



Mapeamento e Análise Temporal da Paisagem no Entorno do Reservatório de Tucuruí-PA Mapping and Temporary Analysis of the Landscape in the Tucuruí-PA Reservoir Surroundings

Andrés Danilo Velástegui Montoya¹; Aline Maria Meiguins de Lima² & Marcos Adami³

¹*Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, 09-01-5863, Campus Gustavo Galindo Velasco Km 30.5 Vía Perimetral, Guayaquil – Guayas, Ecuador*

²*Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, 1611, Campus Universitário do Guamá Rua Augusto Corrêa 1, 66075-110, Belém – PA, Brasil*

³*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro Regional da Amazônia, Parque de Ciência e Tecnologia do Guamá Avenida Perimetral 2651, 66077-830, Belém – PA, Brasil*

E-mails: dvelaste@espol.edu.ec; ameiguins@ufpa.br; marcos.adami@inpe.br

Recebido em: 14/05/2018 Provado em: 19/07/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_2_553_567

Resumo

O grande interesse de gerar energia “limpa” nos países da região para o fornecimento energético e contínuo crescimento econômico, motiva o planejamento e construção de grandes projetos hidrelétricos, com vasta presença na bacia Amazônica. Contudo, devido à extensão dos reservatórios produzidos pelos mesmos, estes projetos podem alterar a dinâmica dos ecossistemas naturais. Para compreender melhor o padrão espacial das mudanças da cobertura da terra motivadas pelos grandes reservatórios hidrelétricos, este estudo aplicou o modelo linear de mistura em imagens Landsat-TM e ETM+ segmentadas e métricas de paisagens, para o mapeamento das classes de cobertura da terra nos municípios diretamente afetados pelo reservatório de Tucuruí-PA e a caracterização quantitativa das classes presentes na região, entre os períodos de finalização da I fase e início da II fase de construção da UHE Tucuruí. Os resultados da análise espacial apontaram que houve modificações no padrão espacial da cobertura florestal no entorno do reservatório de Tucuruí, com comportamentos diferenciados na escala de municípios. Onde, o alto nível de fragmentação está associado à conectividade das rodovias entre as manchas urbanas presentes nestes municípios, facilitando o acesso e conversão de áreas de floresta em pasto.

Palavras-chaves: Cobertura da terra; Usinas hidrelétricas; Barragens

Abstract

The great interest of generating “clean” energy in the countries of the region for energy supply and continuous economic growth, motivates the planning and construction of large hydroelectric projects, with a significant presence in the Amazon basin. Nevertheless, due to the extent of the reservoirs generated by these projects, the dynamics of natural ecosystems may be altered. To better understand the spatial pattern of land cover changes fostered by large hydroelectric reservoirs, this study applied the linear mixture model in segmented Landsat-TM and ETM+ images, and landscape metrics for the mapping of land cover classes in municipalities directly affected by the Tucuruí-PA reservoir, and the quantitative characterization of the classes present in the region, between the periods of completion of the 1st phase and the beginning of the 2nd phase of construction of the Tucuruí hydroelectric plant. The results of the spatial analysis indicated that there were modifications in the spatial pattern of the forest cover in the surroundings of the Tucuruí reservoir, with differentiated behaviors in the scale of municipalities, in which the high level of fragmentation is associated to the connectivity of the highways between the urban spots present in them, facilitating the access and conversion of forest areas into pasture.

Keywords: Land cover; Hydroelectric plants; Dams

1 Introdução

O potencial espacial e volumétrico do aproveitamento hidroelétrico em toda a bacia Amazônica é significativo por abranger todos os principais afluentes do rio Amazonas. Por isso, há centenas de usinas hidrelétricas planejadas e em construção na Amazônia, pertencentes ao Brasil, Venezuela, Colômbia, Peru, Bolívia, Equador, Suriname e Guianas (Bermann, 2012; Finer & Jenkins, 2012; Fearnside, 2014). A capacidade hidrelétrica inexplorada, remanescente na região, é esperada para fornecer energia “limpa” e para o desenvolvimento econômico regional (Tundisi *et al.*, 2014). Entretanto, há aspectos prejudiciais, como a construção de reservatórios que pode levar a alterações nas variáveis hidrológicas, do uso do solo e climáticas, resultando em degradação e perda da floresta, fragmentando a paisagem ao redor destes megaprojetos (Ferreira *et al.*, 2013; Finer & Jenkins, 2012; Chen *et al.*, 2015).

A geração de energia no país através de empreendimentos hidrelétricos possui grande importância, dado que a matriz energética brasileira está assentada na hidroeletricidade, considerada como a melhor alternativa de geração de energia, por se tratar, especialmente, de uma fonte renovável e acessível no país. No entanto, são bem conhecidos os inúmeros impactos socioambientais causados por esse tipo de obras, e, de maneira geral, a intensidade desses impactos está diretamente relacionada à dimensão do empreendimento (Souza, 2008; Finer & Jenkins, 2012). Este fato favorece a ocupação inapropriada no entorno dos reservatórios e o uso desequilibrado dos recursos ali presentes; o que prejudica o ambiente, em decorrência do desmatamento, da contaminação do solo, da deterioração da qualidade da água e de outros impactos, além do que, os benefícios energéticos ocorrem em outras regiões (Fearnside, 1999, 2001; Rodrigues *et al.*, 2009).

O desmatamento é uma realidade que se verifica em todos os países amazônicos. Contudo, no Brasil acontece de maneira mais acentuada, de modo que este é o país que provê dados mais exatos sobre mudanças da cobertura da terra na

Amazônia. Desde 1988, o Instituto de Pesquisas Espaciais estima taxas de desmatamento anuais por meio do Programa de Cálculo do Desflorestamento na Amazônia (PRODES), utilizando imagens de satélite. Constatou-se que na década de 1988 a 1998, aproximadamente 174.000 km² foram desmatados na região, atingindo uma média de 15.000 km² por ano. No período de 1994-1995 este número aumentou para 29.059 km². O desmatamento coincidiu, principalmente, com a fronteira agrícola, à medida que avança para o norte pelos estados do Pará (56.872 km²), Tocantins (4.804 km²), Mato Grosso (60.308 km²), Rondônia (23.275 km²) e Acre (5.814 km²), formando o que se conhece como o “arco de desmatamento” (Wood & Porro, 2002; Vasconcelos & Novo 2004).

O peso de cada causa do desmatamento e a forma como se combinam podem variar na Amazônia, mas, em geral, elas são as mesmas: a agropecuária, a exploração madeireira, a grilagem de terras e projetos de infraestrutura. A devastação segue um roteiro conhecido. Primeiro, as madeiras abrem circunvizinhanças, a partir das rodovias na direção de locais com árvores valiosas, muitas vezes em áreas protegidas ou de comunidades ribeirinhas; segundo, esgotam o estoque de madeiras nobres e buscam novas frentes de extração; terceiro, aproveitando-se das estradas abertas, grileiros e fazendeiros financiam a conversão da floresta em pasto, com a venda da madeira restante e por último, os incêndios provocados pela própria população no manejo das pastagens consolida-se em uma pecuária extensiva de baixa produtividade (Carneiro Filho & Souza, 2009).

Neste contexto, destaca-se a importância do mapeamento da cobertura da terra, como forma de identificação e espacialização da paisagem. Se fornecerá, neste estudo, a combinação de sensoriamento remoto, SIG e métricas da paisagem, para determinar e avaliar os padrões de desmatamento, espacialmente explícitos na região do reservatório de Tucuruí, ao longo de um período de 11 anos de pleno funcionamento da usina. É importante considerar que a UHE Tucuruí foi o primeiro projeto hidrelétrico em grande escala na região amazônica (Chen *et al.*, 2015); e por ter pelo

menos 33 anos de funcionamento, caso ideal para a compreensão dos impactos das megabarragens a longo do tempo na Amazônia, possibilita prever os possíveis impactos ambientais e sociais em futuros empreendimentos hidrelétricos na região.

O presente artigo teve como objetivo avaliar os padrões espaço-temporais de desmatamento, motivados pela construção da hidrelétrica de Tucuruí, no período após a inauguração da primeira fase de construção e início da construção da segunda etapa da usina, de 1988 a 1999, respectivamente. Este estudo é primeira fase de uma análise completa multitemporal, da cobertura da terra nos 32 anos de funcionamento da usina.

2 Materiais e Método

2.1 Área de Estudo

A área de estudo, delimitada entre as latitudes 03° 24' e 05° 28' S e 48° 22' e 50° 59' W, corresponde a uma parte da região hidrográfica Tocantins-Araguaia e cobre todos os municípios atingidos pelo

reservatório de Tucuruí, sendo eles: Tucuruí, Breu Branco, Goianésia do Pará, Itupiranga, Jacundá, Nova Ipixuna e Novo Repartimento, além da represa de Tucuruí (Figura 1), formada pelo barramento do Rio Tocantins no Estado do Pará. É uma área de floresta tropical e o clima, segundo a classificação Köeppen tropical úmido, com moderado período de estiagem (entre julho e setembro) (ANA, 2009).

A UHE Tucuruí foi o primeiro projeto hidrelétrico em grande escala na região amazônica (Manyari & Carvalho Jr, 2007; Chen *et al.*, 2015), seu reservatório foi cheio e inaugurado em 1984, completando assim a fase I de construção para gerar 4.000 MW (megawatts) de energia elétrica, criando um reservatório que inundou uma área de 2.430 km² (Fearnside, 1999, 2001; La Rovere & Mendes, 2000; Caramelo & Cidade, 2004). As florestas tropicais da região experimentaram um elevado grau de fragmentação. Algumas árvores foram inundadas pelo reservatório, enquanto que o desmatamento aconteceu em torno da represa (Fearnside, 2002; Manyari & Carvalho Jr, 2007; Chen *et al.*, 2015).

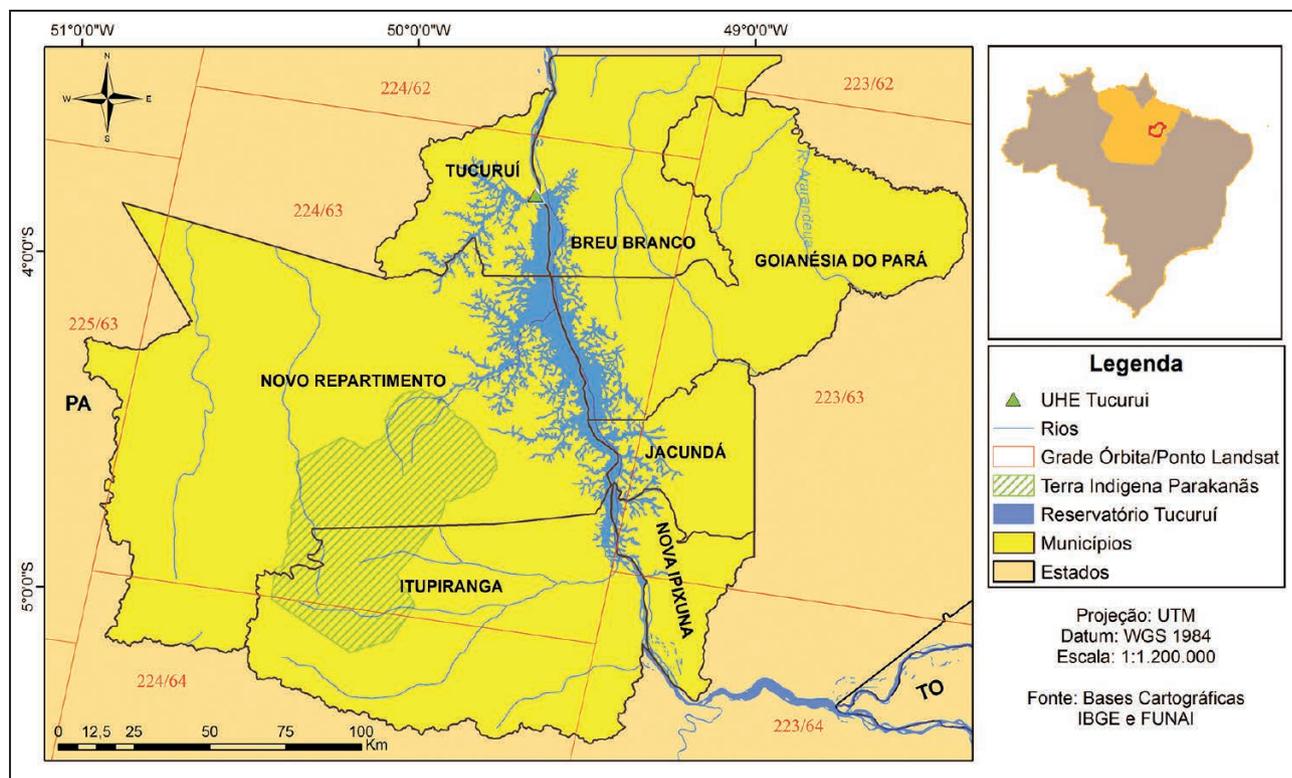


Figura 1 Localização da área de estudo: o reservatório de Tucuruí e os sete municípios atingidos pelo reservatório.

2.2 Dados de Sensores

Remotos: Aquisição e Processamento

As imagens de sensoriamento remoto Landsat foram adquiridas do acervo de imagens do Serviço Geológico Americano, com nível de correção *Level 1 Terrain* (L1T), ortorretificadas com projeção em UTM e datum/esferóide WGS1984 e exatidão superior a 0,8 pixel (USGS, 2017a). As imagens correspondem aos meses de julho e agosto de 1988 e 1999. Especificamente, os dados de 1988 foram adquiridos pelo sensor TM-Landsat 5, enquanto que os dados de 1999 foram coletados pelos sensores TM-Landsat 5 e ETM+-Landsat 7. Apesar de se utilizar dois sensores na aquisição dos dados, a extensão das imagens, a resolução espacial, a geometria e a qualidade dos mesmos, mantiveram-se consistentes graças à coerência do programa Landsat, sistema de satélite de observação da Terra mais antigo dos Estados Unidos, tendo adquirido dados desde 1972 (USGS, 2017b).

Com o propósito de cobrir os sete municípios envolvidos no estudo, foram adquiridas para cada ano sete cenas de imagens adjacentes, sendo as órbitas/pontos: 223/62 datada em 22/07/88 e 05/07/99 (USGS, 1988a, 1999a), 223/63 datada em 22/07/88 e 13/07/99 (USGS, 1988b, 1999b), 223/64 datada em 22/07/88 e 21/07/99 (USGS, 1988c, 1999c), 224/62 datada em 14/08/88 e 28/07/99 (USGS, 1988d, 1999d), 224/63 datada em 14/08/88 e 05/08/99 (USGS, 1988e, 1999e), 224/64 datada em 29/07/88 e 28/07/99 (USGS, 1988f, 1999f) e 225/63 datada em 21/08/88 e 04/08/99 (USGS, 1988g, 1999g). A elevada porcentagem de cobertura de nuvens nesta região dificultou a aquisição de imagens com menos de 5% de cobertura de nuvem nos anos desejados. Sendo assim, precisou-se do uso complementar de uma segunda imagem de diferente data para duas das cenas, sendo as órbitas/pontos: 223/63 (USGS, 1999h) datada em 29/07/99 e 224/63 (USGS, 1999i) datada em 12/07/99. Após a aquisição dos dados, foi criado um banco de dados para armazenar as informações processadas, utilizando-se para isso, os softwares TerraAmazon (TerraAmazon, 2016) e PostgreSQL (PostgreSQL, 2012).

Inicialmente criou-se um projeto no TerraAmazon com objetivo de determinar a projeção geográfica a ser utilizada e sistema de referência para delimitar a área de estudo, importando os limites municipais da área de estudo, no formato vetorial, em escala 1:250.000, disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015). A partir desse ponto, foram elaboradas as composições coloridas RGB utilizando as bandas do infravermelho próximo (IVP), infravermelho médio (IVM) e vermelho (V) respectivamente, e o realce linear de contraste das imagens, de modo a melhorar a distinção entre as classes. Outra etapa importante do processamento foi o emprego do modelo linear de mistura espectral, nas bandas IVP, IVM e V das imagens dos sensores TM-Landsat 5 e ETM+-Landsat 7, para gerar as frações sombra, solo e vegetação. Os modelos lineares de mistura foram gerados mediante a seleção dos pixels puros, referentes aos componentes sombra, solo e vegetação, utilizando-se os mesmos valores de níveis de cinza (DN) nos dois anos analisados (Shimabukuro *et al.*, 1997).

A seguir, aplicou-se o algoritmo de segmentação de imagens por crescimento de regiões. Este algoritmo agrupa pixels tendo por base dois limiares: similaridade e área. O limiar de similaridade indica a distância em que um pixel pode pertencer ao agrupamento e o limiar de área define a área mínima de cada grupo de pixels (Shimabukuro *et al.*, 1997). Utilizaram-se limiares de área e de similaridade de 16 e 8, respectivamente. Esta combinação já foi aplicada com bons resultados por Vasconcelos & Novo (2004) em parte da área de estudo, como também no PRODES (Câmara *et al.*, 2013).

Iniciou-se, então, o processo classificatório cujas imagens-fração (sombra e solo) segmentadas foram classificadas polígono a polígono. A chave de interpretação das classes foi baseada no PRODES Digital e no comportamento espectral dos alvos. As classes selecionadas foram: 1) floresta – todo tipo de formação florestal que não apresenta nenhuma interferência antrópica; 2) área antropizada – engloba as interferências nas formações florestais, relacionadas diretamente as atividades humanas (agricultura, agropecuária, áreas desmatadas, mosaicos de ocupação) e a solos expostos

relacionados a planícies de inundação e bancos de areia; 3) área alagada – abrange toda a água do rio Tocantins a montante da barragem; 4) área não alagada – considera toda a água do rio Tocantins a jusante da usina; 5) água – compreende aos outros corpos de água (rios, lagos, lagoas e poços); 6) área urbana – considera as manchas urbanas, e grandes empreendimentos de engenharia como aeroportos e a barragem de Tucuruí; 7) nuvem e sombra de nuvem – sem informação espectral dos alvos encobertos.

Para a classificação polígono a polígono dos segmentos das imagens-fração sombra e solo, estes foram selecionados e classificados, segundo as respostas espectrais dos alvos na composição colorida RGB das bandas IVP, IVM e V, dos sensores TM-Landsat 5 e ETM+-Landsat 7. Esta atividade foi realizada em escala 1:30.000, de forma a identificar o detalhamento dos contornos dos segmentos que define cada classe. Os polígonos da segmentação da imagem-fração sombra, permitiram identificar bem as classes hidrografia, nuvem (sombra) e áreas antropizadas (agricultura). Enquanto que os polígonos da segmentação da imagem-fração solo, permitiram identificar as manchas urbanas, e nuvens, como também permitiu classificar áreas antropizadas (pastagens e solos expostos), que não conseguiram ser discriminadas na imagem-fração sombra segmentada (Figura 2). Após o processo de classificação, realizou-se a edição matricial das

áreas mal classificadas da área de estudo, mediante classificação visual em escala 1:30.000.

2.3 Uso de Métricas para Análise Espacial da Paisagem

Com a cobertura da terra, a estrutura da paisagem foi quantificada, utilizando o software FRAGSTATS (McGarigal *et al.*, 2012) para as métricas de classes e paisagem. Desta maneira, ao nível de toda a paisagem e classes mapeadas, foram consideradas algumas das métricas usadas por Valente (2001), Ferraz & Vettorazzi (2003) e Vidolin *et al.* (2011), avaliaram-se as métricas de área dos fragmentos (AREA), área dos fragmentos das classes (CA), número de fragmentos das classes (NP), densidade dos fragmentos das classes (PD) e tamanho médio dos fragmentos das classes (MPS).

3 Resultados e Discussão

Após a etapa de processamento de imagens, obtiveram-se os mapas classificados da cobertura da terra para os anos de 1988 e 1999 (Figura 3). Estes mapas possibilitaram gerar informações sobre os padrões espaciais de cobertura nos sete municípios afetados pelo reservatório da UHE Tucuruí, ao longo de um período de 11 anos. A partir da análise dos mapas de cobertura da terra, notam-se algumas alterações na paisagem dos municípios, os valores

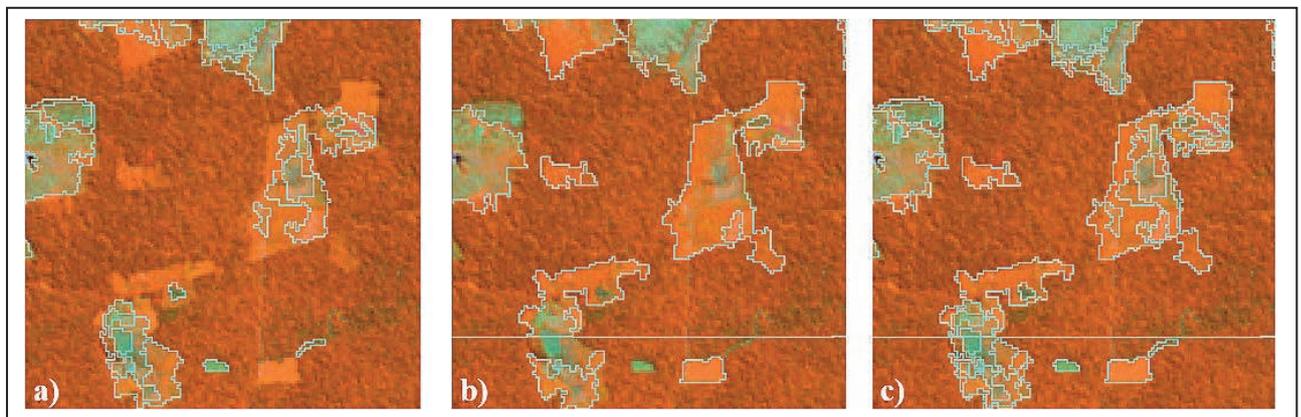


Figura 2 Imagem colorida de uma parcela da área de estudo, gerada a partir das imagens TM-Landsat 5 dos canais 3, 4 e 5, com as cores azul, vermelha e verde respectivamente, com as segmentações da imagem-fração sombra e solo do modelo linear de mistura. Pode-se observar que a segmentação da imagem-fração solo (a) permitiu identificar as áreas de pastagens e solos expostos (áreas antropizadas), e a segmentação da imagem-fração sombra (b) identificou as áreas de agricultura e regeneração florestal (áreas antropizadas). Imagem colorida RGB com as segmentações das imagem-fração sombra e solo (c).

de área em hectares (ha) ocupados por cada classe nos anos de 1988 e 1999, e os valores de mudanças na área e porcentual de cada classe se encontram nas Tabelas 1, 2, 3 e 4.

Ao analisar os resultados do mapeamento de toda a região de estudo, pode-se verificar que as áreas antropizadas e urbanas em 1999 foram cerca de duas vezes maiores em relação a 1988. Deste modo, a classe antropizada passou de 705.670 ha (17,70%) para 1.493.687 ha (37,48%), e a classe urbana passou de 1.474 ha (0,04%) para 2.824 ha (0,07%), gerando uma queda no predomínio da cobertura florestal de toda área de estudo (Tabela 1). No ano de 1988, ¾ da terra da região estava coberta por floresta (2.988.683 ha), enquanto que, no ano 1999 esse predomínio baixou para quase a metade de toda a paisagem (2.211.279 ha). Foi possível constatar que os municípios com os maiores aumentos de perdas de floresta foram Novo Repartimento, Itupiranga, Goianésia do Pará e Breu Branco.

No Município de Novo Repartimento, as áreas desmatadas passaram de 153.649 ha em 1988 (10,00%) para 356.999 ha em 1999 (23,23%), sendo

este o município que experimentou a maior extensão de áreas desmatadas durante os onze anos de análise. Coincidentemente, segundo o mapeamento do ano 1988, o mesmo município abrange a maior parte do reservatório de Tucuruí, correspondendo ao 42,08% da represa (7,56% do município) (ver Tabela 1). Na área central do Município de Novo Repartimento se encontra uma região praticamente sem afetação, que corresponde à reserva indígena dos Parakanãs (Figuras 3a e 3b). No Município de Itupiranga, por sua vez, as áreas desmatadas passaram de 132.361 ha (16,83%) a 315.915 ha (40,18%), posicionando-se como o município com a segunda maior propagação de áreas desmatadas entre 1988 e 1999. Também foi possível verificar que as áreas antropizadas e urbanas para 1999 aumentaram 2,3 vezes, em relação ao ano 1988, passando de 132.215 ha (16,81%) a 315.574 ha (40,13%) em áreas antropizadas e de 146 ha (0,02%) a 339 ha (0,04%) em manchas urbanas. Este município aloja 4,3% do reservatório de Tucuruí (1,51 % do município), correspondendo a segunda menor área alagada pela represa (Tabela 2).

CLASSES	GLOBAL				NOVO REPARTIMENTO			
	Área [ha]		Part. Relt. [%]		Área [ha]		Part. Relt. [%]	
	1988	1999	1988	1999	1988	1999	1988	1999
Área alagada	275.987	264.227	6,92	6,63	116.131	110.578	7,56	7,20
Área não alagada	6.200	6.537	0,16	0,16	-	-	-	-
Água	6.024	6.740	0,15	0,17	1.591	1.533	0,10	0,10
Floresta	2.988.683	2.211.279	74,98	55,48	1.265.222	1.067.255	82,33	69,45
Área antropizada	705.670	1.493.687	17,70	37,48	153.577	356.789	9,99	23,22
Área urbana	1.474	2.824	0,04	0,07	72	211	0,00	0,01
Nuvem	1.692	436	0,04	0,01	209	436	0,01	0,03

Tabela 1 Quantificação das áreas (em hectare) e a participação relativa das classes de cobertura da terra derivadas do processamento das imagens dos sensores TM-Landsat 5 e ETM+-Landsat 7 para os anos de 1988 e 1999, para toda a região e o Município de Novo Repartimento.

CLASSES	ITUPIRANGA				GOIANÉSIA DO PARÁ			
	Área [ha]		Part. Relt. [%]		Área [ha]		Part. Relt. [%]	
	1988	1999	1988	1999	1988	1999	1988	1999
Área alagada	11.854	10.568	1,51	1,34	45.982	45.618	6,56	6,51
Área não alagada	-	-	-	-	-	-	-	-
Água	834	1.000	0,11	0,13	1.618	1.867	0,23	0,27
Floresta	641.281	458.847	81,55	58,35	500.677	352.962	71,43	50,35
Área antropizada	132.215	315.574	16,81	40,13	152.623	300.264	21,77	42,84
Área urbana	146	339	0,02	0,04	79	267	0,01	0,04
Nuvem	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 2 Quantificação das áreas (em hectare) e a participação relativa das classes de cobertura da terra derivadas do processamento das imagens dos sensores TM-Landsat 5 e ETM+-Landsat 7 para os anos de 1988 e 1999 para os municípios de Itupiranga e Goianésia do Pará.

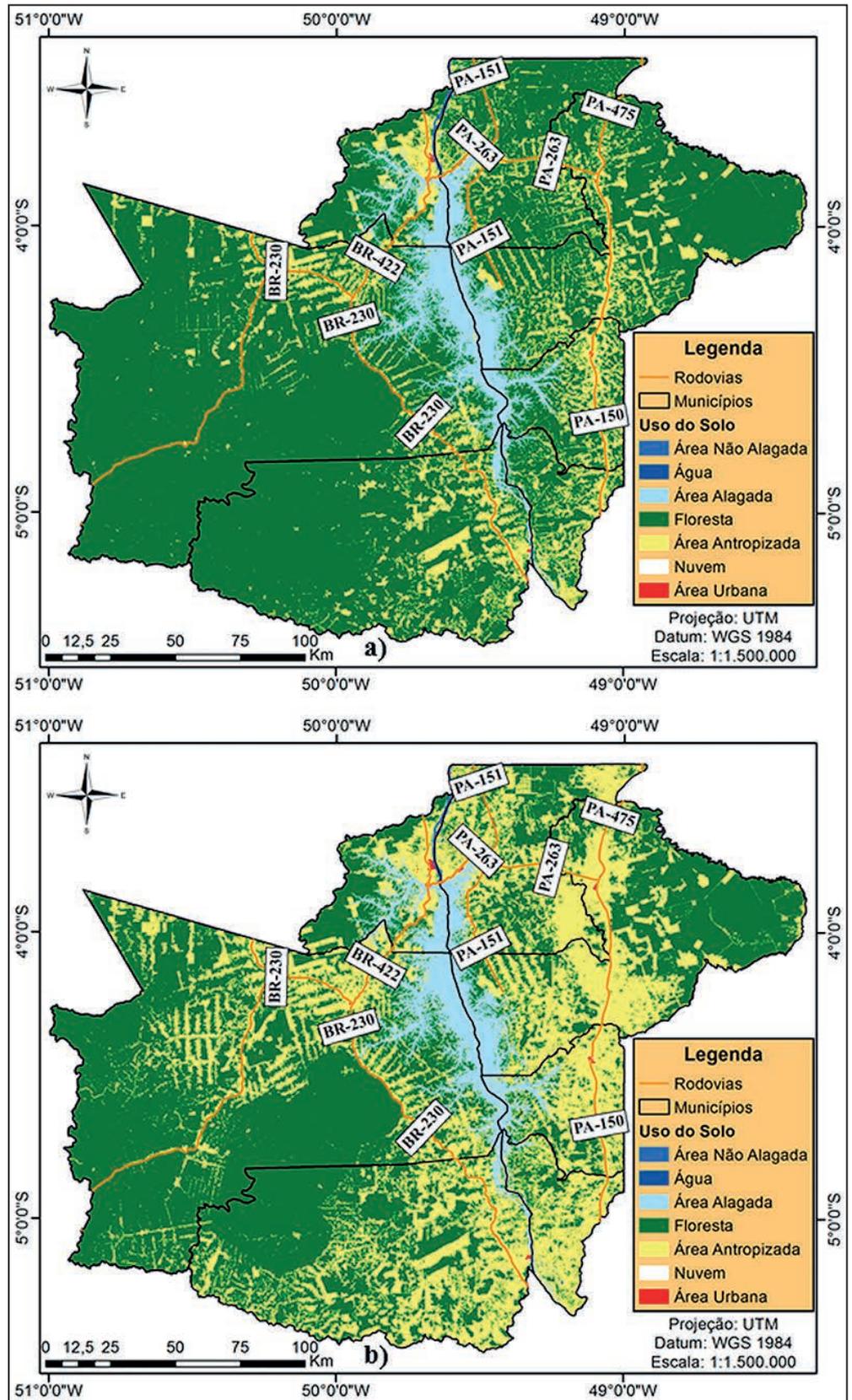


Figura 3 Mapas temáticos de cobertura da terra dos municípios de Tucuruí, Breu Branco, Goianésia do Pará, Itupiranga, Jacundá, Nova Ipixuna e Novo Repartimento, derivados do processamento de imagens dos sensores Thematic Mapper e Enhanced Thematic Mapper Plus do satélite Landsat, referentes aos anos de 1988 (a) e 1999 (b).

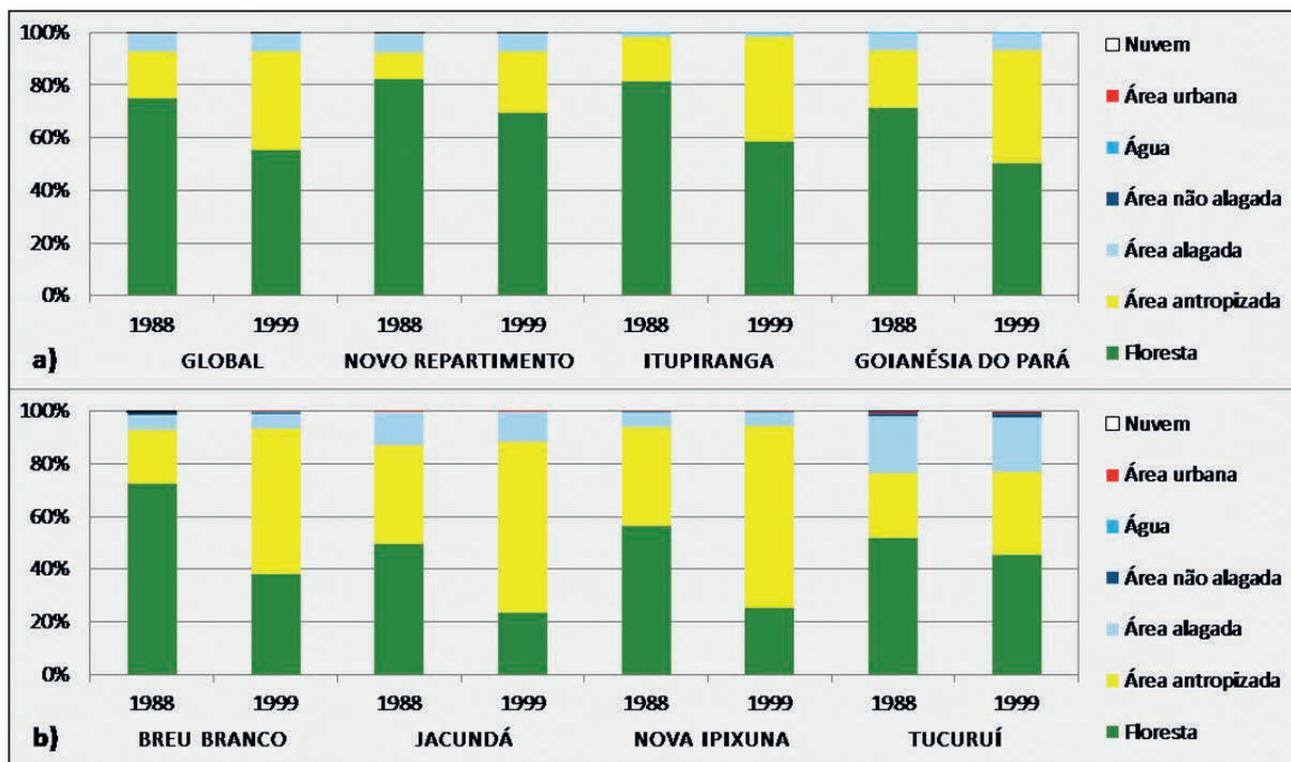


Figura 4 Proporção das áreas de cobertura da terra nos anos de 1988 e 1999, para toda a região e os municípios de Novo Repartimento, Itupiranga e Goianésia do Pará (a), e os municípios de Breu Branco, Jacundá, Nova Ipixuna e Tucuruí (b).

Tanto o Município Novo Repartimento, como o Município Itupiranga, localizados sobre a margem esquerda do reservatório, apresentaram os maiores crescimentos de áreas antropizadas no período analisado. No ano 1988, estas áreas estavam localizadas nas proximidades da represa, ao redor da rodovia Transamazônica (BR-230) e BR-422 (Figura 3a). Em Itupiranga, foi possível identificar duas manchas urbanas interconectadas pela BR-230, sendo a sede de Itupiranga a de maior tamanho (117 ha), situada na beira do reservatório de Tucuruí. No Município Novo Repartimento foram identificadas três manchas urbanas interconectadas pela BR-230, sendo a sede de Novo Repartimento a maior mancha urbana com 38 ha. Parte da BR-230 delimita a fronteira nordeste da reserva indígena dos Parakanãs.

No ano 1999, as áreas antropizadas seguem um padrão mais disperso ao redor da BR-230, BR-422 e estradas que conectam as pequenas vilas com a Transamazônica, sendo possível apreciar com facilidade as fronteiras noroeste, norte, este e sul da reserva indígena dos Parakanãs (Figura 3b).

Constatarem-se seis novas manchas urbanas no Município de Itupiranga, ligadas por estradas às manchas urbanas acentuadas na BR-230, onde a sede de Itupiranga continua sendo a mancha de maior área (200 ha). O Município de Novo Repartimento teve três novas manchas urbanas, ligadas também por meio de estradas à BR-230, onde a cidade de Novo Repartimento ainda é a de maior tamanho (141 ha).

Em relação ao Município de Breu Branco, as áreas desmatadas passaram de 81.637 ha em 1988 (20,77%) para 217.344 ha em 1999 (55,29%), e contém o 7,84% da represa de Tucuruí (5,51 % do município) (Tabela 3). No que concerne a Goianésia do Pará, suas áreas desmatadas foram praticamente duplicadas, passando de 152.702 ha em 1988 (21,78%) para 300.531 ha em 1999 (42,87%), sendo o município que experimentou a terceira maior extensão de áreas desmatadas ao longo dos onze anos analisados. Este é o município que alberga a segunda maior parte da represa de Tucuruí, o 16,66% do reservatório (6,56 % do município) (Tabela 2). Durante os 11 anos de análise na zona

leste do município, encontra-se uma região de baixa afetação da cobertura florestal, especificamente a área compreendida entre o Rio Ararandeuá e o limite leste do município (Figuras 3b e 1).

Os municípios de Goianésia do Pará e Breu Branco, assentados nas margens superior e direita do reservatório de Tucuruí, correspondem ao segundo grupo de municípios de maiores crescimentos de áreas antropizadas. No ano 1988, estas áreas antropizadas estavam altamente concentradas ao redor da parte norte da represa, nas proximidades da jusante da usina hidrelétrica, e ao redor das rodovias PA-263, PA-151, PA-150 e PA-475 (Figura 3a). Em Breu Branco, detectaram-se duas manchas urbanas interconectadas mediante a PA-263, uma das manchas corresponde a um segmento da barragem, e a outra mancha de 109 ha (a de maior tamanho) representa a cidade de Breu Branco, formada pelo remanejo dos habitantes do antigo vilarejo Breu Velho, atualmente submerso pelo reservatório de Tucuruí (Netto & Neiva, 2011). No Município de Goianésia do Pará, detectou-se apenas uma mancha urbana de 79 ha, correspondente à sede de Goianésia do Pará, localizada na rodovia PA-150, próxima à interseção das rodovias PA-150, PA-263 e PA-475.

No ano 1999, as áreas antropizadas seguem um padrão mais disperso em torno do reservatório e ao redor das rodovias PA-263, PA-151, PA-150, PA-475 e estradas localizadas na região (Figura 3b). Detectaram-se três novas manchas urbanas no Município de Breu Branco, duas destas localizadas a jusante da usina, na beira do Rio Tocantins e conectadas à rodovia PA-151 por uma estrada,

e a outra, localizada ao leste do reservatório, conectada também por uma estrada à rodovia PA-150. No entanto, a cidade de Breu Branco continua sendo a maior mancha urbana (284 ha) do município. No Município de Goianésia do Pará, por seu turno, identificou-se somente uma mancha a mais, localizada na rodovia PA-475, ao norte no município, onde a sede de Goianésia do Pará continua sendo a mancha urbana de maior tamanho (236 ha) no município.

Os municípios de Jacundá, Nova Ipixuna e Tucuruí foram os que apresentaram as menores propagações de áreas desmatadas entre 1988 e 1999, passando de 75.900 ha (37,91%) a 129.863 ha (64,87%) em Jacundá, de 58.390 ha (37,49%) a 107.642 ha (69,11%) em Nova Ipixuna, e de 51.729 ha (24,90%) a 66.274 ha (31,90%) em Tucuruí. O baixo incremento de áreas desmatadas nestes três municípios, podendo-se associar, que no ano 1988, boa parte dos territórios dos municípios (entre 25 e 38%) já estavam cobertas por áreas antropizadas (ver Tabelas 3 e 4). Os municípios de Tucuruí e Jacundá abrangem a terceira e quarta maior parte do reservatório, correspondendo ao 16,21% (21,53% do município) e 9,1% (12,54% do município) respectivamente. Enquanto que, o 3,22% do reservatório (5,71% do município) é albergada pelo Município de Nova Ipixuna. De todos os municípios estudados, Tucuruí foi o que albergou as maiores áreas urbanas, passando de 688 ha em 1988 (0,33%) para 1.079 ha em 1999 (0,52%) no período analisado (Tabela 4).

CLASSES	BREU BRANCO				JACUNDÁ			
	Área [ha]		Part. Relt. [%]		Área [ha]		Part. Relt. [%]	
	1988	1999	1988	1999	1988	1999	1988	1999
Área alagada	21.642	21.311	5,51	5,42	25.106	23.022	12,54	11,50
Área não alagada	2.758	2.916	0,70	0,74	-	-	-	-
Água	1.230	1.478	0,31	0,38	37	64	0,02	0,03
Floresta	284.409	150.070	72,35	38,17	99.150	47.243	49,53	23,60
Área antropizada	81.471	216.976	20,72	55,19	75.627	129.415	37,78	64,65
Área urbana	166	368	0,04	0,09	273	449	0,14	0,22
Nuvem	1.443	-	0,37	-	-	-	-	-

Tabela 3 Quantificação das áreas (em hectare) e a participação relativa das classes de cobertura da terra derivadas do processamento das imagens das imagens dos sensores TM-Landsat 5 e ETM+-Landsat 7 para os anos de 1988 e 1999 para os municípios de Breu Branco e Jacundá.

No ano 1988, as áreas antropizadas dos municípios Jacundá e Nova Ipixuna já estavam dispersas por todo o território, com maior concentração aos arredores das rodovias PA-151 e PA-150, onde se acentuaram as duas únicas manchas urbanas detectadas, sendo estas, a cidade de Jacundá (273 ha) e a sede de Nova Ipixuna (45 ha), enlaçadas pela PA-150, rodovia que atravessa de norte a sul, dividindo pela metade o Município de Jacundá e parte do Município de Nova Ipixuna (Figura 3a). Na parte sul de Nova Ipixuna, também é possível observar ampla concentração de áreas antropizadas, região influenciada pela proximidade e dinamismo da cidade de Marabá, localidade considerada entroncamento logístico, pela interligação de várias rodovias ao território nacional, por via aérea, ferroviária e fluvial (La Rovere & Mendes, 2000).

No Município de Tucuruí, localizado ao noroeste do reservatório, já se apresentavam extensas áreas antropizadas, com maior concentração ao redor da usina hidrelétrica, nas proximidades da jusante da usina, e ao redor das rodovias BR-422, PA-263 e estradas (Figura 3a). Estas rodovias interconectam quatro manchas urbanas observadas, correspondendo as de maior tamanho à cidade de Tucuruí (462 ha), acentuada a jusante da usina, na beira do Rio Tocantins, e o bairro Vila Permanente (236 ha), construída pela Eletronorte para acomodar as pessoas que trabalhavam na construção e operação da usina de Tucuruí (Caramelo & Cidade, 2004).

No ano 1999, as áreas antropizadas se apresentam muito mais estendidas em todo o território dos municípios de Jacundá e Nova Ipixuna, como também na superfície central e norte do

Município de Tucuruí (Figura 3b). Nenhum destes três municípios teve incremento no número de manchas urbanas, mas quatro manchas aumentaram de tamanho, sendo estas a cidade de Jacundá (449 ha), a sede de Nova Ipixuna (110 ha), o bairro Vila Permanente (273 ha) e a cidade de Tucuruí (789 ha), sendo as cidades de Jacundá e Tucuruí as que representam as maiores manchas urbanas de toda a região de estudo, ao longo dos onze anos analisados.

Desde que surge a notícia da construção da hidrelétrica de Tucuruí na região, alguns dos municípios sofrem um grande aumento da população. Segundo dados de população do IBGE (1970), em 1970 os municípios de Tucuruí, Itupiranga e Jacundá tinham uma população de 9.921, 5.346 e 2.228 habitantes respectivamente, e para o ano de 1980, esses valores passaram para 61.140, 15.641 e 14.868 habitantes (IBGE, 1980). Ao final da década de 80 e início da década de 90, começam a acontecer desmembramentos territoriais nos núcleos urbanos, criados em função dos deslocamentos populacionais e da submersão de localidades, formando-se os municípios de Goianésia do Pará, Breu Branco, Novo Repartimento e Nova Ipixuna, construídos com a finalidade de abrigar a população recolocada de seus centros de origem (La Rovere & Mendes, 2000).

Segundo dados de população do IBGE (1991), em 1991 os municípios de Tucuruí, Breu Branco, Novo Repartimento, Jacundá, Goianésia do Pará, Itupiranga e Nova Ipixuna tinham uma população de 54.330, 13.879, 31.585, 28.701, 12.358, 30.141 e 7.400 habitantes respectivamente, e para o ano 2000 esses valores foram de 73.798, 32.446,

CLASSES	NOVA IPIXUNA				TUCURUÍ			
	Área [ha]		Part. Relt. [%]		Área [ha]		Part. Relt. [%]	
	1988	1999	1988	1999	1988	1999	1988	1999
Área alagada	8.899	8.165	5,71	5,24	44.729	43.305	21,53	20,85
Área não alagada	-	-	-	-	3.251	3.415	1,56	1,64
Água	612	655	0,39	0,42	106	141	0,05	0,07
Floresta	87.848	39.287	56,40	25,22	107.888	94.608	51,93	45,54
Área antropizada	58.345	107.532	37,46	69,04	51.040	65.195	24,57	31,38
Área urbana	45	110	0,03	0,07	688	1.079	0,33	0,52
Nuvem	-	-	-	-	40	-	0,02	-

Tabela 4 Quantificação das áreas (em hectare) e a participação relativa das classes de cobertura da terra derivadas do processamento das imagens dos sensores TM-Landsat 5 e ETM+-Landsat 7 para os anos de 1988 e 1999 para os municípios de Nova Ipixuna e Tucuruí.

41.817, 40.546, 22.685, 49.655 e 11.866 habitantes. Durante todo este tempo, se perdeu o predomínio da floresta, fato provocado pela execução dos projetos de “desenvolvimento”, implementação de estradas, incremento de áreas urbanas e áreas antropizadas, relacionadas a projetos agropecuários, ação de madeireiros e assentamentos (Chen *et al.*, 2015).

A Tabela 5 e a Figura 5 apresentam dados relativos ao número de fragmentos de floresta e cobertura da terra dos fragmentos, presentes nas paisagens dos anos de 1988 e 1999. A nível regional, no ano 1988 o 65,81% da paisagem estava coberta por 6 fragmentos florestais de grande tamanho (>50.000 ha), enquanto que, no ano 1999 foram identificados 4 destes fragmentos florestais, que representam o 36,03% da paisagem. Este resultado corrobora com a queda do predomínio da cobertura florestal de toda área de estudo, produzindo-se fragmentações dos grandes segmentos de área florestal. Contudo, estes resultados globais escondem informação das mudanças reais, acontecidas nas paisagens de cada município.

No ano de 1988, os municípios Breu Branco, Goianésia do Pará, Itupiranga e Novo Repartimento foram os únicos municípios que com menos do 1% dos fragmentos florestais (2, 2, 1 e 1 fragmentos maiores a 50.000 ha, respectivamente) apresentaram uma cobertura florestal maior do 50% de suas superfícies. No ano de 1999, só o Município de Novo Repartimento foi o que manteve a cobertura florestal em mais do 50% do território, com menos do 1% dos

fragmentos florestais (um fragmento maior a 50.000 ha), em que parte deste fragmento, corresponde a um segmento da reserva indígena dos Parakanãs. Mesmo assim, este município teve um incremento de 23,82% de fragmentos, e perda de 12,88% da cobertura florestal. No caso de Goianésia do Pará, se mantiveram os dois fragmentos florestais maiores a 50.000 ha, porém, que só cobrem o 33,39% do município, como também, a diminuição em 21,07% da cobertura florestal e aumento de 29% no número de fragmentos.

O Município de Breu Branco, para o ano 1999, não apresentou nenhum fragmento florestal maior que 50.000 ha, e a soma de todas as áreas dos fragmentos florestais atingiu menos do 40% do município (Figura 5), com um aumento de 158% de fragmentos, e perda do 34,17% da cobertura florestal. Ou seja, mais fragmentos em poucas áreas de floresta. Acontecimento similar, apresentou o Município de Itupiranga, apesar de manter um fragmento florestal maior a 50.000 ha, este fragmento representa 40,59% do município (Figura 5), e corresponde exclusivamente a um segmento da reserva indígena dos Parakanãs, mas com um incremento de 126% dos fragmentos florestais e redução de 23,2% da cobertura florestal. Pode-se afirmar que estes dois municípios foram os que apresentaram os maiores incrementos de fragmentos florestais.

Os municípios de Jacundá, Nova Ipixuna e Tucuruí, já tinham valores próximos a 50% de cobertura florestal no ano de 1988, apresentando

MUNICÍPIOS	1988				1999			
	<1 ha	1-5 ha	5-50.000 ha	>50.000 ha	<1 ha	1-5 ha	5-50.000 ha	>50.000 ha
GLOBAL	484	1.211	1.826	6	205	1.287	3.656	4
NOVO REPARTIMENTO	74	375	650	1	58	362	941	1
ITUPIRANGA	82	194	165	1	31	248	717	1
GOIANÉSIA DO PARÁ	144	216	319	2	78	210	587	2
BREU BRANCO	37	70	162	2	34	155	511	0
JACUNDÁ	85	125	218	1	21	95	363	0
NOVA IPIXUNA	115	148	156	1	18	156	357	0
TUCURUÍ	29	114	240	1	17	82	254	0

Tabela 5 Número de fragmentos de floresta nos anos de 1988 e 1999, para toda a região e os municípios de Novo Repartimento, Itupiranga, Goianésia do Pará, Breu Branco, Jacundá, Nova Ipixuna e Tucuruí.

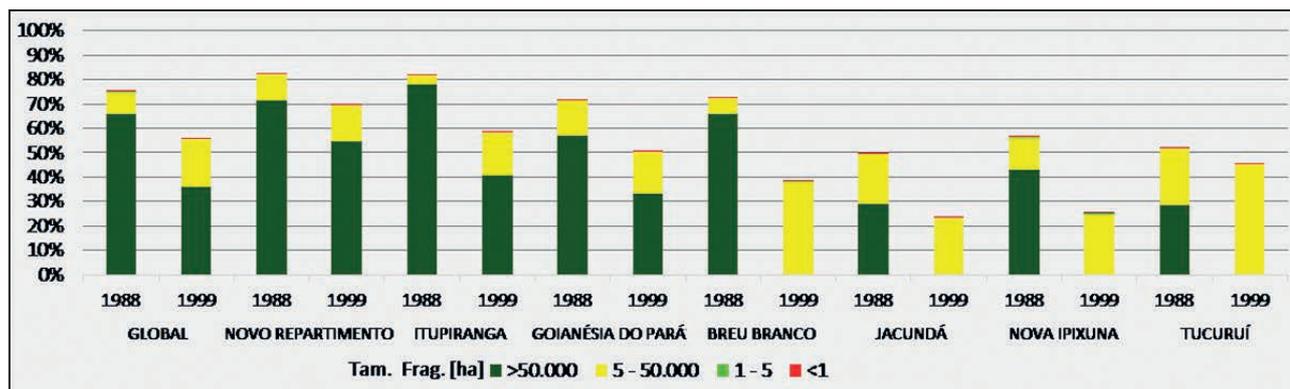


Figura 5 Taxas de cobertura da terra dos fragmentos de floresta nos anos de 1988 e 1999, para toda a região e os municípios de Novo Repartimento, Itupiranga, Goianésia do Pará, Breu Branco, Jacundá, Nova Ipixuna e Tucuruí.

pelo menos um fragmento florestal maior a 50.000 ha em cada município. Cobrindo estes fragmentos florestais uma área aproximada de 29% do município de Jacundá e Tucuruí, e o 42,83% do município de Nova Ipixuna (Figura 5). Para o ano de 1999, estes municípios apresentam menores extensão de áreas desmatadas e número de fragmentos florestais, comparados aos municípios Breu Branco, Goianésia do Pará, Itupiranga e Novo Repartimento, a exceção de Jacundá, que apresenta uma perda de cobertura florestal de 25,93%.

O número (NP), densidade (PD) e tamanho médio dos fragmentos de floresta (MPS) existentes nos sete municípios atingidos pelo reservatório de Tucuruí, podem ser observados na Tabela 6. Constatando-se que o Município de Novo Repartimento é o que apresenta o maior número de fragmentos florestais no ano 1988, seguido pelos municípios de Goianésia do Pará, Itupiranga, Jacundá, Nova Ipixuna, Tucuruí e Breu Branco. Contudo, ao analisar os números de fragmentos dos

municípios no ano de 1999, todos eles apresentaram um acréscimo, com exceção de Tucuruí, porém esse acréscimo não aconteceu de forma proporcional, gerando alteração no *ranking* de municípios com maior número de fragmentos florestais. No ano de 1999, Novo Repartimento continua sendo o município que apresenta o maior número de fragmentos florestais, seguido pelos municípios de Itupiranga, Goianésia do Pará, Breu Branco, Nova Ipixuna, Jacundá e Tucuruí. Constatando-se que, os municípios que apresentaram os maiores incrementos de fragmentos florestais foram Itupiranga (555), Breu Branco (429).

Segundo McGarigal & Moks (1995), as paisagens que apresentem menores valores do tamanho médio de fragmento, devem ser consideradas como as mais fragmentadas, considerando-se bom indicativo do grau de fragmentação, por ser função do número de fragmentos e área ocupada de toda a floresta. Quando é avaliado em conjunto com a densidade de fragmentos, é possível ter um melhor

MUNICIPIOS	1988			1999		
	NP [unid.]	PD [frag./100ha]	MPS [ha]	NP [unid.]	PD [frag./100ha]	MPS [ha]
GLOBAL	3.527	0,09	847,37	5.152	0,13	429,21
NOVA IPIXUNA	420	0,27	209,16	531	0,34	73,99
JACUNDÁ	429	0,21	231,12	479	0,24	98,63
TUCURUÍ	384	0,18	280,96	353	0,17	268,01
GOIANÉSIA DO PARÁ	681	0,10	735,21	877	0,13	402,47
BREU BRANCO	271	0,07	1.049,48	700	0,18	214,39
NOVO REPARTIMENTO	1.100	0,07	1.150,20	1.362	0,09	783,59
ITUPIRANGA	442	0,06	1.450,86	997	0,13	460,23

Tabela 6 Número (NP), densidade (PD) e tamanho médio de fragmentos florestais (MPS) nos anos de 1988 e 1999, para os municípios de Novo Repartimento, Itupiranga, Goianésia do Pará, Breu Branco, Jacundá, Nova Ipixuna e Tucuruí.

entendimento de diferentes aspectos da estrutura da paisagem (Valente, 2001). Os resultados da Tabela 6 apontam um processo de fragmentação em toda a região de estudo, evidenciado pelo aumento da densidade (PD) e diminuição dos tamanhos médios das manchas (MPS) florestais. Ao analisar as métricas de tamanho médios e densidade das manchas em toda a região, a fragmentação fica mais evidente, em razão do aumento do número de manchas na paisagem (NP), que eram 3.527 em 1988 e passaram para 5.152 manchas em 1999. A fragmentação, fez com que o tamanho médio das manchas (MPS) diminuísse, passando de 847,37 ha em 1988 para 429,21 ha em 1999. Assim, o aumento do número de manchas também fez com que a densidade das manchas (PD) fosse maior em 1999.

Assim, pode-se começar a ter uma representação do nível de fragmentação florestal da paisagem dos municípios da região de estudo. Os municípios que tem os menores tamanhos médios de fragmentos são os que apresentaram a maior densidade de fragmentos, porém, mais fragmentados, possibilitando organizar os municípios por seu nível de fragmentação. Sendo para o ano 1988, da maior para a menor fragmentação, tem-se os municípios de: Nova Ipixuna, Jacundá, Tucuruí, Goianésia do Pará, Breu Branco, Novo Repartimento e Itupiranga. Assim como, para o ano 1999, da maior para a menor fragmentação, destacam-se os municípios de: Nova Ipixuna, Jacundá, Breu Branco, Tucuruí, Goianésia do Pará, Itupiranga e Novo Repartimento. Constatando-se que para o ano 1999, o Município de Breu Branco ingressou no grupo dos municípios de maior fragmentação, inclusive superando ao Município de Tucuruí.

Segundo Laurance & Vasconcelos (2009), a fragmentação florestal causa uma diversidade de efeitos, alterando o tamanho e a dinâmica das populações, as interações tróficas e os processos ecossistêmicos. Neste caso de estudo, a fragmentação criou um grande número de fragmentos, propiciando a que as espécies que ocupam o interior de cada fragmento sofram uma redução em suas populações, já que os efeitos do tamanho do fragmento e da perda de hábitat atuam em conjunto.

4 Conclusão

Os resultados obtidos permitem concluir que houve modificações no padrão espacial da cobertura florestal no entorno do reservatório de Tucuruí, entre o período de finalização da I fase e início da II fase de construção da UHE Tucuruí. Ao analisar esse padrão espacial na escala de municípios, constatamos que o mesmo apresenta comportamentos diferentes para cada um deles, sendo importante sua identificação para determinar as possíveis causas. Neste estudo de caso, foram investigados os níveis de fragmentação florestal, ao longo de um período de 11 anos, nos sete municípios afetados pela represa de Tucuruí, o primeiro projeto hidrelétrico em grande escala na bacia Amazônica.

Constatou-se que a taxa de desmatamento de toda a região foi de 70.673 ha/ano, enquanto que as taxas de desmatamento para cada município foram de 1.207 ha/ano em Tucuruí, 4.415 ha/ano em Nova Ipixuna, 4.719 ha/ano em Jacundá, 12.213 ha/ano em Breu Branco, 13.429 ha/ano em Goianésia do Pará, 16.585 ha/ano em Itupiranga e 17.997 ha/ano em Novo Repartimento. Verifica-se que o desmatamento dos municípios não foi proporcional à porcentagem do reservatório nestes municípios, com exceção de Novo Repartimento, que é o município que abrange o 42,08% da represa (21,53% do município) e, apresenta a maior propagação de áreas desmatadas neste período, podendo estar vinculada aos diferentes tipos de uso da água.

Ao avaliar os níveis de fragmentação florestal da paisagem, os municípios de Nova Ipixuna, Jacundá e Tucuruí, apresentaram os maiores níveis de fragmentação no ano de 1988, onde o 25 a 38% de seus territórios já estavam desmatados. Para o ano de 1999, se adicionou a este *ranking* o Município de Breu Branco, superando em nível de fragmentação ao Município de Tucuruí, ao mesmo tempo que, Breu Branco foi o município que apresentou a maior taxa de crescimento populacional e segunda maior extensão de manchas urbanas nos 11 anos analisados.

Estes quatro municípios, no ano de 1999 possuíam entre 32% e 69% de seus territórios desmatados, dos quais, dois deles (Tucuruí e Jacundá) apresentavam as maiores manchas urbanas

e um deles a maior população (Tucuruí). Todos estes municípios altamente fragmentados, comparando-se aos da região de estudo, coincidem localizados na margem superior e direita do reservatório de Tucuruí, em que, parte destas regiões é atravessada pelas rodovias BR-422, PA-150 e PA-263, conectando os municípios de maiores manchas urbanas da região (Tucuruí, Jacundá, Breu Branco e Nova Ipixuna) com a dinâmica cidade de Marabá. Pode-se concluir que o alto nível de fragmentação está associado à conectividade das rodovias entre as manchas urbanas destes municípios, facilitando o acesso e conversão de áreas de floresta em pasto, atividades desenvolvidas nos arredores destas manchas urbanas e rodovias.

Finalmente, os municípios de Goianésia do Pará, Itupiranga e Novo Repartimento foram os que apresentaram os menores níveis de fragmentação florestal, sendo os únicos municípios em toda a região, que até o ano 1999 ainda conservaram fragmentos florestais de grande tamanho (>50.000 ha), ajudando a sua preservação florestal. Parte destes fragmentos corresponde à reserva indígena de Parakanãs e áreas sem aberturas de estradas.

5 Referências

- ANA – Agência Nacional de Águas. 2009. *Plano estratégico de recursos hídricos da bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia: Relatório síntese*. Brasília, ANA/SPR, 256p.
- Bermann, C. 2012. O projeto da Usina Hidrelétrica Belo Monte: a autocracia energética como paradigma. *Novos Cadernos NAEA*, 15(1): 5-23.
- Câmara, G.; Valeriano, D. & Vianei, J. 2013. *Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal – Projeto PRODES*. São Jose dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 37p.
- Caramelo, S.U.J. & Cidade, L.C.F. 2004. Gestão do território e conflitos ambientais na represa de Tucuruí na Amazônia brasileira. *POLÍGONOS. Revista de Geografia*, 14: 53-77.
- Carneiro Filho, A. & Souza, O.B. 2009. *Atlas de Pressões e Ameaças às Terras Indígenas na Amazônia Brasileira*. São Paulo, Instituto Socioambiental, 47p.
- Chen, G.; Powers, R.P.; Carvalho, L.M.T. & Mora, B. 2015. Spatiotemporal patterns of tropical deforestation and forest degradation in response to the operation of the Tucuruí hydroelectric dam in the Amazon basin. *Applied Geography*, 63: 1-8.
- Fearnside, P.M. 1999. Social Impacts of Brazil's Tucuruí Dam. *Environmental Management*, 24(4): 483-495.
- Fearnside, P.M. 2001. Environmental Impacts of Brazil's Tucuruí Dam: Unlearned Lessons for Hydroelectric Development in Amazonia. *Environmental Management*, 27(3): 377-396.
- Fearnside, P.M. 2002. Greenhouse Gas Emissions from a Hydroelectric Reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and The Energy Policy Implications. *Water, Air, and Soil Pollution*, 133(1-4): 69-96.
- Fearnside, P.M. 2014. *Análisis de los principales proyectos hidro-energéticos en la región amazónica*. Lima, DAR/CLAES, 55p.
- Ferraz, S.F.B. & Vettorazzi, C.A. 2003. Identificação de áreas para recomposição florestal com base em princípios de ecologia de paisagem. *Revista Árvore*, 27(4): 575-583.
- Ferreira, L.V.; Cunha, D.A.; Chaves, P.P.; Matos, D.C.L. & Parolin, P. 2013. Impacts of hydroelectric dams on alluvial riparian plant communities in eastern Brazilian Amazonian. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 85(3): 1013-1023.
- Finer, M. & Jenkins, C.N. 2012. Proliferation of Hydroelectric Dams in the Andean Amazon and Implications for Andes-Amazon Connectivity. *PLoS ONE*, 7(4): e35126.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1970. *Censo demográfico: 1970*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 out. 2017.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1980. *Censo demográfico: 1980*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 out. 2017.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1991. *Censo demográfico: 1991*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 out. 2017.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2015. *Malhas digitais: 2015*. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br>. Acesso em: 30 mar. 2016.
- La Rovere, E.L. & Mendes, F.E. 2000. *Tucuruí Hydropower Complex, Brazil*. Cape Town, World Commission on Dams, 195p.
- Laurance, W.F. & Vasconcelos, H.L. 2009. Consequências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia. *Oecologia Brasiliensis*, 13(3): 434-451.
- Manyari, W.V. & Carvalho Jr, O.A. 2007. Environmental considerations in energy planning for the Amazon region: Downstream effects of dams. *Energy Policy*, 35(12): 6526-6534.
- McGarigal, K. & Marks, B.J. 1995. *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure*. Portland, Department of Agriculture/Forest Service/Pacific Northwest Research Station, 122p.
- McGarigal, K.; Cushman, S.A. & Ene, E. 2012. *FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps*. Amherst, University of Massachusetts. Disponível em: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
- Netto, B.M. & Neiva, É. 2011. Além da energia: Preservação e desenvolvimento no entorno de Tucuruí. In: *ELETOBRAS, Hidreletricidade e desenvolvimento: Exemplos de usinas das empresas Eletrobras prenunciam impactos positivos de Belo Monte*. Rio de Janeiro, Sistema Eletrobras, p. 24-26.
- PostgreSQL. 2012. *PostgreSQL version 9.4 for Windows*. Open Source Object-Relational Database System. Disponível

- em: <https://www.postgresql.org>.
- Rodrigues, W.; Nogueira, J.M. & Carvalho, E. 2009. Mensuração dos Impactos Ambientais de Empreendimentos Hidroelétricos: O uso do Método de Valoração Contingente. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 14(2): 39-45.
- Shimabukuro, Y.E.; Mello, E.M.K.; Moreira, J.C. & Duarte, V. 1997. *Segmentação e classificação da imagem sombra do modelo de mistura para mapear desflorestamento na Amazônia*. São Jose dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 16p.
- Souza, A.C.C. 2008. Assessment and statistics of Brazilian hydroelectric power plants: Dam areas versus installed and firm power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(7): 1843-1863.
- TerraAmazon. 2016. *TerraAmazon version 4.6.2 for Windows*. São Jose dos Campos, INPE/FUNCATE. Disponível em: <http://terraamazon.org/index.php>.
- Tundisi, J.G; Goldemberg, J.; Matsumura-Tundisi, T. & Saraiva, A.C.F. 2014. How many more dams in the Amazon? *Energy Policy*, 74: 703-708.
- USGS – United States Geological Survey. 1988a. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 223/62 de 22 de julho de 1988.
- USGS – United States Geological Survey. 1988b. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 223/63 de 22 de julho de 1988.
- USGS – United States Geological Survey. 1988c. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 223/64 de 22 de julho de 1988.
- USGS – United States Geological Survey. 1988d. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 224/62 de 14 de agosto de 1988.
- USGS – United States Geological Survey. 1988e. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 224/63 de 14 de agosto de 1988.
- USGS – United States Geological Survey. 1988f. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 224/64 de 29 de julho de 1988.
- USGS – United States Geological Survey. 1988g. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 225/63 de 21 de agosto de 1988.
- USGS – United States Geological Survey. 1999a. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 223/62 de 05 de julho de 1999.
- USGS – United States Geological Survey. 1999b. Imagem Landsat 7 ETM+ bandas 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 223/63 de 13 de julho de 1999.
- USGS – United States Geological Survey. 1999c. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 223/64 de 21 de julho de 1999.
- USGS – United States Geological Survey. 1999d. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 224/62 de 28 de julho de 1999.
- USGS – United States Geological Survey. 1999e. Imagem Landsat 7 ETM+ bandas 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 224/63 de 05 de agosto de 1999.
- USGS – United States Geological Survey. 1999f. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 224/64 de 28 de julho de 1999.
- USGS – United States Geological Survey. 1999g. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 225/63 de 04 de agosto de 1999.
- USGS – United States Geological Survey. 1999h. Imagem Landsat 7 ETM+ bandas 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 223/63 de 29 de julho de 1999.
- USGS – United States Geological Survey. 1999i. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 224/63 de 12 de julho de 1999.
- USGS – United States Geological Survey. 2017a. *Landsat processing details*. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/landsat-processing-details>. Acesso em: 25 ago. 2017.
- USGS – United States Geological Survey. 2017b. *Landsat missions timeline*. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/landsat-missions-timeline>. Acesso em: 25 ago. 2017.
- Valente, R.O.A. 2001. *Análise da estrutura da paisagem na bacia do Rio Corumbataí, SP*. Programa de Pós-graduação em Recursos Florestais, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, 144p.
- Vasconcelos, C.H. & Novo, E.M.L.M. 2004. Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens - fração solo, sombra e vegetação derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat5, na região do reservatório de Tucuruí - PA. *Acta Amazônica*, 34(3): 487-493.
- Vidolin, G.P.; Biondi, D. & Wandembruck, A. 2011. Análise da estrutura da paisagem de um remanescente de floresta com Araucária, Paraná, Brasil. *Revista Árvore*, 35(3): 515-525.
- Wood, C.H. & Porro, R. 2002. *Deforestation and Land Use in the Amazon*. Gainesville, University Press of Florida, 385p.