

Pattern Analysis Programme for Categorical Maps. Amherst, 2002. Disponível em: <www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>. Acesso em: 13 jun. 2007.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado – PPCerrado. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=1&idConteudo=9410>. Acesso em: 05 mar. 2010.

NEILL, C.; DEEGAN, L.A.; THOMAS, S.M.; HAUPERT, C.L.; KRUSCHE, A.V.; BALLESTER, V.M.; VICTORIA, R.L. Deforestation alters the hydraulic and biogeochemical characteristics of small lowland Amazonian streams. **Hydrological Processes,** Chichester, v.20, n.12, p.2563-2580, aug. 2006.

PRIMACK, R.B. **Essentials of conservation biology**. Sunderland: Sinauer Associates, 2002. 585 p.

QUESADA, C.A.; MIRANDA, A.C.; HODNETT, M.G.; SANTOS, A.J.B.; MIRANDA, H.S.; BREYER, L.M. Seasonal and depth variation of soil moisture in a burned open savanna (campo sujo) in central Brazil. **Ecological Applications,** Tempe, v.14, n.4, p.S33-S41, aug. 2004.

REED, R.A.; JOHNSONBARNARD, J.; BAKER, W.L. Fragmentation of a forested Rocky Mountain landscape, 1950-1993. **Biological Conservation,** Essex, v.75, n.3, p.267-269, 1996.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, T.M.B. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. (Ed.). **Cerrado:** ambiente e flora. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1998. chap. p.98-106.

RIITTERS, K.H.; ONEILL, R.V.; HUNSAKER, C.T.; WICKHAM, J.D.; YANKEE, D.H.; TIMMINS, S.P.; JONES, K.B.; JACKSON, B.L. A factor-analysis of lanscape pattern and structure metrics. **Landscape Ecology,** Ar Lelystad, v.10, n.1, p.23-39, 1995.

SANO, E.E.; BARCELLOS, A.O.; BEZERRA, H.S. Assessing the spatial of cultivated pastures in the Brazilian savanna. **Pasturas Tropicales,** Cali, v.22, n.3, p.2-15, 2001.

SANO, E.E.; FERREIRA, L.G.; HUETE, A.R. Synthetic aperture radar (L band) and optical vegetation indices for discriminating the Brazilian savanna physiognomies: A comparative analysis. **Earth Interactions,** Boston, v.9, p.1-15, 2005.

SEPLAN. **Atlas do Tocantins:** subsídios à gestão e planejamento territorial. Palmas: SEPLAN, 2008. 64p.

SFLA. **Maryland's Strategic Forest Lands Assessment**. Disponível em: http://www.dnr.state.md.us/forests/planning/sfla/index.htm. Acesso em: 22 set. 2009.

SKOLE, D.; TUCKER, C. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988 **Science,** Washington, v.260, n.5116, p.1905-1910, jun. 1993.

THOMAS, S.M.; NEILL, C.; DEEGAN, L.A.; KRUSCHE, A.V.; BALLESTER, V.M.; VICTORIA, R.L. Influences of land use and stream size on particulate and dissolved materials in a small Amazonian stream network. **Biogeochemistry,** Dordrecht, v.68, n.2, p.135-151, apr. 2004.

TURNER, M. Spatial and temporal analysis of landscape patterns. **Landscape Ecology,** Dordrecht, v.4, n.1, p.21-30, 1990.

TURNER, M.G. Landscape ecology: the effect of pattern onprocess. **Annual Review of Ecology and Systematics,** Palo Alto, v.20, p.171-197, 1989.

TURNER, M.G.; GARDNER, R.H.; O'NEILL, R.V. **Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process**. New York: Springer-Verlag, 2001. 404 p.

VALENTE, C.R. **Controles físicos na evolução das unidades geoambientais da bacia do rio Araguaia, Brasil central**. 2007. 156p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

WOODROFFE, R.; GINSBERG, J.R. Edge effects and the extinction of populations inside protected areas. **Science,** Washington, v.280, n.5372, p.2126-2128, jun. 26, 1998.

5 ANÁLISE ESPACIAL DA VEGETAÇÃO NATIVA PRIMÁRIA NA BACIA DO MÉDIO RIO ARAGUAIA E O PAPEL DE FATORES FÍSICOS E POLÍTICOS NA CONSERVAÇÃO DA VEGETAÇÃO

Resumo

A bacia do rio Araguaia abrange uma considerável parcela do bioma cerrado e parte da Floresta Amazônica, ocupando quase toda parte leste da zona de transição entre esses dois biomas. Toda esta faixa de transição tem passado por intensas alterações nas últimas décadas por conta das atividades humanas, no entanto a região ainda é considerada como um dos poucos grandes blocos de vegetação nativas ainda existentes do cerrado. A fim de uma análise mais detalhada para avaliar as condições atuais do grau de preservação desta região e os possíveis fatores que contribuem para isto, foi realizado o mapeamento da vegetação primária e a verificação dos fatores atuantes na conservação e degradação desta área. Foi verificado que em 2007, dos 166 mil km² da área estudada, 86.808 km² correspondem a áreas que desde 1975 não sofreram conversão. Com isso foi realizada uma análise de regressão logística para identificar o tipo de influência, positiva ou negativa, dos possíveis fatores locais na presença destes remanescentes de vegetação nativa primária. Os fatores testados foram: distância de estradas, distância de cidades, declividade do terreno, situação fundiária, fertilidade do solo e ocorrência de alagamento. Foram encontrados valores significativos ($p<0,05$) para todas as variáveis, mostrando que o distanciamento de estradas e cidades, o aumento da declividade, a presença de unidades de conservação de proteção integral, terras indígenas, áreas alagáveis e áreas com baixa fertilidade apresentam influência positiva para a presença e manutenção de áreas primárias. A ocorrência de vegetação primária em muitos casos esta associada a limitações ambientais intrínsecas da área que dificultam ou impossibilitam a conversão em áreas agrícolas. As analises de fatores físicos ou políticos, os quais podem ter influência direta ou indireta nas atividades de desmatamento ou na conservação da vegetação nativa são muito importantes para um melhor entendimento da dinâmica regional de uso do solo, além de fornecer informações de apoio para um planejamento regional mais eficiente e sustentável.

Palavras-chave: Transição Amazônia-Cerrado; Desmatamento; Remanescentes nativos; Regressão logística

SPATIAL ANALYSIS OF PRIMARY NATIVE VEGETATION IN THE MIDDLE ARAGUAIA RIVER BASIN AND THE ROLE OF PHYSIC AND POLITIC FACTORS ON THE CONSERVATION OF NATIVE VEGETATION

Abstract

The Araguaia river basin covers a considerable extent of the cerrado biome and part of Amazon rain forest, occupying almost all the eastern part of the transition zone between these biomes. The whole range of this transition area has undergone an

intense alteration during the last decades due to human activities. This region is still considered as one of the few large remaining blocks of native cerrado vegetation. In order to obtain a more detailed analysis to assess the current conditions of the degree of preservation of this region and the verification of factors that contribute to this, it was carried out a mapping of primary vegetation and the inspection of the factors that can contribute to conservation and degradation of the area. It was found that in 2007, of the 166,000 km² that covers the whole studied area, 86,808 km² were covers by primary vegetation which have not change since 1975. With this was done a logistic regression analyses to identify the type of influence, positive or negative, of the possible local factors in the presence of remnants of primary native vegetation. The tested factors were: distance from roads, distance from cities, slope, land tenure, soil fertility and the occurrence of flooding. We found significant values ($p<0.05$) for all variables, showing that distance from roads and cities, the increase in slope, the presence of protected areas, indigenous lands, wetlands and areas with low fertility have positive influence on the presence and maintenance of this primary areas. The occurrence of primary vegetation in many cases is associated with environmental constraints, which are inherent of the area, that can difficult or not permit the use for agriculture. The analysis of physical and political local factors, which may have direct or indirect influence on the conservation of native vegetation or factors related to deforestation activities are very important for a better understanding of the dynamics of regional land use, and provide supporting information for a more efficient and sustainable regional landscape planning.

Keywords: Amazon-Cerrado transition; Degradation; Native vegetation remnants; Logistic regression

5.1Introdução

Apesar do cerrado estar sendo convertido a uma taxa nunca antes observada na história humana em qualquer outro bioma (LATRUBESSE et al., 2009), as atenções sobre os impactos do avanço da fronteira agrícola na porção central do Brasil têm se concentrado, principalmente, na floresta tropical amazônica (ALVES et al., 1999; BATISTELLA; MORAN, 2005; CARDILLE; FOLEY, 2003; FEARNSIDE, 2006; LAURANCE et al., 2004; MAHAR, 1989).

Dos mais de dois milhões de km² ocupados pelo bioma cerrado no Brasil, 30% está localizado no estado do Tocantins, em uma área drenada pelos rios Tocantins-Araguaia. O intenso uso e ocupação do solo na alta bacia do Araguaia resultaram em impactos indiretos no médio Araguaia, trecho onde o rio é muito dinâmico, causando mudanças morfológicas significativas no leito do rio, nos últimos 40 anos (LATRUBESSE; STEVAUX, 2006). Por outro lado, na floresta tropical amazônica o

processo de desmatamento está concentrado, principalmente, ao longo do arco do desmatamento (FERREIRA; VENTICINQUE; ALMEIDA, 2005), o qual abrange toda a borda sul e leste do bioma amazônico, na região de transição entre o cerrado e a floresta. Este processo resulta também na ocupação da borda oeste da bacia do rio Araguaia, a qual é atingida por este intenso processo de desmatamento.

As áreas do Cerrado que se estendem pelo médio Araguaia e o seu mais importante afluente, o rio das Mortes, podem ser consideradas um dos últimos remanescentes ainda preservados deste ecossistema, o qual foi intensamente ocupado durante as últimas quatro décadas. A vegetação da planície aluvial e seu sistema de lagos são alguns dos últimos refúgios para diversas espécies da fauna do Cerrado (LATRUBESSE; STEVAUX, 2006).

Os ecossistemas mais afetados pela expansão da fronteira agrícola, majoritariamente pelas culturas de soja e pasto, na Amazônia têm sido os de floresta de transição, que ocorrem nos estados de Mato Grosso e Pará, mais especificamente em uma zona entre a floresta densa e o cerrado do planalto central. É esta floresta que requer mais cuidados pelo nível de ameaça que vem sofrendo e por sua importância para a regulação do clima e a biodiversidade regional. Por exemplo, no Mato Grosso apenas 62% desse tipo de floresta permanecem intactas e continuam sendo alvo de desmatamento intenso, já que ocupam as áreas mais aptas para a agropecuária. Além da pressão de desmatamento, a floresta de transição é altamente vulnerável ao fogo e tem sido atingida, freqüentemente, por incêndios florestais (ALENCAR et al., 2004).

Em estudo sobre a cobertura e uso do solo realizado para todo o cerrado no ano de 2002, Machado, et al. (2004) caracterizaram a região da Ilha do Bananal como um dos grandes blocos de vegetação nativa ainda existentes no Bioma. A existência deste e de outros blocos de vegetação nativa no cerrado está, na maioria dos casos, relacionada às regiões onde as características do terreno como declividade acentuada, solos pouco profundos ou sujeitos à inundação periódica dificultam ou impossibilitam a implantação de grandes projetos agrícolas.

O desmatamento é um fenômeno de natureza complexa e sua origem pode ser atribuída a uma série de fatores (ALENCAR et al., 2004), que por sua vez, podem ter sua origem relacionada a fenômenos de escala local, regional ou até mesmo global.

Exemplos de casos que foram observados em diversos estudos e que apresentam uma grande influência no aumento das atividades de desmatamento são fatores relacionados a incentivos fiscais (MAHAR, 1989; NEPSTAD et al., 2001), economia nacional (ALENCAR et al., 2004), expansão da indústria madeireira e da agroindústria (MATTOS; UHL, 1994; ALENCAR et al., 2004; MARGULIS, 2004), abertura de estradas (MORAN, 1981; CARVALHO et al., 2001; FERREIRA, 2001; NEPSTAD et al., 2001; LAURANCE et al., 2004), declividade, tipo de solo, entre outros.

Em contrapartida, políticas públicas mais conservacionistas, visando à criação de unidades de conservação, tanto de preservação integral (parques nacionais e estaduais, estações ecológicas, reservas biológicas, entre outras), quanto de uso sustentável dos recursos naturais (reservas extrativistas, reservas de desenvolvimento sustentável, e florestas nacionais) e demarcação de terras indígenas, são componentes importantes dentro da estratégia de controle do desmatamento (ALENCAR et al., 2004).

Em função da elevada diversidade de espécies e a natureza das áreas inundadas, a faixa fluvial do Araguaia e a Planície do Bananal foram identificadas como áreas prioritárias para conservação pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2010). No entanto, a intensa e indiscriminada expansão de atividades agropecuárias e o inapropriado uso da terra nas últimas quatro décadas tem gerado uma ativa erosão em sua bacia (LATRUBESSE; STEVAUX, 2006) e poucos estudos sobre o estado de conservação desta região foram desenvolvidos.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi identificar e quantificar as áreas de vegetação primária existentes na paisagem regional do médio rio Araguaia e avaliar a influência que estradas, cidades, declividade, estrutura fundiária, fertilidade do solo e ocorrência de áreas sazonalmente alagáveis, apresentam em relação à presença de vegetação primária.

5.2 Materiais e Métodos

5.2.1 Descrição da área de estudo

O rio Araguaia faz parte da bacia hidrográfica do Araguaia-Tocantins na qual estão presentes os biomas Floresta Amazônica, ao norte e noroeste, e Cerrado nas demais áreas, e é considerada como um dos sistemas fluviais de maior importância da América do Sul, uma vez que sua área de drenagem inclui duas das mais espetaculares regiões fitogeográficas, que concentram rica e importante biodiversidade (ANA, 2008).

Esta área abrange a planície do Bananal, a qual compreende uma das principais planícies de inundação da América do Sul. Toda esta heterogeneidade de fisionomias vegetais, associada à crescente degradação causada pela interferência humana, gera uma complexa dinâmica de alterações na estrutura e distribuição da vegetação nativa local e conseqüentemente na paisagem.

Neste estudo foi analisada uma área de cerca de 166.000 km² que compreende a porção central da bacia do rio Araguaia, no Brasil central. A região compreende parte dos estados do Tocantins, Mato Grosso, Pará e Goiás (Figura 20). A região faz parte da zona de transição entre os biomas Floresta Tropical Úmida e Cerrado, sendo que este último ocupa, aproximadamente, três quartos da paisagem estudada.

As principais fisionomias de cerrado encontradas na região são: Campo Sujo Úmido, Campo Sujo com Murunduns e Cerrado Ralo (formações campestres); Cerrado Típico e Cerrado Denso (Cerrado Sentido Restrito); e Mata Seca e Cerradão (formações florestais) (RIBEIRO; WALTER, 1998).

Além de ser a principal bacia de drenagem do Cerrado, o rio Araguaia possuí ainda a mais importante planície de inundação do Brasil Central (LATRUBESSE et al., 2009), a do Bananal. Localizada na região do médio rio Araguaia, é caracterizada por uma planície aluvial quaternária bem desenvolvida, que se estende por mais de 1.100 km de Registro do Araguaia até Conceição do Araguaia (LATRUBESSE; STEVAUX, 2006; CARVALHO, 2009). Na porção norte desta bacia sedimentar ocorre a Ilha do Bananal, que é considerada a maior ilha fluvial do mundo.

Uma vasta área da planície do Bananal é periodicamente inundada, a paisagem é dominada por formações de vegetação rasteira e aberta como Campo Sujo Úmido e Campo Sujo com Murunduns, ocorrendo também floresta de galeria nas margens dos

rios. Já nas zonas de maior elevação ocorrem formações de Cerradão e Floresta Aluvial com dossel emergente (DIEGUES, 2002).

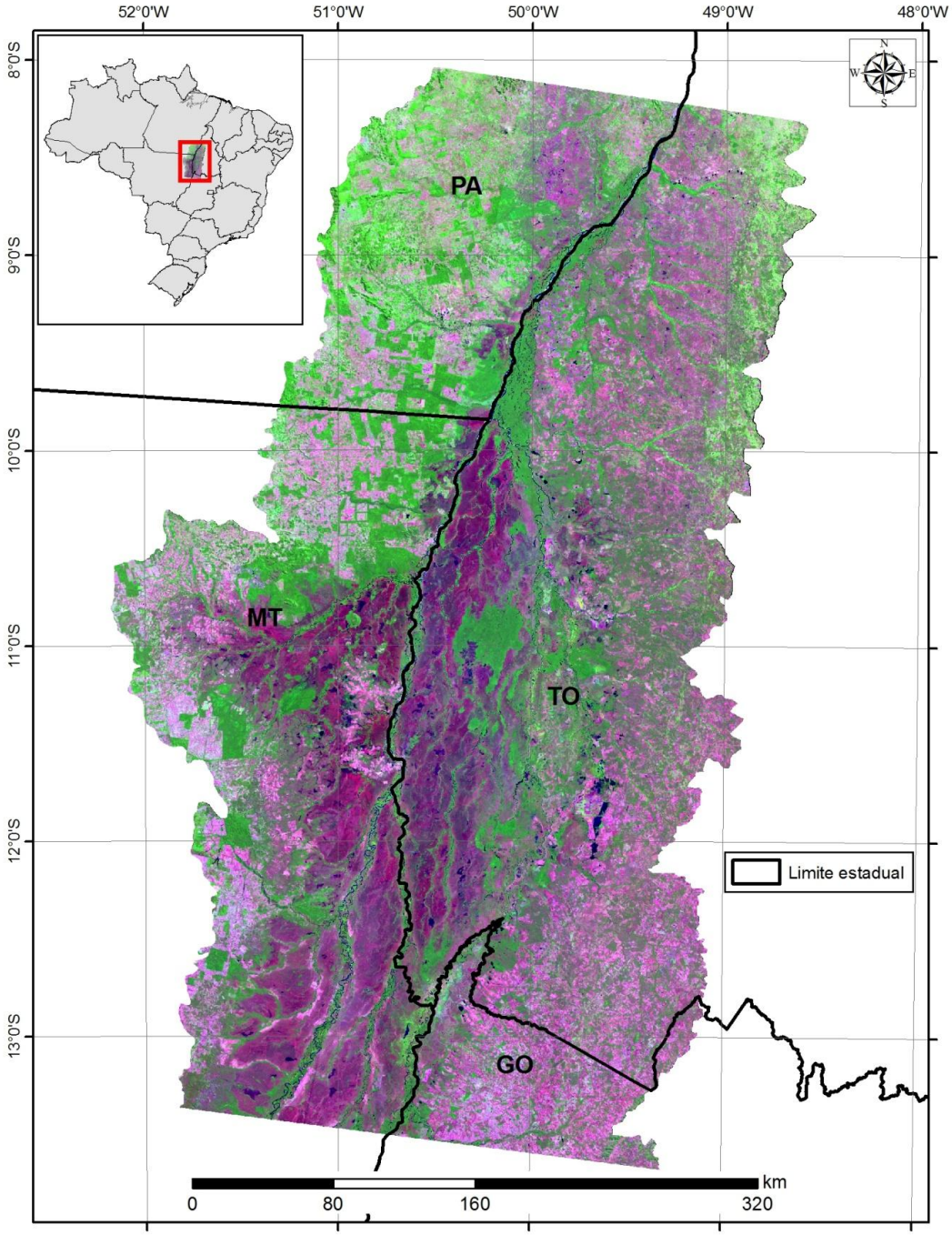

Figura 20 – Localização do trecho médio da bacia do Rio Araguaia mostrada em mosaico de imagens Landsat5-TM (R5G4B3) no ano de 2007

Em relação à fisionomia de Floresta Tropical, a área de estudo é constituída majoritariamente pela Floresta Ombrófila Aberta (IBGE, 2004) e a floresta de transição. Esta última é a fisionomia mais ameaçada do bioma amazônico e a sua perda sucessiva é preocupante não somente pelo valor ecológico intrínseco e ainda pouco conhecido que apresenta, mas também devido a sua estrutura aberta, que a torna mais susceptível ao fogo (ALENCAR et al., 2004).

Em termos de clima, duas estações são nitidamente marcadas na região de estudo, o verão (de novembro a abril) em que predominam as chuvas, e o inverno (de maio a outubro) quando ocorre o período da seca. A precipitação média anual varia de 1600 a 2100 $mm.ano^{-1}$ e a temperatura média anual é de 28º C (SEPLAN, 2008).

Na região há predomínio de plintossolos e solos concrecionários, ocorrendo também solos hidromórficos, latossolos e areias quartzosas (SEPLAN, 2008). Estes dois tipos de solos predominantes na região estudada apresentam limitações em relação à produção agrícola, principalmente, devido à drenagem pobre e a presença de concreções ferruginosas, respectivamente (COUTINHO, 2005).

A principal atividade econômica da região é a pecuária, que ocupa a maioria das áreas produtivas e que ocorre: em pastos plantados e naturais. As áreas inundáveis, dominantes na planície do Bananal, sustentam razoável carga animal na época seca, graças ao seu lençol freático superficial e à fertilização proporcionada pelos sedimentos depositados durante as inundações (DIEGUES, 2002).

5.2.2Identificação da vegetação primária

O mapa da vegetação primária existente em 2007 na bacia do médio Araguaia foi derivado utilizando operações de lógica booleana a partir de mapas de cobertura e uso do solo referente aos anos de 1975, 1985, 1996 e 2007. Detalhes sobre a metodologia empregada nestes mapeamentos podem ser obtidos no Capítulo 2.

Utilizando o programa ARCGIS 9.3, os mapas de cobertura e uso do solo de cada uma das datas analisadas foram utilizados para gerar outros mapas agrupando as classes de cobertura nativa (floresta, cerrado aberto e cerrado *stricto*) em uma única classe, chamada de vegetação primária. Estes mapas foram então cruzados a fim de

selecionar apenas as áreas em que ocorre vegetação nativa em todas as datas, eliminando, assim, áreas que já foram convertidas. Por sua vez, o mapa de vegetação primária assim obtido, foi combinado com o mapa de cobertura e uso do solo de 2007 para que cada classe de vegetação nativa fosse incorporada no mesmo.

5.2.3Fatores que influenciam a conservação da vegetação nativa

A existência e localização dos remanescentes de vegetação nativa podem ser influenciadas por diversos fatores, os quais estão principalmente relacionados a características do meio físico, existência de áreas protegidas ou proximidade de estradas e cidades. Portanto, neste trabalho foi testada a influência de seis fatores na ocorrência de remanescentes de vegetação primária: a) distância de estradas; b) distância de cidades; c) declividade do terreno; d) situação fundiária; e) fertilidade do solo; f) ocorrência de alagamento natural.

As informações referentes às estradas, cidades e fertilidade do solo foram obtidas dos mapas disponíveis no Centro de Sensoriamento Remonto do IBAMA (CSR-IBAMA) no endereço eletrônico http://siscom.ibama.gov.br/sitecsr/.

Os mapas de distância de estradas e cidades foram elaborados através do cálculo da distância linear perpendicular ao eixo das mesmas (Figuras 21a e 21b). Para a malha viária, foram utilizadas apenas as estradas federais e estaduais, sendo elas pavimentadas ou não. A área estudada conta com uma malha de 3350 km de rodovias federais e estaduais. Deste total, 1884 km são de rodovias pavimentadas, localizadas principalmente no estado do Tocantins. A extremidade oeste é atravessada pela BR-158, passando pelos estados do Mato Grosso e Pará, enquanto a borda leste da bacia é cortada pela BR-153, nos estados do Tocantins e Goiás. A região compreende 37 sedes municipais, sendo 21 deles pertencentes ao estado do Tocantins, 11 ao Mato Grosso, 03 ao Pará e 02 a Goiás. Devido aos elevados valores de distância de estradas e cidades, a distribuição destes valores foi corrigida utilizando transformação logarítmica (SERNEELS; LAMBIN, 2001).

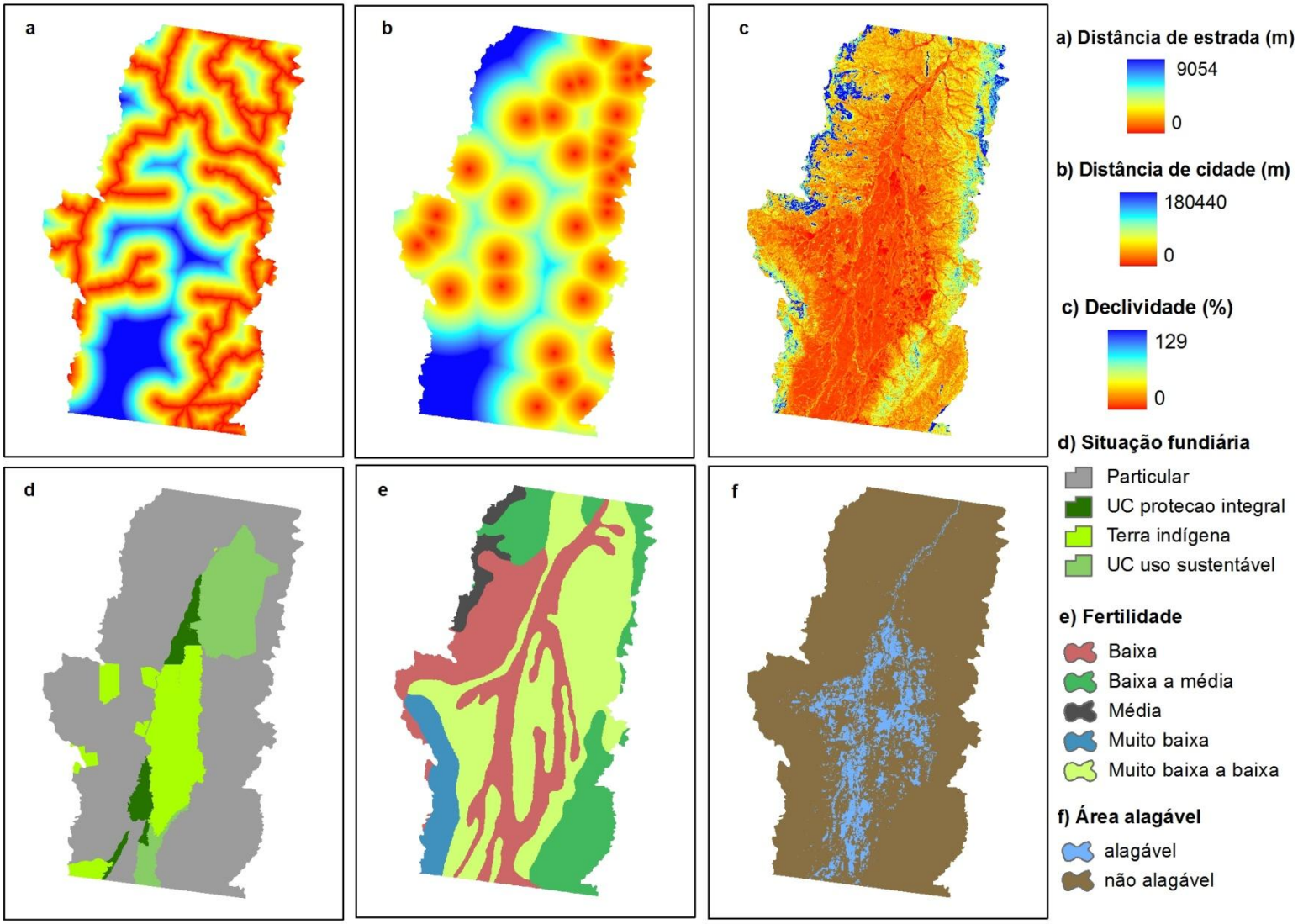

Figura 21 – Mapas dos fatores avaliados que podem apresentar alguma influência na presença de remanescentes de vegetação primária no trecho médio da bacia do Rio Araguaia; a) distância de estradas; b) distância de cidades; c) declividade do terreno; d) situação fundiária; e) fertilidade do solo; f) ocorrência de alagamento natural. Fonte: CSR-IBAMA (a, b e e), USGS (c), MMA (d) e EVA et al. 2002 (f)

O mapa de declividade do terreno, expresso em percentagem (Figura 21c), foi derivado do modelo digital de elevação do terreno obtido pelo processamento das cenas de Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), obtidas junto ao Serviço Geológico Americano (USGS, http://www.usgs.gov/) com uma resolução de 90m. A análise visual da Figura 21c permite observar uma extensa área plana dominando toda a parte sul e central da bacia, caracterizada pela planície sedimentar do Araguaia. As áreas com declividade mais acentuada se concentram, principalmente, nas porções noroeste e nordeste da região estudada.

O mapa da situação fundiária local foi construído através da junção dos mapas de terras indígenas (TIs), unidades de conservação (UCs) de proteção integral e unidades de conservação de uso sustentável, ambas federais e estaduais. Estes mapas foram obtidos junto ao Ministério do Meio Ambiente (MMA) no endereço eletrônico http://www.mma.gov.br/sitio/index.php.

A área estudada abrange a maioria das unidades de conservação e terras indígenas da bacia do rio Araguaia. As 10 terras indígenas, 05 unidades de conservação de proteção integral e 02 de uso sustentável presentes na área estudada, listadas na Tabela 7, ocupam uma área correspondente a aproximadamente 30% da área total estudada (Figura 21d). Além disso, foi determinado pelo MMA (2010) que grande parte da planície do Bananal, incluindo as TIs e UCs, são áreas de extrema prioridade de conservação.

Os dados sobre fertilidade do solo foram extraídos do mapa de aptidão agrícola do Brasil. Na área de estudo a classe dominante é composta por áreas com fertilidade muito baixa à baixa, localizadas ao longo de uma faixa central que vai do sul ao norte da região estudada. A segunda categoria em termos de área ocupada é fertilidade baixa, concentrada ao longo dos principais rios e na borda oeste (Tabela 8) (Figura 21e)

Os dados das áreas de ocorrência de alagamento natural foram obtidos do mapa de vegetação da América do Sul (EVA et al. 2002), o qual inclui áreas de campo e cerrado periodicamente inundáveis. A área alagável se concentra na porção central da área de estudo e ocupa 17.480km² (Figura 21f).

Tabela 7 – Informações das áreas protegidas existentes na região da bacia do médio rio Araguaia divididas por categorias. As UCs de proteção integral presentes na área correspondem a Parques Estaduais (P.E.), Parques Nacionais (P.N.) e Refúgio de Vida Silvestre (R.V.S.); as UCs de uso sustentável correspondem a Áreas de Proteção Ambiental (A.P.A.)

NOME	ÁREA (km²)	CATEGORIA	% DA ÁREA TOTAL
Karajá Santana do Araguaia	15	Terra Indígena	0.009
Parque do Araguaia	13510	Terra Indígena	8.130
Maraiwatsede	1652	Terra Indígena	0.994
Urubu Branco	1675	Terra Indígena	1.008
Tapirapé/Karajá	660	Terra Indígena	0.397
São Domingos - MT	58	Terra Indígena	0.035
Inawebohona	3771	Terra Indígena	2.269
Pimentel Barbosa	3274	Terra Indígena	1.970
Maranduba	2	Terra Indígena	0.001
Cacique Fontoura	321	Terra Indígena	0.193
TOTAL	**24938**	**10**	**15.006**
P. E. do Cantão	987	Proteção Integral	0.594
P.N. do Araguaia	1767	Proteção Integral	1.063
P. E. do Araguaia	2209	Proteção Integral	1.329
R.V.S. Quelônios do Araguaia	587	Proteção Integral	0.353
R.V.S. Corixão da Mata Azul	332	Proteção Integral	0.200
TOTAL	**5882**	**5**	**3.539**
A.P.A. Ilha do Bananal/Cantão	15770	Uso Sustentável	9.490
A.P.A. dos Meandros do Rio Araguaia	3293	Uso Sustentável	1.982
TOTAL	**19063**	**2**	**11.471**
TOTAL GERAL	**49883**	**17**	**30.017**

Tabela 8 – Classes de fertilidade que ocorrem na área estudada e a respectiva área ocupada por cada uma delas

CLASSES DE FERTILIDADE	ÁREA (km²)	% DA ÁREA TOTAL
Muito baixa	10.789	6.49
Muito baixa à baixa	68.370	41.16
Baixa	51.707	31.13
Baixa à média	30.193	18.18
Média	5.056	3.04

5.2.4Análise estatística

Para determinar a influência que cada um dos fatores escolhidos tem na presença e ausência de remanescentes de vegetação primária, foi realizada uma análise de regressão logística binária, pelo método de máxima verossimilhança, utilizando o programa estatístico Minitab. A regressão logística é um tipo especial de regressão, na qual a variável resposta é categórica, sendo que neste caso o melhor ajuste da curva é o em forma de “S” ou logístico, crescendo dos valores mínimos para uma assíntota máxima (GOTELLI; ELLISON, 2004). Esta análise estima os valores dos coeficientes para cada variável, com seus respectivos, desvios padrão e valor-*p*. Coeficientes com valor *p* superior a 0,05 indicam que não há evidências suficientes para a estimativa adequada do coeficiente de uma determinada classe, sendo neste caso, desconsiderados, na análise.

A regressão logística foi escolhida por ser a análise que melhor descreve os tipos de variáveis testadas, ou seja, variável dependente categórica e variável independente categórica e contínua.

Os resultados da análise de regressão logística podem indicar o efeito que cada uma das variáveis preditoras tem sobre a variável resposta, ou seja, se apresentam efeitos positivos ou negativos. Além disso, no caso das variáveis categóricas, é possível verificar o peso de cada classe desta variável apresenta em relação à presença de vegetação primária.

Para a análise de regressão logística, foi considerada apenas a presença ou ausência de vegetação nativa, ou seja, as três classes de cobertura nativa foram agrupadas em uma única classe, resultando em uma variável binária, mostrando sua presença ou ausência.

O mapa de vegetação primária foi utilizado como variável resposta no modelo de regressão e os mapas de distância de estradas, distância de cidades, fertilidade, situação fundiária, declividade e áreas alagáveis foram considerados variáveis preditoras. Os coeficientes obtidos somente foram aceito quando o valor p foi inferior a 0,05.

Devido à grande extensão da área estudada e o tamanho da célula dos mapas (80m), se a análise fosse efetuada célula a célula, teríamos mais de 38 milhões de amostras a serem processadas. Contudo, limitações computacionais não permitiram a análise de um número tão elevado de amostras. Desta forma, foi realizada uma amostragem com 50.000 pontos, distribuídos aleatoriamente pela área, considerando uma distância mínima de 100m entre eles, impedindo assim a ocorrência de dois ou mais pontos em uma mesma célula, duplicando a amostra (CHOMITZ; GRAY, 1996; MERTENS; LAMBIN, 2000; SERNEELS; LAMBIN, 2001; UGON, 2004). A informação de cada um dos mapas foi obtida para cada ponto, gerando uma tabela com todas as variáveis do estudo.

Neste trabalho não foram realizados testes para avaliar o peso de cada variável apresenta na predição de vegetação. Portanto, não foi possível diagnosticar quais fatores apresentam um peso maior na manutenção de vegetação primária.

5.3 Resultados e Discussão

A análise do mapa de vegetação primária indica que, em 2007, uma área de 86.808 km² era coberta por vegetação nativa primária na bacia de drenagem do médio Araguaia. De uma forma geral, esta vegetação está concentrada na parte central da bacia, onde pode ser observada uma extensa e contínua área de cerrado aberto. As áreas de cerrado *stricto* estão concentradas ao longo de quase toda a borda do cerrado aberto. É possível notar duas zonas de maior concentração desta formação, uma na porção leste e outra ocupando uma faixa na porção sudoeste. Apesar da área original de floresta ocupar uma ampla zona que se estendia do norte da área estudada à borda sudoeste, os grandes remanescentes em 2007 ficaram concentrados na parte central (Figura 22).

A análise do mapa de vegetação primária indica que a região analisada possuía, em 2007, 52,3% de sua área coberta por floresta e cerrado. Em termos de dominância, a fisionomia florestal era a cobertura que ocupava a maior área de vegetação primária na bacia do médio Araguaia (Figura 23), abrangendo uma área total de 41.438 km², ou

25% da área inicial. As fisionomias de cerrado aberto e *stricto* se estendem por 27.637 km² e 17.734 km², o equivalente a 16,6% e 10,7%, respectivamente.

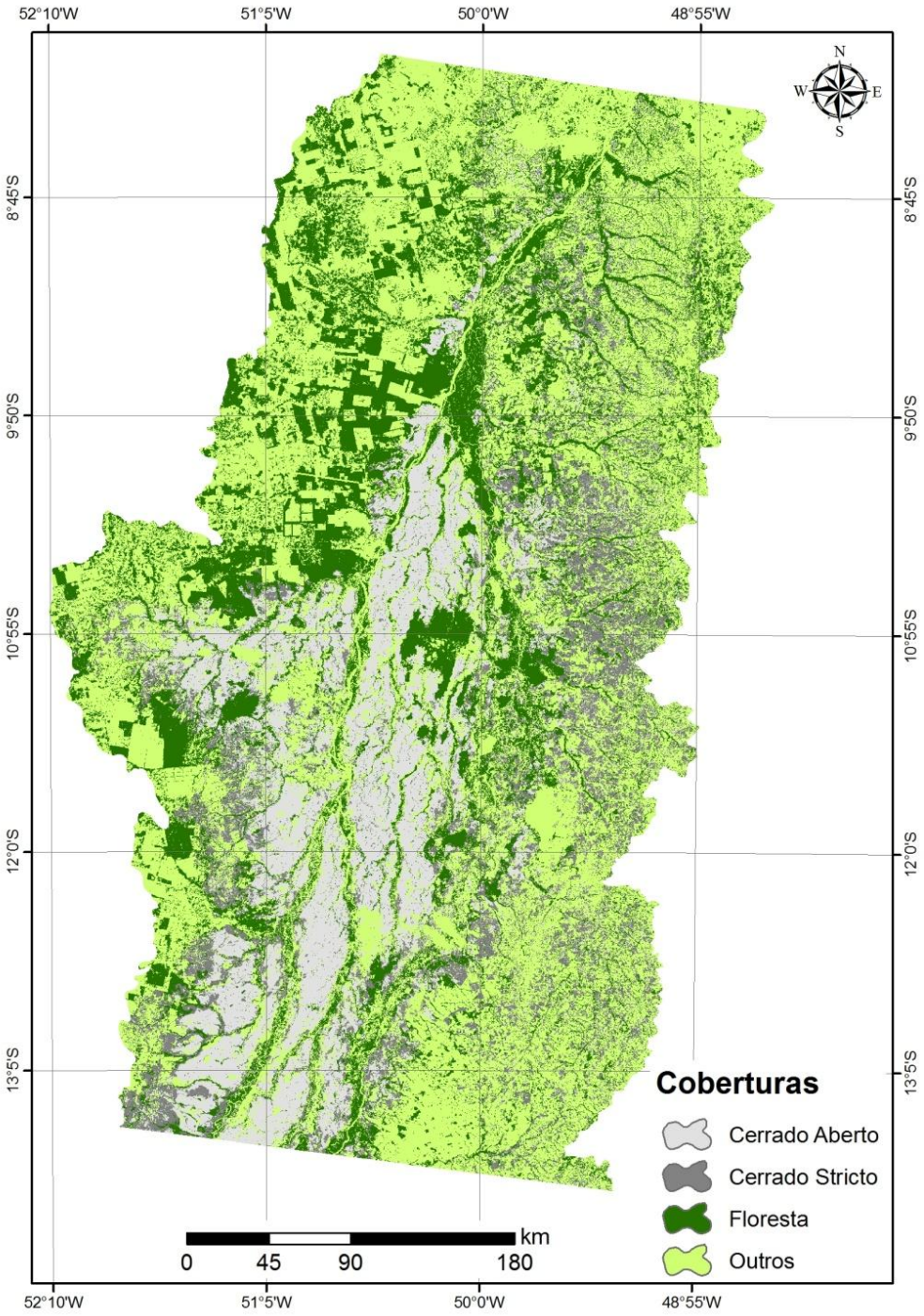

Figura 22 – Mapa das áreas de ocorrência de vegetação primária na bacia do médio rio Araguaia para o ano de 2007

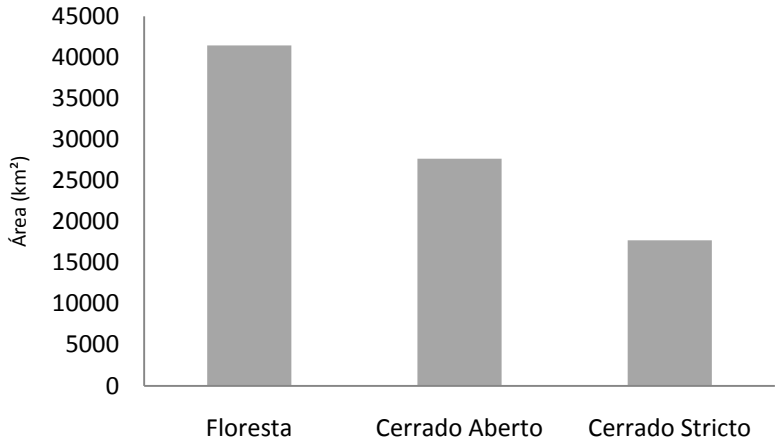

Figura 23 – Área de vegetação primária ocupada por cada fisionomia na bacia do médio Araguaia em 2007

Os valores dos coeficientes da análise de regressão logística obtidos neste estudo demonstram que, na região do médio Araguaia, a presença de vegetação primária tende a ter uma ocorrência maior conforme nos distanciamos da estrada (coef.= 0,312, p=0,000). O mesmo padrão foi observado para distanciamento de cidade (coef.= 0,124, p=0,000), indicando também que quanto mais longe das cidades maior a presença de vegetação primária. A análise aqui realizada não permite dizer qual destas duas variáveis apresenta um peso maior na presença de vegetação nativa. Contudo, estas duas variáveis tendem a ter elevada correlação, pois o aumento da migração, bem como o surgimento e o crescimento de cidades é dependente da existência de uma malha rodoviária interligando os centros urbanos e facilitando o escoamento da produção agrícola para estas cidades.

O processo de desmatamento normalmente se inicia com a abertura de estradas oficiais ou clandestinas que permitem a ocupação irregular de terras, primeiramente, pela exploração predatória de madeira, seguida da conversão destas áreas em pastagens, para a criação extensiva de gado e mais recentemente a agricultura mecanizada (FERREIRA; VENTICINQUE; ALMEIDA, 2005).

Vários estudos demonstram que, na Amazônia, a ocorrência do desmatamento é maior no entorno de estradas (LUDEKE; MAGGIO; REID, 1990; FERREIRA, 2001; NEPSTAD et al., 2001; BALLESTER et al., 2003; GILS; UGON, 2006; KIRBY et al., 2006). Estes estudos indicam que 90% do desmatamento ocorre em um raio de 20 km

de uma estrada, comprovando a influência da abertura ou pavimentação das mesmas no aumento da conversão de vegetação nativa. O simples anúncio de projetos de construção e melhoria de rodovias gera uma corrida especulativa de terra e a garantia de níveis significativos de atividades de desmatamento futuro (FEARNSIDE, 2006). Diversos autores simularam tais cenários e mostraram a importância de uma política de controle do desmatamento e ordenamento territorial para minimizar os impactos da construção ou melhoria das rodovias na vegetação nativa (LAURANCE, 2001; SOARES et al., 2004; FERREIRA; VENTICINQUE; ALMEIDA, 2005; SOARES-FILHO et al., 2005). Portanto, a construção ou modernização da malha rodoviária é a principal ameaça para áreas com extensos blocos de cobertura intocada, facilitando o acesso para extração madeireira, migração e agricultura (PRIMACK, 2002).

Mertens e Lambin (2000) verificaram que a importância da distância de cidades ocorre apenas em um primeiro momento, na predição de estágios iniciais de desmatamento, quando é preferível a utilização de áreas próximas a estas, enquanto que distância de estradas apresenta um grande efeito em desmatamentos recentes. Isto ocorre porque, conforme o uso de áreas próximas das cidades aumenta, é necessário ir cada vez mais longe, ao longo das estradas, para encontrar novas terras disponíveis. Dessa forma, quanto mais antiga a cidade, menor a influência da proximidade desta para novos desmatamentos.

A análise da variável declividade mostrou uma relação positiva entre a ocorrência de vegetação primária e o aumento desta (coef.=0,019, p=0,000). A principal atividade produtiva da região de estudo é baseada na pecuária, que ocorrem em pastagens plantadas e nativas. Desta forma, este resultado indica que as áreas convertidas, principalmente para pastagens, tendem a ocorrer em locais com baixa declividade. No entanto, foi verificado em campo a ocorrência de pastagens nativas em áreas declivosas e áreas planas que sofrem alagamento, onde apesar do manejo, não há conversão da cobertura do solo, sendo estas, classificadas como vegetação nativa. Portanto, como as áreas com declividade moderada podem ser utilizadas para pastagens nativas e áreas de declividade muito acentuada dificultam qualquer utilização, é possível notar a existência de um gradiente de dificuldade do

aproveitamento do solo e conseqüente manutenção da vegetação nativa conforme a declividade aumenta.

Apesar de Ugon (2004) obter valores significativos que indicam que a conversão de floresta esta relacionada a áreas planas que não sofrem alagamento, a topografia acaba sendo irrelevante no modelo de predição da conversão de floresta, pois a influência da proximidade de estradas é dominante sobre qualquer efeito de barreira possivelmente gerado em áreas com declividade acentuada (GILS; UGON, 2006), reforçando o peso que a abertura de estradas possuí em relação ao desmatamento.

As áreas particulares foram utilizadas como referência para o cálculo dos coeficientes da variável “Situação Fundiária”. Comparando Terras Indígenas, Unidades de Conservação de Proteção Integral e Unidades de Conservação de Uso Sustentável com áreas particulares, observa-se que as áreas de Proteção Integral apresentaram uma importância um pouco maior para a conservação de áreas primárias do que as Terras Indígenas. No entanto, é importante mencionar que mesmo existindo conversão da cobertura nativa resultantes da atividade humana nas Terras Indígenas, os resultados obtidos indicam que estas agem positivamente na preservação da vegetação nativa (Tabela 8). O elevado valor-*p* (0,08) para a classe Uso Sustentável indica que não há evidências suficientes para interpretar o valor do coeficiente desta classe.

Tabela 9 – Valores estimados dos coeficientes da regressão logística para a variável situação fundiária, com seus respectivos valores p, realizado para o trecho médio da bacia do Rio Araguaia em 2007. A classe “Uso Sustentável” apresenta valor p superior a 0,05, sendo desta forma desconsiderada

SITUAÇÃO FUNDIÁRIA	Coef.	DP Coef.	p
Proteção Integral	0,877844	0,0623102	0,000
Terra Indígena	0,622379	0,0326516	0,000
Uso Sustentável	0,054065	0,030849	0,080

Ferreira; Venticinque e Almeida (2005) verificaram que a proporção de áreas desmatadas dentro nas áreas protegidas foi muito abaixo da verificada fora destas, demonstrando a importância das áreas protegidas (Unidades de Conservação de Proteção Integral, Uso Sustentável e Terras Indígenas) como uma das ferramentas para conter ou diminuir o processo de desmatamento nos três estados que mais

contribuíram com o desmatamento na Amazônia Brasileira entre 2001 e 2003 (MT, RO e PA).

Por exemplo, em Belize, foi observada uma baixa taxa de áreas cultivadas dentro de parques nacionais, indicando a efetividade na proteção das mesmas (CHOMITZ; GRAY, 1996). Já em outro estudo (GILS; UGON, 2006), na província de Carrasco, na Bolívia, foi verificado que terras com posse e presença do dono tendem a ser menos invadidas por colonos, e conseqüentemente, são menos desmatadas do que áreas sem posse ou reservas federais, onde não há fiscalização ou pessoas que possam impedir o acesso destes colonos, sendo que as áreas indígenas e a reserva de uma universidade foram as áreas que menos sofreram alterações.

A região do médio Araguaia é caracterizada por apresentar solos com fertilidade variando de média a muito baixa, sendo que 79% da área apresenta fertilidade variando de baixa a muito baixa, 18% com fertilidade baixa à média e apenas 3% apresenta fertilidade média. A classe utilizada como referência para o cálculo dos coeficientes desta variável foi a classe “Baixa”, uma classe de fertilidade intermediária, permitindo visualizar os valores dos coeficientes das classes extremas de fertilidade. Os valores dos coeficientes obtidos na análise de regressão logística confirmam o esperado, ou seja, áreas que apresentam fertilidade média, a melhor da região, tem uma influência negativa na preservação de remanescentes de vegetação primária, enquanto que as regiões com fertilidade mais baixa mostram uma influência positiva na ocorrência da vegetação primária (Tabela 9). Apesar de tal resultado ser esperado, uma vez que estas áreas são mais aptas a agricultura, as avançadas técnicas de manejo do solo, em muitos casos, permitem o uso de áreas antes inaproveitáveis (GILS; UGON, 2006).

Tabela 10 – Valores estimados dos coeficientes da regressão logística para a variável fertilidade do solo e seus respectivos valores p. A classe “Muito baixa” apresenta valor p superior a 0,05, sendo desta forma desconsiderada

FERTILIDADE	Coef.	DP Coef.	p
Média	-0,637899	0,0578232	0,000
Baixa a média	-0,477775	0,0303106	0,000
Muito baixa a baixa	0,354168	0,022937	0,000
Muito baixa	0,024658	0,0417343	0,555

A região da planície sedimentar do Araguaia é considerada umas das regiões mais promissoras para a expansão do cultivo de arroz no Brasil, sendo o mesmo realizado principalmente em áreas de várzea (EMBRAPA, 2008). O entorno da Ilha do Bananal, denominado de Vale do Javaés, é considerado especialmente propicio para a produção da cultura, por estar situado na planície inundável do Araguaia (COLLICCHIO, 2008), região na qual estão instalados inúmeros projetos de irrigação para a produção de diversas culturas agrícolas (COLLICCHIO, 2006). Apesar destes projetos já terem causado a conversão de extensas áreas de vegetação nativa adaptadas a este regime de inundação, o resultado da análise de regressão logística (coef.=0,281, p=0,000) indica que a presença de áreas naturalmente alagáveis atuam positivamente na manutenção da vegetação primária. No entanto, esse valor positivo pode ter uma grande influência da presença das TI e UCs de Proteção Integral, que ocupam grande parte desta planície de inundação, e não permitem a implantação destes projetos agrícolas, os quais tiveram incentivos apenas no estado de Tocantins.

A efetividade na conservação de vegetação preservada em UCs, nem sempre é fácil de ser observada. A presença de áreas naturais pode estar associada a características locais, onde esta foi criada, ou seja, locais muito remotos, áreas muito montanhosas, presença de solos muito pobres, áreas alagáveis, entre outros fatores que dificultam a exploração e uso destas áreas, que desta maneira, acabam sendo naturalmente protegidas da exploração humana, sendo nestes casos difícil de avaliar a real importância destas reservas (JOPPA; LOARIE; PIMM, 2008).

A área estudada possui, predominantemente, relevo plano e uma grande quantidade de estradas, esta também apresenta diversas áreas protegidas, as quais se estão situadas, principalmente, nas áreas atingidas pela inundação que tambpem apresentam baixa fertilidade do solo. A sobreposição destas características dificultam uma interpretação mais precisa da influência destes fatores na conservação da vegetação nativa.

Apesar dos resultados aqui obtidos não permitirem uma avaliação do peso de todas as variáveis em relação à ocorrência de vegetação primária, os resultados de estudos semelhantes podem ser utilizados como um indicativo do peso das mesmas. Por exemplo, Gils e Analia (2006), analisaram o peso da distância de estradas e povoados,

classes de topografia, estrutura fundiária e classes de solo como variáveis preditoras da ocorrência de floresta aberta ou áreas onde a floresta foi suprimida, em uma região da Bolívia. Estes autores verificaram uma alta significância na predição da conversão de floresta pelas variáveis, estrutura fundiária e distância de estradas, seguida de uma influência menor, com baixa significância e probabilidade, por distância de povoamentos e topografia, e não encontraram valor preditivo para tipo de solo.

A análise conjunta das variáveis testadas neste estudo mostra que a ocorrência de vegetação primária está, de certa forma, associada a todas elas, sendo que limitações ambientais, intrínsecas da área, podem ser os fatores responsáveis por dificultar ou impossibilitar a conversão para áreas agrícolas. Terrenos montanhosos ou alagados podem agir como fatores que dificultam ou até mesmo impedem o transporte de produtos para os mercados consumidores devido ao alto custo de transporte (CHOMITZ; GRAY 1996), sendo também um fator limitante para a agricultura mecanizada, a qual tem preferência por regiões próximas dos mercados consumidores e que se encontram em áreas baixas e planas, onde o acesso das máquinas é facilitado, sendo esta última característica mais importante que a qualidade do solo, a qual pode ser melhorada com o uso de fertilizantes (SERNEELS; LAMBIN, 2001).

5.4 Conclusões

Este estudo avaliou a quantidade de áreas primárias existentes na bacia do médio rio Araguaia e a forma que alguns fatores regionais influenciam na manutenção destes remanescentes. Desta maneira as variáveis distâncias de estradas e distância de cidades demonstraram a relação esperada de influência negativa na presença de áreas primárias, ou seja, quanto mais próximo destas, menor a chance de ocorrer vegetação primária. A declividade também mostrou uma relação semelhante, mostrando que a vegetação primária tende a ocorrer em áreas com declividade mais acentuada, mostrando a preferência por áreas mais planas para implantação de culturas agrícolas. A análise do papel da estrutura fundiária na região mostrou que a existência de UCs de proteção integral e terras indígenas têm uma influência positiva na presença de áreas com cobertura primária. Os coeficientes das classes de fertilidade do solo indicam a

existência de uma influência negativa, conforme aumenta a fertilidade, na permanência de áreas primárias. Por fim, áreas sujeitas à inundação revelam que estas possuem uma influência positiva na manutenção dos remanescentes primários.

A análise destas variáveis mostra que a ocorrência de vegetação primária pode estar associada a limitações ambientais que dificultam ou impossibilitam a conversão para áreas agrícolas, mas o principal fator responsável pela ocorrência de remanescentes naturais é o isolamento destas áreas ou presença de reservas que limitam ou proíbem o desmatamento.

O estudo de fatores físicos ou políticos, os quais podem ter influência direta ou indireta nas atividades de desmatamento ou na manutenção de vegetação primária, são muito importantes para um melhor entendimento da dinâmica regional de uso do solo, além de fornecer informações de apoio para um planejamento regional mais eficiente e sustentável.

REFERÊNCIAS

ANA. **Divisão hidrográfica nacional**: região hidrográfica do Tocantins-Araguaia. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/PlanejHidrologico/pbhta/PlanoEstrategicodeRecursosHidricos/CaracterizacaodaRegiaoHidrograficaTocantins-Araguaia.pdf> Acesso em: 15 fev. 2008.

ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; MOUTINHO, P.; PACHECO, P.; DIAZ, M. D.C.V.; SOARES-FILHO, B.S. **Desmatamento na Amazônia:** indo além da emergência crônica. Belém: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (Ipam), 2004. 89 p.

ALVES, D.S.; PEREIRA, J.L.G.; DE SOUSA, C.L.; SOARES, J.V.; YAMAGUCHI, F. Characterizing landscape changes in central Rondonia using Landsat TM imagery. **International Journal of Remote Sensing,** London, v.20, n.14, p.2877-2882, sept. 1999.

BALLESTER, M.V.R.; VICTORIA, D.D.; KRUSCHE, A.V.; COBURN, R.; VICTORIA, R.L.; RICHEY, J.E.; LOGSDON, M. G.; MAYORGA, E.; MATRICARDI, E. A remote sensing/GIS-based physical template to understand the biogeochemistry of the Ji-Parana river basin (Western Amazonia). **Remote Sensing of Environment,** New York, v.87, n.4, p.429-445, nov. 2003.

BATISTELLA, M.; MORAN, E.F. Dimensões humanas do uso e cobertura das terras na Amazônia: uma contribuição do LBA. **Acta Amazonica,** Manaus, v.35, p.239-247, 2005.

CARDILLE, J.A.; FOLEY, J.A. Agricultural land-use change in Brazilian Amazonia between 1980 and 1995: Evidence from integrated satellite and census data. **Remote Sensing of Environment,** New York, v.87, n.4, p.551-562, nov. 2003

CARVALHO, G.; CRISTINA BARROS, A.; MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D. Sensitive development could protect Amazonia instead of destroying it. **Nature,** London, v.409, n.6817, p.131-131, 2001.

CARVALHO, T.M. Avaliação do transporte de carga sedimentar no médio rio Araguaia. **Geosul,** Florianópolis, v.24, n.47, p.147-160, 2009.

CHOMITZ, K.M.; GRAY, D.A. Roads, land use, and deforestation: A spatial model applied to belize. **World Bank Economic Review,** Washington, v.10, n.3, p.487-512, sept. 1996.

COLLICCHIO, E. **Organização Estadual de Pesquisa Agropecuária:** um instrumento de apoio ao desenvolvimento rural sustentável do Tocantins. Palmas: Provisão, v. 2006. 252 p.

COLLICCHIO, E. **Zoneamento edafoclimático e ambiental para a cana-de-açúcar e as implicações das mudanças climáticas no estado do Tocantins**. 2008. 156p. Tese (Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

COUTINHO, A.C. **Dinâmica das queimadas no estado do Mato Grosso e suas relações com as atividades antrópicas e a economia local**. 2005. 308p. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

DIEGUES, A.C.S. **Povos e águas:** inventário de áreas úmidas. São Paulo: Núcleo de apoio à pesquisa sobre populações humanas e áreas úmidas, USP, v.2. 2002. 597 p.

EMBRAPA. **Informações técnicas para a cultura do arroz irrigado no Estado do Tocantins:** safra 2008/2009. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2008. 136 p.

EVA, H.; MIRANDA, E.; DI BELLA, C.; GOND, V.; HUBER, O.; SGRENZAROLI, M.; JONES, S.; COUTINHO, A.; DORADO, A.; GUIMARÃES, M.; ELVIDGE, C.; ACHARD, F.; BELWARD, A.; BARTHOLOME, E.; BARALDI, A.; DE GRANDI, G.; VOGT, P.; FRITZ, S.; HARTLEY, A. **A vegetation map of South America**. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communties, 2002. Arquivo digital.

FEARNSIDE, P.M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazonica,** Manaus, v.36, p.395-400, 2006.

FERREIRA, L.V. Identificação de áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade por meio da representatividade das unidades de conservação e tipos de vegetação nas ecorregiões da Amazônia brasileira. In: CAPOBIANCO, J. P. R. (Ed.). **Biodiversidade na Amazônia brasileira:** avaliação e ações prioritárias para a conservação, uso sustentável e repartição de benefícios. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2001, chap., p.268-286.

FERREIRA, L.V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos Avançados,** São Paulo, v.19, p.157-166, 2005.

GILS, H.A.M.J.V.; UGON, A.V.L.A. What Drives Conversion of Tropical Forest in Carrasco Province, Bolivia? **Ambio,** Stockholm, v.35, n.2, p.81-85, 2006.

GOTELLI, N.J.; ELLISON, A.M. **A primer of ecological statistics**. Sunderland: Sinauer Associates, 2004. 510 p.

IBGE. **Mapa de vegetação do Brasil**. Brasil: IBGE, 2004. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/default.php>. Escala 1: 5.000.000.

JOPPA, L.N.; LOARIE, S.R.; PIMM, S.L. On the protection of "protected areas". **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,** Washington, v.105, n.18, p.6673-6678, may 2008.

KIRBY, K.R.; LAURANCE, W.F.; ALBERNAZ, A.K.; SCHROTH, G.; FEARNSIDE, P.M.; BERGEN, S.; VENTICINQUE, E.M.; DA COSTA, C. The future of deforestation in the Brazilian Amazon. **Futures,** Oxford, v.38, n.4, p.432-453, 2006.

LATRUBESSE, E.M.; STEVAUX, J.C. Características físico-bióticas e problemas ambientais associados à planície aluvial do rio Araguaia, Brasil central. **Revista UnG - Geociências,** Guarulhos, v.5, n.1, p.65-73, 2006.

LATRUBESSE, E.M.; AMSLER, M.L.; DE MORAIS, R.P.; AQUINO, S. The geomorphologic response of a large pristine alluvial river to tremendous deforestation in the South American tropics: The case of the Araguaia River. **Geomorphology,** Amsterdam, v.113, n.3/4, p.239-252, 2009.

LAURANCE, W.F. The future of the Brazilian Amazon (vol 291, pg 438, 2001). **Science**, Washington, v.291, n.5506, p.988-988, 2001.

LAURANCE, W.F.; ALBERNAZ, A.K.M.; FEARNSIDE, P.M.; VASCONCELOS, H.L.; FERREIRA, L.V. Deforestation in Amazonia. **Science,** Washington, v.304, n.5674, p.1109b-1111, may 21, 2004.

LUDEKE, A.K.; MAGGIO, R.C.; REID, L.M. An analysis of anthropogenic deforestation using logistic regression and GIS. **Journal of Environmental Management,** London, v.31, n.3, p.247-259, 1990.

MACHADO, R.B.; RAMOS NETO, M.B.; PEREIRA, P.G. .; CALDAS, E.F.; GONÇALVES, D.A.; SANTOS, N.S.; TABOR, K.; STEININGER, M. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Disponível em: <www.conservation.org.br/arquivos/RelatDesmatam**Cerrado**.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2008.

MAHAR, D.J. **Government policies and deforestation in Brazil's Amazon region**. Washington: World Bank Publications, 1989. 64 p.

MARGULIS, S. **Causas do Desmatamento da Amazonia Brasileira**. Brasília: Banco Mundial, 2004. 80 p.

MATTOS, M.M.; UHL, C. Economic and ecological perspectives on ranching in the Eastern Amazon. **World Development,** Kidlington, v.22, n.2, p.145-158, 1994.

MERTENS, B.; LAMBIN, E.F. Land-cover-change trajectories in southern Cameroon. **Annals of the Association of American Geographers,** Malden, v.90, n.3, p.467-494, sept. 2000.

MMA. **Áreas Prioritárias para Biodiversidade**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=72&idMenu=3812>. Acesso em: 20 mar. 2010.

MORAN, E.F. **Developing the Amazon**. Bloomington: Indiana University Press, 1981. 292 p.

NEPSTAD, D.; CARVALHO, G.; CRISTINA BARROS, A.; ALENCAR, A.; PAULO CAPOBIANCO, J.; BISHOP, J.; MOUTINHO, P.; LEFEBVRE, P.; LOPES SILVA, U.; PRINS, E. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v.154, n.3, p.395-407, 2001.

PRIMACK, R.B. **Essentials of conservation biology**. Sunderland: Sinauer Associates, 2002. 585 p.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, T.M.B. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed.). **Cerrado:** ambiente e flora. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1998, chap.,p.98-106.

SEPLAN. **Atlas do Tocantins:** subsídios à gestão e planejamento territorial. Palmas: SEPLAN, 2008. 64p.

SERNEELS, S.; LAMBIN, E.F. Proximate causes of land-use change in Narok District, Kenya: a spatial statistical model. **Agriculture, Ecosystems & Environment,** Amsterdam, v.85, n.1/3, p.65-81, 2001.

SOARES-FILHO, B.S.; NEPSTAD, D.C.; CURRAN, L.; CERQUEIRA, G.C.; GARCIA, R.A.; RAMOS, C.A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; MCGRATH, D. Cenários de desmatamento para a Amazônia. **Estudos Avançados,** São Paulo, v.19, p.137-152, 2005.

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

UGON, A.V.L.A. **A spatial logistic model for Tropical forest conversion: A case study os Carrasco province, (1986-2002) Bolivia**. 2004. 74p. Thesis (Master in Natural Resource Management) - International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, 2004.

APÊNDICE

Tabelas de correlação entre as métricas para cada data analisada

Correlação entre as métricas calculadas para o mapeamento de 1975

Correlação 75	*CA*	*PLAND*	*NP*	*PD*	*LPI*	*TE*	*ED*	*LSI*	*AREA_MN*	*PARA_MN*	*TCA*	*CPLAND*	*NDCA*	*DCAD*	*CORE_MN*	*PROX_MN*	*ENN_MN*
CA	1.000																
PLAND	1.000	1.000															
NP	0.816	0.816	1.000														
PD	0.816	0.816	1.000	1.000													
LPI	0.841	0.841	0.406	0.406	1.000												
TE	0.779	0.779	0.990	0.990	**0.348**	1.000											
ED	0.779	0.779	0.990	0.990	**0.348**	1.000	1.000										
LSI	0.568	0.568	0.928	0.928	**0.112**	0.922	0.922	1.000									
AREA_MN	0.931	0.931	0.556	0.556	0.971	0.498	0.498	**0.256**	1.000								
PARA_MN	0.635	0.635	0.839	0.839	**0.313**	0.786	0.786	0.898	0.428	1.000							
TCA	0.992	0.992	0.738	0.738	0.896	0.694	0.694	0.467	0.969	0.572	1.000						
CPLAND	0.992	0.992	0.738	0.738	0.896	0.694	0.694	0.467	0.969	0.572	1.000	1.000					
NDCA	0.807	0.807	0.999	0.999	**0.391**	0.995	0.995	0.928	0.540	0.824	0.727	0.727	1.000				
DCAD	0.807	0.807	0.999	0.999	**0.391**	0.995	0.995	0.928	0.540	0.824	0.727	0.727	1.000	1.000			
CORE_MN	0.908	0.908	0.508	0.508	0.978	0.447	0.447	**0.205**	0.998	**0.395**	0.953	0.953	0.491	0.491	1.000		
PROX_MN	0.853	0.853	0.461	0.461	0.989	0.415	0.415	**0.181**	0.953	**0.348**	0.896	0.896	0.450	0.450	0.954	1.000	
ENN_MN	-0.529	-0.529	-0.687	-0.686	**-0.293**	-0.608	-0.608	-0.773	**-0.385**	-0.967	-0.486	-0.486	-0.663	-0.663	**-0.364**	**-0.303**	1.000

Correlação entre as métricas calculadas para o mapeamento de 1985

orrelação 85	*CA*	*PLAND*	*NP*	*PD*	*LPI*	*TE*	*ED*	*LSI*	*AREA_MN*	*PARA_MN*	*TCA*	*CPLAND*	*NDCA*	*DCAD*	*CORE_MN*	*PROX_MN*	*ENN_MN*
CA	1.000																
PLAND	1.000	1.000															
NP	0.799	0.799	1.000														
PD	0.799	0.799	1.000	1.000													
LPI	0.669	0.669	**0.255**	**0.255**	1.000												
TE	0.820	0.820	0.961	0.961	**0.164**	1.000											
ED	0.820	0.820	0.961	0.961	**0.164**	1.000	1.000										
LSI	0.727	0.727	0.968	0.968	**0.063**	0.974	0.974	1.000									
AREA_MN	**-0.061**	**-0.061**	-0.573	-0.573	0.430	-0.500	-0.500	-0.679	1.000								
PARA_MN	0.798	0.798	0.854	0.854	**0.338**	0.834	0.834	0.872	-0.584	1.000							
TCA	0.985	0.985	0.696	0.696	0.777	0.707	0.707	0.602	**0.074**	0.732	1.000						
CPLAND	0.985	0.985	0.696	0.696	0.777	0.707	0.707	0.602	**0.074**	0.732	1.000	1.000					
NDCA	0.816	0.816	0.994	0.994	**0.223**	0.986	0.986	0.979	-0.546	0.854	0.708	0.708	1.000				
DCAD	0.816	0.816	0.994	0.994	**0.223**	0.986	0.986	0.979	-0.546	0.854	0.708	0.708	1.000	1.000			
CORE_MN	**0.041**	0.041	-0.502	-0.502	0.569	-0.457	-0.457	**-0.631**	0.986	-0.480	0.189	0.189	-0.486	-0.486	1.000		
PROX_MN	0.707	0.707	**0.278**	**0.278**	0.997	**0.206**	**0.206**	**0.093**	0.443	**0.359**	0.811	0.811	**0.254**	**0.254**	0.578	1.000	
ENN_MN	-0.575	-0.575	-0.594	-0.594	**-0.258**	-0.577	-0.577	-0.646	0.560	-0.913	-0.535	-0.535	-0.592	-0.592	0.459	**-0.270**	1.000

Correlação entre as métricas calculadas para o mapeamento de 1996

Correlação 96	*CA*	*PLAND*	*NP*	*PD*	*LPI*	*TE*	*ED*	*LSI*	*AREA_MN*	*PARA_MN*	*TCA*	*CPLAND*	*NDCA*	*DCAD*	*CORE_MN*	*PROX_MN*	*ENN_MN*
CA	1.000																
PLAND	1.000	1.000															
NP	0.869	0.869	1.000														
PD	0.868	0.868	1.000	1.000													
LPI	0.758	0.758	0.420	0.420	1.000												
TE	0.881	0.881	0.996	0.996	0.414	1.000											
ED	0.881	0.881	0.996	0.996	0.414	1.000	1.000										
LSI	0.803	0.803	0.986	0.986	**0.286**	0.987	0.987	1.000									
AREA_MN	**-0.191**	**-0.191**	**-0.384**	**-0.384**	**0.098**	**-0.370**	**-0.370**	-0.472	1.000								
PARA_MN	0.572	0.572	0.627	0.627	**0.276**	0.625	0.625	0.669	-0.907	1.000							
TCA	0.989	0.989	0.786	0.786	0.829	0.801	0.801	0.706	**-0.126**	0.527	1.000						
CPLAND	0.989	0.989	0.786	0.786	0.829	0.801	0.801	0.706	**-0.126**	0.527	1.000	1.000					
NDCA	0.858	0.858	0.999	0.999	0.404	0.996	0.996	0.989	**-0.381**	0.619	0.773	0.773	1.000				
DCAD	0.858	0.858	0.999	0.999	0.404	0.996	0.996	0.989	**-0.381**	0.619	0.773	0.773	1.000	1.000			
CORE_MN	**-0.169**	**-0.169**	**-0.392**	**-0.392**	**0.150**	**-0.379**	**-0.379**	-0.487	0.998	-0.889	**-0.095**	**-0.095**	**-0.391**	**-0.391**	1.000		
PROX_MN	0.690	0.690	**0.343**	**0.343**	0.995	**0.334**	**0.334**	**0.205**	**0.132**	**0.224**	0.768	0.768	**0.328**	**0.328**	**0.185**	1.000	
ENN_MN	-0.638	-0.637	-0.659	-0.659	**-0.332**	-0.662	-0.662	-0.693	0.864	-0.995	-0.599	-0.599	-0.649	-0.649	0.843	**-0.274**	1.000

Correlação entre as métricas calculadas para o mapeamento de 2007

Corralação 07	*CA*	*PLAND*	*NP*	*PD*	*LPI*	*TE*	*ED*	*LSI*	*AREA_MN*	*PARA_MN*	*TCA*	*CPLAND*	*NDCA*	*DCAD*	*CORE_MN*	*PROX_MN*	*ENN_MN*
CA	1.000																
PLAND	1.000	1.000															
NP	0.850	0.850	1.000														
PD	0.850	0.850	1.000	1.000													
LPI	0.957	0.957	0.744	0.744	1.000												
TE	0.985	0.985	0.874	0.874	0.894	1.000											
ED	0.985	0.985	0.874	0.874	0.894	1.000	1.000										
LSI	0.904	0.904	0.915	0.915	0.750	0.961	0.961	1.000									
AREA_MN	-0.463	-0.463	-0.635	-0.635	**-0.332**	-0.518	-0.518	-0.644	1.000								
PARA_MN	0.675	0.675	0.743	0.743	0.571	0.711	0.711	0.779	-0.960	1.000							
TCA	0.996	0.996	0.847	0.847	0.974	0.967	0.967	0.872	-0.443	0.659	1.000						
CPLAND	0.996	0.996	0.847	0.847	0.974	0.967	0.967	0.872	-0.443	0.659	1.000	1.000					
NDCA	0.956	0.956	0.900	0.900	0.831	0.986	0.986	0.977	-0.558	0.720	0.934	0.934	1.000				
DCAD	0.956	0.956	0.900	0.900	0.831	0.986	0.986	0.977	-0.558	0.720	0.934	0.934	1.000	1.000			
CORE_MN	-0.465	-0.465	-0.626	-0.626	**-0.331**	-0.524	-0.524	-0.650	0.999	-0.962	-0.444	-0.444	-0.563	-0.563	1.000		
PROX_MN	0.883	0.883	0.507	0.507	0.921	0.828	0.828	0.650	-0.180	0.435	0.886	0.886	0.755	0.755	**-0.191**	1.000	
ENN_MN	-0.626	-0.626	-0.696	-0.696	-0.512	-0.668	-0.668	-0.747	0.974	-0.996	-0.607	-0.607	-0.686	-0.686	0.977	**-0.394**	1.000