



Universidade Federal do Pará
Museu Paraense Emílio Goeldi
Embrapa Amazônia Oriental
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

Dissertação de Mestrado

PRISCILLA FLORES LEÃO FERREIRA TAMASAUSKAS

MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DA TERRA E SUA RELAÇÃO COM A FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL E O COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CARIPI-PARÁ

Belém-Pará
2015



Universidade Federal do Pará
Museu Paraense Emílio Goeldi
Embrapa Amazônia Oriental
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

Dissertação de Mestrado

PRISCILLA FLORES LEÃO FERREIRA TAMASAUSKAS

MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DA TERRA E SUA RELAÇÃO COM A FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL E O COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CARIPI-PARÁ

Dissertação de Mestrado apresentada para o Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará, para a obtenção do título de mestre em Ciências Ambientais.

Linha de pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmica Sócio-ambiental.

Orientadora: Prof. Dr^a Aline Maria Meiguins de Lima
Coorientador: Prof. Dr. Mario A. Gonçalves Jardim

Belém
2015



Universidade Federal do Pará
Museu Paraense Emílio Goeldi
Embrapa Amazônia Oriental
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

PRISCILLA FLORES LEÃO FERREIRA TAMASAUSKAS

**MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DA TERRA E SUA RELAÇÃO COM A
FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL E O COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO CARIPI-PARÁ**

Dissertação de Mestrado apresentada para o Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará, para a obtenção do título de mestre em Ciências Ambientais.

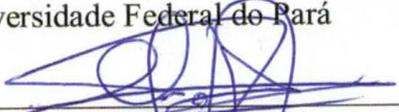
Linha de pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmica Sócio-ambiental.

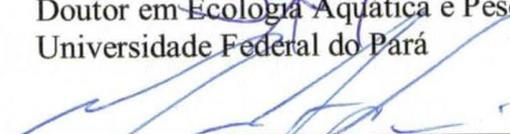
Data da Aprovação: 29 / 10 / 2015

Conceito:

Banca Examinadora:


Prof. Aline Maria Meiguins de Lima – Orientadora
Doutora em Desenvolvimento Socioambiental
Universidade Federal do Pará


Prof. Christian Nunes da Silva
Doutor em Ecologia Aquática e Pesca
Universidade Federal do Pará


Prof. Marcos Adami
Doutor em Sensoriamento Remoto
Universidade Federal do Pará


Prof. Edson José Paulino da Rocha
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

- À minha orientadora Prof. Aline Meiguins pela orientação, se fazendo sempre presente e, principalmente, pela paciência diante das minhas dificuldades da execução da pesquisa. E por ser, além de tudo, grande exemplo de profissional a ser seguida. Serei eternamente grata!
- Ao meu Co-orientador Prof. Mário Jardim, pela disposição em contribuir no que fosse necessário para o desenvolvimento da pesquisa. Obrigada.
- Ao PPGCA, com certeza, pois ter feito parte deste Programa de Pós-Graduação foi de grande valia para meu crescimento intelectual.
- Ao pesquisador José Mantovani, que me ajudou, sem nem mesmo me conhecer, quase que em tempo real a solucionar alguns equívocos encontrados durante a aplicação da extensão HEC-GeoHMS. Muito obrigada pela solidariedade!
- Aos meus pais, Wilma e Maurício, que nunca mediram esforços em me ajudar no que fosse possível para que esse trabalho fosse concluído.
- Ao meu marido, Carlos Eduardo, por todo companheirismo, enquanto marido, amigo e colega de profissão. Você foi a pessoa que mais me deu forças do início ao fim. Obrigada por me mostrar que é preciso se superar a cada dia, por mais complicado que seja, para conseguirmos alcançar nossos objetivos. Às minhas filhas Maria Eduarda e Maitê, que são as minhas principais motivações para seguir sempre em frente, mesmo que com muitos obstáculos.
- Aos amigos que fizeram parte desses momentos sempre me ajudando e incentivando. Em especial às minhas amigas de sempre, Laryssa e Kellem e das minhas queridas amigas de trabalho da GEMAM/SEMAS, Mariana, Catarina, Aparecida, Luciana, Jakeline. Um agradecimento a parte ao meu querido “boss”, Rodolfo, sem a sua compreensão dificilmente teria conseguido concluir esta etapa profissional e acadêmica, muito obrigada.

RESUMO

O processo de uso e ocupação da região nordeste do estado do Pará ocasionou grandes mudanças sobre a cobertura vegetal desta região, as quais indicam a existência de impactos tanto sobre a floresta remanescente como sobre o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas da região. Este trabalho tem como objetivo mapear as mudanças de uso e cobertura da terra ocorridas na bacia hidrográfica do rio Caripi e, em seguida, analisar a fragmentação da cobertura florestal, principalmente das zonas ripárias, e avaliar os impactos das mudanças sobre o comportamento do escoamento superficial na bacia em questão. Como procedimentos metodológicos foram realizados a análise multitemporal das classes de uso e cobertura da terra a partir de imagens dos satélites Landsat 5 para os anos de 1984, 1994, 2004 e Landsat 8, para 2013; caracterização *in loco* das principais unidades componentes com reconhecimento dos principais sistemas ambientais associados; identificação e delimitação das zonas ripárias; aplicação de métricas de paisagem e simulação do comportamento do escoamento superficial a partir do método Curva-Número. Os resultados obtidos indicam que a bacia apresenta um estado de fragmentação avançado no médio e alto curso do rio principal e que, pela simulação e observações de campo, há impactos sobre o regime hídrico da bacia com uma considerável alteração do escoamento segundo as classes de uso e cobertura da terra existentes.

Palavras-chave: Uso e cobertura da terra. Fragmentação florestal. Escoamento superficial. Rio Caripi.

ABSTRACT

The process of use and occupation of the northeastern region in Pará and the high fragmentation of forest, indicate impacts in the watershed, which can result in reducing the amount of water responsible for the flow of these systems. This study aimed to develop the multi-temporal mapping in order to define the classes of land use and land cover of the watershed of Caripi river, to evaluate the degree of fragmentation of forest, especially the riparian zones, and simulate their effects on run off behavior. The methodological procedures were: the temporal analysis of classes of land use and land cover from Landsat images; characterization in situ of the landscape units and description of the main environmental systems associated; identification and delineation of riparian zones; application of landscape metrics; and flow behavior estimate by Curve/Number SCS method. The results indicate that the basin is in an advanced state of fragmentation in the middle-higher course. The model and the field observations indicate that it may be affecting the water regime, with a considerable change of the flow, according the form of prevailing land cover. The maintenance of riparian forest in Caripi watershed is required.

Key words: Use and land cover. Forest fragmentation. Surface runoff. River Caripi.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema conceitual de uma área ripária.....	17
Figura 2 - (a) Áreas de preservação permanente (APP) segundo o Código Floresta de 2012 e suas mudanças desde 1965; (b) Larguras aceitáveis para manutenção das funções da zona ripária.....	18
Figura 3 - Interação entre sistemas humanos e naturais (água, clima e floresta).....	23
Figura 4 - Estrutura das manchas segundo sua formação: manchas remanescentes, manchas de regeneração, manchas de recurso ambiental, manchas introduzidas e manchas de distúrbio.	25
Figura 5 - Localização da área de estudo.....	28
Figura 6 - Máximo (percentil 65%) e mínimo (percentil 35%) climatológicos da precipitação média anual, segundo Lopes et al. (2013).....	30
Figura 7 - Médias climatológicas da precipitação sazonal (média 1978-2008, em mm) representativas das mesorregiões do Pará: DJF, Dezembro-Janeiro-Fevereiro; MAM, Março-Abril-Maio; JJA, Junho-Julho-Agosto; SON, Setembro-Outubro-Novembro.....	30
Figura 8 - Procedimentos metodológicos adotados.....	32
Figura 9 - Valores de cotas do rio Caeté - estação Nova Mocajuba (cod. 32350000).....	35
Figura 10 - Mapeamento preliminar adotado.....	40
Quadro 01- Classes definidas para o mapeamento multitemporal.....	37
Quadro 01 - Classes definidas para o mapeamento multitemporal.....	38
Figura 11 - Perfil esquemático da Floresta Ombrófila Densa.....	41
Figura 12 - (a) Campo de Mangaba; (b) Mangue (Município São João da Ponta); (c) Massa d'água com remanescentes florestais ao fundo; (d) Floresta secundária aluvial; (e) Vegetação secundária; (f) Plantio de pimenta; (g) Pastagem degradada.....	42
Figura 13 - Delimitação da Bacia Hidrográfica e de sua Zona Ripária.....	47
Figura 14 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra - 1984.....	48
Figura 15 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra - 1994.....	49
Figura 16 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra - 2004.....	50
Figura 17 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra - 2013.....	51
Figura 18 - Classes de Cobertura e Uso da Terra - Anos de 1984, 1994, 2004 e 2013.....	52
Figura 19 - Métrica <i>Circle</i> aplicada para a (a) Bacia Hidrográfica; (b) Zona Ripária.....	55
Figura 20 - Métrica <i>Contiguity</i> aplicada para a (a) Bacia Hidrográfica; (b) Zona Ripária.....	56

Figura 21 - Métrica Distância ao Vizinho mais Próximo aplicado para a (a) Bacia Hidrográfica; (b) Zona Ripária.....	57
Figura 22 - Métrica Número de Fragmentos aplicado para a (a) Bacia Hidrográfica; (b) Zona Ripária.....	58
Figura 23 - Métrica Índice de Conectância aplicada para a (a) Bacia Hidrográfica; (b) Zona Ripária.....	60
Figura 24 - Métrica Grau de Contágio aplicada (a) Bacia Hidrográfica; (b) Zona Ripária.....	61
Figura 25 - Carta de distribuição da precipitação pluviométrica a partir dos dados TRMM....	62
Figura 26 - Distribuição da precipitação: (a) Estação de Castanhal (1073-2013); (b) Estação de Nova Timboteua (2000 a 2013); (c); (d) Análise comparativa com os dados do TRMM, no período de 2000 a 2012.....	62
Figura 27 - Mapa de escoamento superficial, referência - 1984.....	65
Figura 28 - Mapa de escoamento superficial, referência - 1994.....	66
Figura 29 - Mapa de escoamento superficial, referência - 2004.....	67
Figura 30 - Mapa de escoamento superficial, referência - 2013.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características espectrais e espaciais do sensor TM.....	20
Tabela 2 - Características espectrais e espaciais do sensor OLI.....	21
Tabela 3- Características espectrais e espaciais do sensor REIS.....	22
Tabela 4 - Características componentes da área de abrangência da bacia do rio Caripi.....	29
Tabela 5 - Métricas de paisagem a serem utilizadas.....	43
Tabela 6 - Precipitação média mensal – Estação Castanhal.....	45
Tabela 7 - Valores de Área e Percentuais das Classes de Uso e Cobertura da Terra na Zona Ripária.....	54
Tabela 8 - Valores da Métrica Índice de Conectância.....	60
Tabela 9 – Estimativa de escoamento superficial segundo as classes de uso e cobertura da terra (1984, 1994, 2004 e 2013).....	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	13
1.2	OBJETIVOS.....	14
1.2.1	Objetivo geral.....	14
1.2.2	Objetivos específicos.....	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1	BACIA HIDROGRÁFICA E SUA FUNÇÃO NA PAISAGEM.....	15
2.2	USO E COBERTURA DA TERRA E SUA RELAÇÃO COM O COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	19
2.3	ANÁLISE QUANTITATIVA DA PAISAGEM.....	24
3	ÁREA DE ESTUDO.....	27
3.1	CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS E AMBIENTAIS.....	27
3.2	PERFIL DAS ATIVIDADES ECONÔMICAS DESENVOLVIDAS.....	31
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
4.1	LEVANTAMENTO E ARMAZENAMENTO DE DADOS E DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO (BACIA HIDROGRÁFICA E ZONA RIPÁRIA.....	32
4.2	MAPEAMENTOS MULTITEMPORAIS E TRABALHO DE CAMPO....	36
4.3	RECONHECIMENTO DE CAMPO.....	39
4.4	APLICAÇÃO DE MÉTRICAS DE PAISAGEM.....	43
4.5	AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL BACIA DO RIO CARIPI.....	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
5.1	CLASSIFICAÇÃO DAS FORMAS DE USO E COBERTURA.....	46
5.2	CARACTERIZAÇÃO DAS MÉTRICAS DE PAISAGEM.....	55
5.3	AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ESCOAMENTO.....	62
6	CONCLUSÕES.....	71
	REFERÊNCIAS.....	73
	ANEXOS.....	84
	ANEXO A.....	85

ANEXO B.....	87
---------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica compreendida enquanto unidade territorial de planejamento e de gestão dos recursos hídricos caracteriza-se pelo seu caráter integrador, pois congrega simultaneamente aspectos naturais e antrópicos. É considerada o elemento principal do ciclo hidrológico terrestre e por ser um sistema aberto, qualquer processo ocorrido na mesma repercute na qualidade e na quantidade dos recursos hídricos superficiais e/ou subterrâneos. (LIMA, 2008; CARVALHO et al., 2011; SILVEIRA, 2013).

No ambiente da bacia hidrográfica se desenvolvem as mais diversas formas de uso e ocupação da terra, que podem ou não ser compatíveis com a manutenção dos parâmetros de qualidade e quantidade das águas (MILOVANOVIC, 2007; POCEWICZ et al., 2008). As categorias de uso da terra voltadas para o setor produtivo (agricultura, pecuária, industrial), para a ocupação populacional (urbanização) ou para a recuperação/conservação/preservação (com manutenção ou recuperação da cobertura vegetal), dependendo do lugar onde são desenvolvidas na bacia (COELHO et al., 2014), podem afetar áreas sensíveis (nascentes) ou interferir diretamente nas características dos cursos d'água (pela implantação de obras) (VANZELA et al., 2010; FERREIRA et al., 2011). Sua relação direta ocorre relacionada: ao volume de água escoado (vazão); nas taxas de infiltração e evaporação; e na qualidade das águas (PEREIRA et al., 2014) e pode intervir, em determinado grau, nas demais variáveis do balanço hídrico, incluindo o regime de chuvas local (NEPSTAD et al., 2008; COE et al., 2011; ZHOU et al., 2011).

A região amazônica apresenta um processo dinâmico de evolução de uso e cobertura da terra, porém a rede de informações hidrológicas existente não acompanha essas mudanças, tanto em termos espaciais quanto temporais (RIBEIRO NETO et al., 2008). Logo, há necessidade do desenvolvimento de modelos que simulem processos hidrológicos, considerando os parâmetros físicos das bacias, sua variabilidade espacial e condições de contorno (DANIEL et al., 2011). Os modelos físicos dão suporte ao conhecimento dos processos hidrológicos, sendo exemplos destes: MGB/IPH - Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (COLLISCHONN; TUCCI, 2001), GSSHA - Agricultural Non-Point Source Pollution Model (DOWNER; OGDEN, 2004), SWAT- Soil and Water Assessment Tool (BÄRLUND et al., 2007), TOPMODEL - Topography Based Hydrological Model (SILVA; KOBAYAMA, 2007) e SCS - SoilConservation Service/Runoff Curve Number Method (LIU; LI, 2008).

A demanda por modelar a resposta das alterações do regime hidrológico em bacias hidrográficas, advém da necessidade de avaliar as perdas que podem ocorrer, especialmente

nas áreas de relevância hídrica e ecológica como é o caso das zonas ripárias (VOGEL et al., 2009; ATTANASIO et al., 2012). As zonas ripárias caracterizam-se por serem áreas de saturação hídrica que margeiam os cursos d'água e onde se estabelecem as matas ciliares (LIMA et al., 2003; LIMA, 2005; ZAKIA, 2009). São consideradas áreas estratégicas para manter a integridade dos ecossistemas de água doce frente às ameaças como a fragmentação florestal e a perda de habitats (ABELL et al., 2007). As zonas ripárias compõem ecossistemas capazes de fixar carbono, que servem como habitats de vida selvagem e corredores ecológicos, proporcionando sombra, matéria orgânica e alimento para sua biota (SALEMI et al., 2012).

A área de estudo, a bacia hidrográfica do rio Caripi, abrange os municípios de Maracanã (ao norte) e Igarapé-Açu (ao sul), os quais fazem parte de mesorregião nordeste paraense. A bacia do rio Caripi está inserida ao norte na microrregião do salgado e ao sul na microrregião bragantina. O nordeste paraense, mais especificamente a zona bragantina, corresponde à área de mais antiga colonização e, portanto, apresenta uma paisagem bastante antropizada, em especial pelas atividades agropecuárias, com remanescentes florestais (matas de várzea e igapó) restritos às margens dos rios, apesar de muitos destes remanescentes estarem empobrecidos em função do intenso uso da terra (WATRIN et al., 1996).

Dessa forma, existe a necessidade de se desenvolver mais estudos associados as zonas ripárias, em destaque a do rio Caripi, a fim de compreender sua dinâmica e o seu papel para o funcionamento da bacia hidrográfica; tendo como premissa que existem impactos negativos no comportamento hidrológico desta bacia, decorrentes do histórico de uso e cobertura da terra.

1.1 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação é composta por uma parte introdutória onde são apresentados os aspectos gerais do trabalho e objetivos. A seguir, discutidos com base na literatura os principais temas vinculados ao comportamento hidrológico de bacias hidrográficas e fatores ecológicos associados, destacando a importância da vegetação para manutenção dos sistemas hídricos.

Em material e métodos são apresentados os procedimentos que permitiram a estruturação do trabalho, considerando as etapas principais de coleta de dados (primários e secundários), tratamento e análise para avaliação temporal dos diferentes estágios de uso e cobertura da terra da bacia e a elaboração do modelo de simulação do seu comportamento

hidrológico. Ao final foram apresentadas as principais discussões e conclusões sobre os resultados obtidos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar os impactos da fragmentação florestal nas zonas ripárias da bacia do rio Caripi decorrentes do uso e ocupação da terra e sua relação com as características hidrológicas da bacia.

Analisar as mudanças de uso e cobertura da terra e os seus impactos sobre a cobertura florestal e o escoamento superficial da bacia hidrográfica do rio Caripi.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar e Mapear as mudanças de uso e cobertura da terra ocorridos na bacia do rio Caripi nos anos de 1984, 1994, 2004 e 2013.
- Analisar a fragmentação da cobertura florestal da bacia hidrográfica do rio Caripi e de sua zona ripária.
- Avaliar o impacto das classes de uso e cobertura da terra sobre o comportamento do escoamento superficial da bacia hidrográfica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 BACIA HIDROGRÁFICA E SUA FUNÇÃO NA PAISAGEM

A água, principal componente do ciclo hidrológico, é um recurso natural de extrema importância para a manutenção dos ciclos ecológicos e hidrológicos e para o desenvolvimento das atividades humanas (MORAES; JORDÃO, 2002). Contudo, devido ao seu intenso uso por diversas atividades humanas como a agricultura, indústria, produção de energia, entre outras, há a ocorrência de impactos diretos na qualidade e na quantidade de tal recurso, havendo assim uma necessidade premente de proteção dos recursos hídricos (COELHO et al., 2014).

Nesse sentido, em que os recursos hídricos são essenciais para as dinâmicas naturais do meio biofísico e para a sociedade, a bacia hidrográfica adquire o status de unidade territorial de planejamento e gestão de tais recursos, já que a mesma tem a capacidade de integrar simultaneamente agentes naturais e antrópicos (RICHEY et al., 2011). Como consequência dessa interação, qualquer processo ocorrido na bacia hidrográfica, sejam eles ligados às condições climáticas, à cobertura vegetal, ao embasamento geológico, às ações antrópicas, repercute nos recursos hídricos superficiais e/ou subterrâneos (CARVALHO et al., 2011).

De acordo com Botelho (2010) a bacia hidrográfica, entendida enquanto unidade natural de análise da superfície terrestre é capaz de reconhecer inter-relações existentes entre os variados elementos da paisagem e os processos relacionados aos mesmos. A delimitação da bacia hidrográfica é pautada em critérios geomorfológicos, apresentando maior precisão se comparada a outras unidades de planejamento baseadas em outros atributos como o clima e a vegetação (NOWATZKI et al., 2010).

O importante papel da bacia hidrográfica é reafirmado por Silveira (2013) ao considerá-la elemento principal do ciclo hidrológico terrestre. Segundo o autor, a bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água proveniente de precipitação, formada por um conjunto de superfícies, vertentes e de uma rede de drenagem que convergem para um leito único de saída, denominado “exutório”. A bacia hidrográfica é, ainda, compreendida enquanto um sistema físico, no qual a entrada é representada pelo volume de água precipitada e a saída o volume de água escoada pelo exutório, podendo haver perdas intermediárias por evaporação, transpiração e infiltração (CALIL et al., 2012).

Para Lima (2008), a bacia hidrográfica é um sistema aberto, já que é afetada diretamente pelas interações e inter-relações com outros fatores bióticos e abióticos, como por

exemplo, o clima, o qual fornece energia para bacia, que é liberada através do deflúvio. Assim, a bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da chuva e por onde ocorre o seu escoamento superficial para o canal principal e seus tributários, sendo que o limite superior da bacia é o divisor de águas ou divisor topográfico e a delimitação inferior refere-se à saída da bacia, também conhecida como confluência. Sendo, portanto, um sistema aberto, o equilíbrio da bacia hidrográfica é facilmente abalado por processos físicos e/ou antrópicos que alteram o seu funcionamento normal.

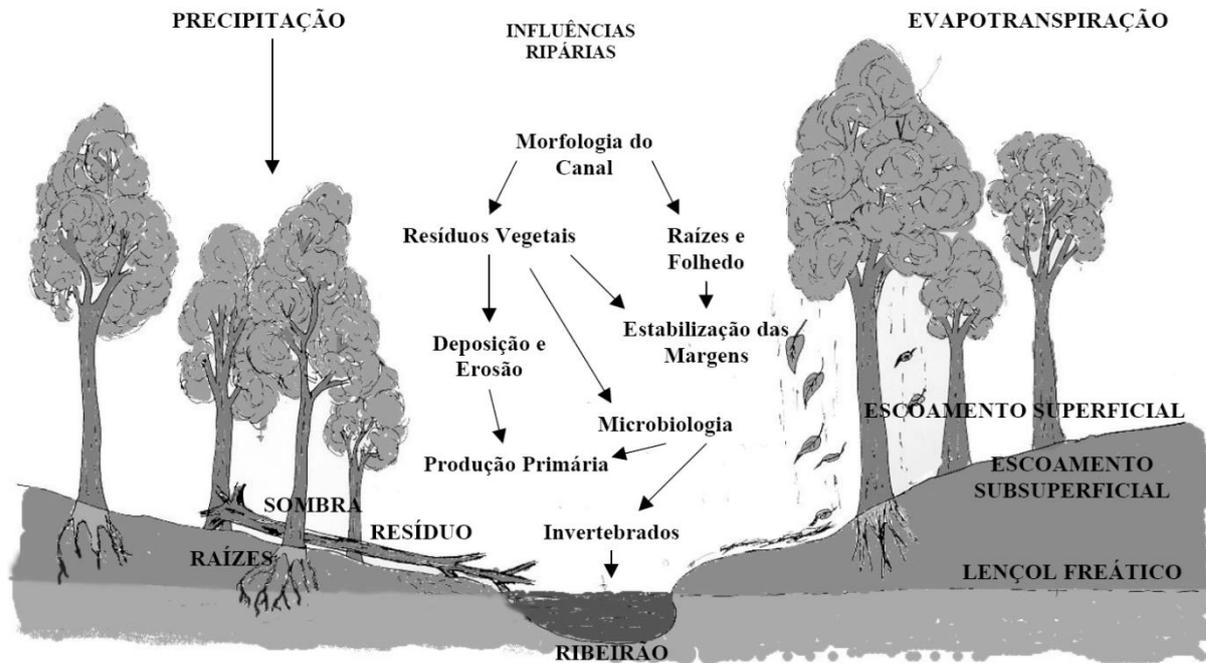
De acordo com Tucci e Mendes (2006), as ações antrópicas, a exemplo de desmatamentos e usos da superfície (extração seletiva de madeira, plantios de subsistência, culturas permanentes e anuais), sobre os sistemas hídricos provocam alterações na superfície da bacia hidrográfica as quais causam impactos significativos sobre o escoamento, em especial no comportamento de enchentes, vazões mínimas e médias.

Segundo a perspectiva da hidrologia florestal (LIMA et al., 2003; LIMA, 2005) as matas ciliares, também denominadas de zonas ripárias, ocupam as áreas mais dinâmicas da paisagem, em termos hidrológicos, geomorfológicos e, sobretudo, ecológicos, uma vez que elas estão intimamente ligadas à dinâmica de cheias e vazantes dos cursos d'água e, conseqüentemente, aos processos derivados de tal dinâmica.

Do ponto de vista hidrológico, as zonas ripárias contribuem para a geração do escoamento direto em microbacias; aumento da capacidade de armazenamento, inclusive o aumento da vazão em estações secas; desempenham também uma eficaz filtragem superficial de sedimentos, contribuindo assim para uma maior qualidade da água produzida, funcionando como efeito-tampão; promovem a estabilidade das margens dos rios; contribuem para a ciclagem de nutrientes; além de que facilitam a interação direta com os ecossistemas aquáticos (VOGEL et al., 2009; TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2010; ATTANASIO et al., 2012).

As características hidrológicas das zonas ripárias são ratificadas e definidas por Attanasio et al. (2012) como áreas de saturação hídrica da microbacia, localizadas geralmente nas margens das cabeceiras da rede de drenagem e, dependendo das condições topográficas e do grau de transmissividade do solo, podem também se localizar em partes elevadas da encosta. Já Zakia (2009) complementa a definição de zona ripária ao defini-la como zonas saturadas que margeiam os cursos d'água, as quais podem ser expandidas em caso de chuvas prolongadas. O termo “área ripária” faz referência à porção do terreno, no qual a ribanceira do rio é entendida como a planície de inundação e a vegetação que ali se estabelece é chamada de “mata ciliar ou mata ripária”. Conforme Figura 1 é possível identificar a dinâmica descrita.

Figura 1 - Esquema conceitual de uma área ripária.



Fonte: Adaptado de Zakia et al. (2009).

No contexto ecológico, as zonas ripárias são tidas como corredores essenciais que promovem conexões entre remanescentes vegetais e que facilitam a movimentação de fauna e a dispersão vegetal na paisagem (SALEMI et al., 2012). Atuam, também, no suprimento de matéria orgânica para a fauna íctica e para a manutenção dos estoques e diversidade da mesma já que essas áreas são tidas como zonas de reprodução (ABELL et al., 2007).

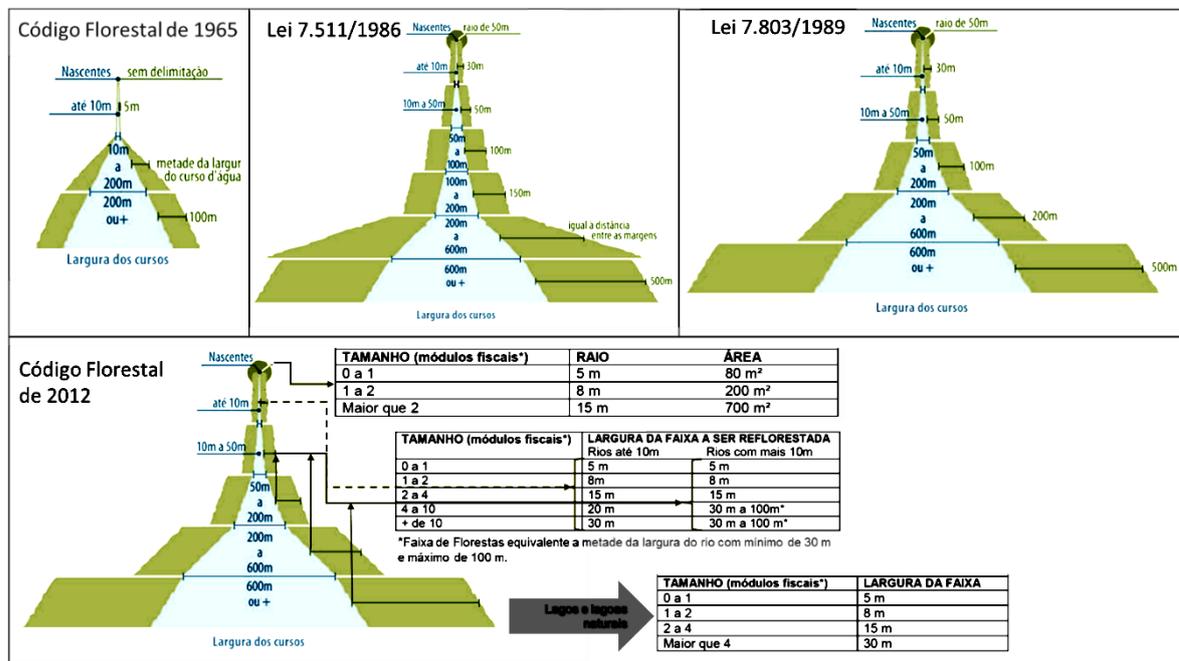
No Brasil, dada a importância da vegetação das zonas ripárias, as mesmas são legalmente protegidas através da instituição de áreas de preservação permanente (APPs), criadas a partir do Código Florestal Brasileiro de 1965 (Lei Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965). Mais recentemente, foi realizada uma atualização do Código Florestal Brasileiro através da Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012 e suas posteriores alterações, na qual as áreas de preservação permanente são instituídas como áreas protegidas cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, além da proteção do solo, com vistas a assegurar o bem-estar das populações humanas.

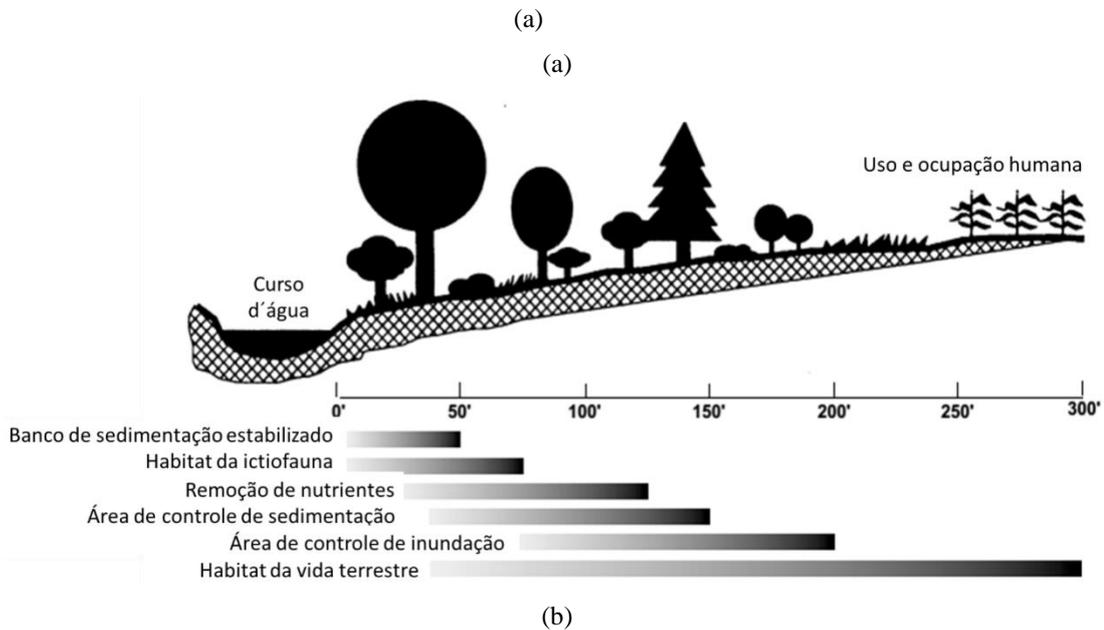
O capítulo II da referida lei trata de aspectos relacionados à delimitação e ao regime de proteção das áreas de preservação permanente. O artigo 4º, que aborda a delimitação das APPs em zonas rurais e urbanas, considera como área de preservação permanente as faixas marginais de qualquer curso d'água natural, perene ou intermitente, excluídos ou efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de 30, 100, 200 e 500 metros, cuja variação depende da largura do rio. O artigo 6º trata de alguns tipos de vegetação que podem ser consideradas áreas de preservação permanente se declaradas como áreas de interesse social por ato do Chefe de Poder Executivo, a exemplo das áreas de várzeas, consideradas nesse estudo como ecossistema predominante de ocorrência nas zonas ripárias.

No que tange ao regime de proteção das APPs, o artigo 7º do Novo Código Florestal discorre sobre a manutenção de tais áreas e em caso de supressão da vegetação situada em APP's, o responsável pela área, seja proprietário, possuidor ou ocupante a qualquer título, pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, deverá promover a recomposição da vegetação. O artigo 8º afirma que a supressão ou a intervenção de vegetação nativa somente será permitida em hipótese de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental.

Pelo exposto, vemos a grande importância que a legislação ambiental acima dá para a proteção da vegetação ripária através das APPs. Contudo, nota-se na figura abaixo (2a) as variações de largura por que passou as APPs, o que remete à reflexão se as larguras atuais são suficientes para proteger a vegetação de tais áreas. Na figura 2b, temos uma interpretação de que as larguras das APPs não devem ser definidas apenas com base na largura dos rios, mas sim a partir das funções ambientais desta faixa de vegetação.

Figura 2 - (a) Áreas de preservação permanente (APP) segundo o Código Floresta de 2012 e suas mudanças desde 1965; (b) Larguras aceitáveis para manutenção das funções da zona ripária.





Fonte: Adaptadas de Brasil (2011) e CRCJ (2001).

Deste modo, percebe-se que apesar da manutenção das APPs no Novo Código Florestal, as larguras das APPs não seguem critérios ligados às funções e características próprias destas áreas, o que prejudica a efetividade da proteção que as mesmas almejam. Assim, entende-se que a proteção efetiva das zonas ripárias deve suscitar a avaliação e mudança da forma como as larguras das APPs são definidas, o que passa pela análise aprofundada destas áreas visando destacar suas características, funções e limitações de uso.

2.2 USO E COBERTURA DA TERRA E SUA RELAÇÃO COM O COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

A necessidade constante de conhecimento pleno do espaço onde o ser humano vive e desenvolve suas atividades está diretamente relacionado com o surgimento de novas tecnologias que permitem o estudo e o mapeamento do meio ambiente, a exemplo do que ocorre com o Sensoriamento Remoto (KENNEDY et al., 2011). O monitoramento dos recursos naturais e dos seus múltiplos usos pela sociedade faz com que o Sensoriamento Remoto e as técnicas ligadas a ele sejam de grande importância para pesquisas que visam gerar levantamentos de uso e cobertura da terra, por exemplo. Nesse caso, o mapeamento do uso e cobertura da terra, sustentado através de técnicas de processamento digital de imagem e

de geoprocessamento, dão o suporte necessário à tomada de decisões, sejam elas de caráter social, econômico e/ou ambiental (ASNER et al., 2002).

Os usos de dados de Sensoriamento Remoto obtidos de múltiplas datas contribuem para pesquisas de detecção de mudanças (JENSEN, 2009), pois tais dados podem identificar o tipo e a distribuição de mudanças ocorridas na paisagem, já que fornecem informações sobre processos (FLORENZANO, 2002). Assim, tendo como um dos objetivos específicos do presente trabalho o mapeamento multitemporal do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Caripi, faz-se necessário discorrer acerca da contribuição que as técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento desempenham para a geração de tal informação.

O sensoriamento remoto pode ser entendido como “... a forma de obter informações de um objeto ou alvo, sem que haja contato físico com o mesmo”. (ROSA, 2003, p. 01). Assim, por viabilizar a identificação e o mapeamento dos objetos da superfície terrestre, vemos a grande importância do sensoriamento remoto para a geração de informação espacial e, deste modo, a sua importância para o presente trabalho.

Um dos principais produtos do sensoriamento remoto são as imagens produzidas a partir do registro da radiação eletromagnética feito pelos sensores orbitais (acoplados em satélites) ou sub-orbitais (vinculados às aeronaves). São as imagens que representam a espacialidade da informação obtida pelos sensores, os quais possuem certas características que podem gerar imagens com informações similares e/ou distintas.

Uma das principais características dos sensores remotos são as resoluções espaciais e espectrais, as quais dizem respeito ao menor tamanho de objeto que pode ser identificado e às faixas espectrais utilizadas pelo sensor. Como neste estudo se fará uso das imagens do Programa LANDSAT (satélites LANDSAT 5/Sensor TM e LANDSAT 8/Sensor OLI), tem-se nas Tabelas 1 e 2 as principais características espectrais e espaciais das bandas do sensor TM (*Thematic Mapper*) e OLI (*Operational Land Imager*).

Tabela 1 - Características espectrais e espaciais do sensor TM.

Landsat 5 Thematic Mapper TM	Landsat 5	Wavelength (micrometers)	Resolution meters)
	Band 1	0.45-0.52	30
	Band 2	0.52-0.60	30
	Band 3	0.63-0.69	30
	Band 4	0.76-0.90	30
	Band 5	1.55-1.75	30

	Band 6	10.40-12.50	120 *(30)
	Band 7	2.08-2.35	30

Fonte: adaptado de USGS (http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php)

Tabela 2 - Características espectrais e espaciais do sensor OLI.

Landsat 8 Operational Land Imager (OLI)	Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution meters)
Landsat 8 Operational Land Imager (OLI)	Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
	Band 2 – Blue	0.45 - 0.51	30
	Band 3 – Green	0.53 - 0.59	30
	Band 4 – Red	0.64 - 0.67	30
	Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Band 8 – Panchromatic	0.50 - 0.68	15
	Band 9 – Cirrus	1.36 - 1.38	30

Fonte: adaptado de USGS (http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php)

Vale ressaltar que as bandas mais propícias à identificação e distinção de vegetação e de solos são as bandas das faixas do infravermelho médio e próximo e da faixa do vermelho tanto no sensor TM como no OLI, sendo portanto as bandas mais relevantes para a análise pretendida.

Além das imagens do Programa LANDSAT, serão utilizadas imagens da missão RapidEye/Sensor REIS como informação de referência para dirimir dúvidas de interpretação das imagens LANDSAT devido as características espectrais e espaciais de maior acurácia das imagens RapidEye (faixas espectrais voltadas para discriminação de vegetação e maior resolução espacial), características apresentadas na tabela 3 abaixo.

Tabela 3 - Características espectrais e espaciais do sensor REIS.

REIS (RapidEye Earth Imaging System)	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial
	Azul	440 - 510 nm	6,5 m (nadir) e 5 m para ortoimagens
	Verde	520 - 590 nm	
	Vermelho	630 - 690 nm	
	Red-Edge	690 - 730 nm	
	Infravermelho próximo	760 - 880 nm	

Fonte: adaptado de EMBRAPA (http://www.sat.cnpem.embrapa.br/conteudo/missao_rapideye.php)

Um outro exemplo de dado de sensoriamento remoto refere-se ao Modelo Digital de Elevação (MDE), o qual representa a informação de elevação de determinada porção da superfície terrestre, tendo como exemplo as imagens de radar da Missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) (ALVES SOBRINHO et al., 2010). As principais características destas imagens são a resolução espacial de 30 m (1 arco por segundo para cobertura global) e a atuação nas bandas X e C, que equivalem ao intervalo de 3,1 cm e 5,6 cm de comprimento de onda respectivamente. A missão SRTM imageou aproximadamente 80% da superfície terrestre entre as latitudes 60°N e 56°S e as imagens da banda C estão disponíveis gratuitamente no endereço eletrônico do serviço geológico norte-americano (USGS), o qual é <http://earthexplorer.usgs.gov/>.

Aliado ao Sensoriamento Remoto tem-se o Geoprocessamento, o qual pode ser entendido como “[...] a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica [...]” (CÂMARA *et al.*, 2001, p. 01). A partir do geoprocessamento é possível analisar a geotopologia de um ambiente, isto é, realizar a investigação sistemática de propriedades e relações posicionais de eventos representados em uma base de dados georreferenciada (XAVIER DA SILVA; ZAIDAN, 2004).

Uma das principais ferramentas do geoprocessamento é o Sistema de Informação Geográfica (SIG) que permite a integração de dados e a análise espacial dos mesmos visando gerar informações espacializadas e georreferenciadas/geoposicionadas (NOBRE et al., 2011).

Assim, através das técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento é possível mapear o uso e cobertura da terra e delimitar áreas de interesse hidrológico, como bacias hidrográficas e zonas ripárias, o que permite integrar e analisar tais dados e deduzir a relação destes com o comportamento hidrológico de determinada bacia hidrográfica, como a do estudo em questão (ROSIM et al., 2003).

Nesse sentido, a disponibilidade hídrica é uma das principais preocupações na gestão dos recursos hídricos e que, geralmente, a escassez deste recurso é comumente relacionada à ocorrência de eventos extremos naturais, mas que processos antropogênicos também afetam a disponibilidade de água e que é necessário quantificar as consequências dos mesmos, a fim de mitigar os riscos de estresse hídrico através do desenvolvimento de políticas sustentáveis de longo prazo para serem aplicadas em bacias hidrográficas impactadas (ARAÚJO et al., 2006).

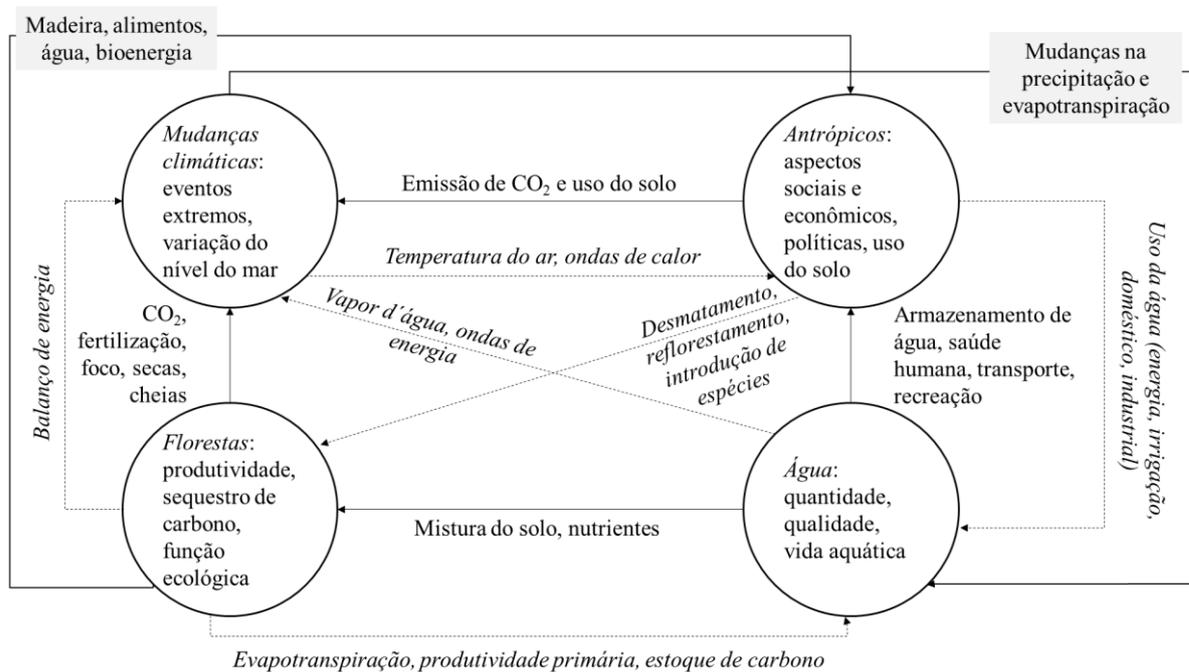
Na mesma linha de abordagem, Sun e Segura (2013) demonstram que não é possível ignorar as interações entre os seres humanos, clima, florestas e água; resumindo os impactos

negativos que as atividades humanas causam nos sistemas naturais, alterando o equilíbrio dos mesmos (Figura 3).

As atividades antrópicas, a exemplo de mudanças de uso da terra e emissão de poluentes, provocam desequilíbrios que geram efeitos em cascata no clima, nas florestas e na água. Para o clima essas atividades contribuem para a ocorrência de eventos extremos, aumento do nível dos mares e alteração do balanço hídrico (ADAM; COLLISCHONN, 2013). No que tange as florestas, alteram a produtividade das mesmas, as funções ecológicas e o processo de sequestro de carbono (BACCINI et al., 2012). Com relação à água é verificada a interferência na quantidade, na qualidade, na disponibilidade e na existência de vida aquática (MILOVANOVIC, 2007; RIBEIRO NETO et al., 2008).

No caso específico da vegetação, a mesma desempenha importante papel no ciclo hidrológico, uma vez que atua diretamente no balanço de energia e no fluxo de volumes de água, ocasionando alterações nas taxas de infiltração, interceptação, escoamento superficial e erosão (TUCCI; CLARK, 1997; BALBINOT et al., 2008).

Figura 3 - Interação entre sistemas humanos e naturais (água, clima e floresta).



Fonte: Adaptado de Sun e Segura (2013).

Assim, Vogel et al. (2009) apontam que a retirada da vegetação natural de bacias hidrográficas para a implantação de atividades como a agricultura gera impactos negativos em um corpo d'água, visto que resulta na retirada de nutrientes e, conseqüentemente, há a diminuição da capacidade de infiltração do solo, por exemplo. Ademais, o uso excessivo de

produtos fertilizantes para adubação também pode acarretar processos de eutrofização em corpos d'água. Alguns trabalhos como de Farias et al. (2013) e Gomes et al. (2007), demonstram a fragilidade da paisagem de bacias hidrográficas diante do intenso uso e ocupação da terra, marcado principalmente por desmatamentos para a implantação de atividades econômicas, tal como a agricultura.

2.3 ANÁLISE QUANTITATIVA DA PAISAGEM

A crescente fragmentação dos habitats terrestres tem ocasionado inevitáveis perdas de biodiversidade em âmbito global e regional e é nesse contexto que a ecologia de paisagens, por meio de bases conceituais e teóricas, visa compreender aspectos como estrutura da paisagem, função e mudança. A ecologia da paisagem abarca o estudo de padrões de paisagem, de interações entre as manchas no mosaico da paisagem e de como tais interações se modificam ao longo do tempo (MCGARIGAL; MARKS, 1994).

De acordo com Metzger (2001), o foco da análise da ecologia da paisagem é o reconhecimento das relações entre padrões espaciais e processos ecológicos, havendo assim uma clara dependência espacial entre as unidades de paisagem. Dessa forma, a ecologia da paisagem é o resultado da junção da análise espacial da geografia e do estudo funcional da ecologia. Seguindo este raciocínio, Turner (1989) afirma que a ecologia da paisagem enfatiza os efeitos ecológicos e espaciais da padronização dos ecossistemas, considerando o desenvolvimento e dinâmicas da heterogeneidade espacial, interações e trocas entre paisagens heterogêneas e a influência da heterogeneidade espacial em processos bióticos e abióticos.

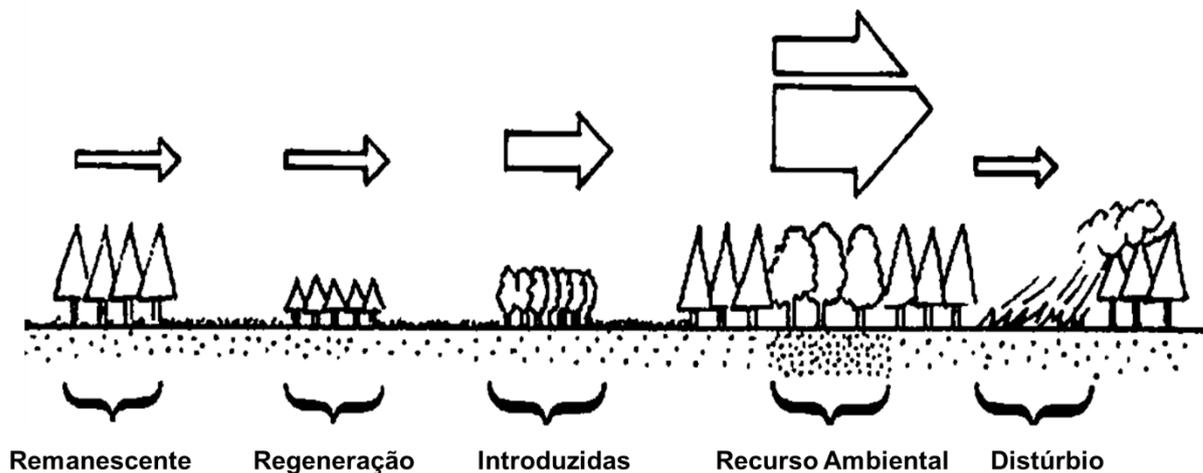
Os processos ecológicos são analisados nessa perspectiva através de diferentes escalas espaciais e temporais, objetivando compreender três características principais da paisagem: estrutura, função e mudança (TURNER, 2005). A estrutura refere-se às relações espaciais entre ecossistemas distintos, representadas, por exemplo, pela distribuição de energia, materiais e espécies; a função está relacionada às interações entre elementos espaciais, como fluxo de energia, materiais e organismos dentro do ecossistema; por último, a mudança reflete as alterações na estrutura e na função do ponto de vista ecológico durante o tempo (WU; HOBBS, 2002; WU, 2004).

A estrutura da paisagem é composta por três elementos, a saber: as manchas, os corredores e a matriz. A mancha é considerada a unidade espacial mais importante da paisagem é definida por Lang e Blaschke (2009) como a forma de uma superfície não-linear e com aparência distinta do seu entorno. As manchas podem se originadas de diferentes

maneiras (Figura 4) e por isso são subdivididas de acordo com Casimiro (2000) em seis tipos, a saber: manchas de distúrbio (em geral consideradas anomalias, como um fragmento desmatado em uma área densa florestal), manchas remanescentes (são os resquícios da vegetação existente), manchas de regeneração (refletem a recuperação da cobertura vegetal), manchas de recurso ambiental (recomposição florestal que pode representar ou não a vegetação anterior), manchas introduzidas (introdução humana de cobertura vegetal) e manchas efêmeras (coberturas de caráter temporário sujeitas a sazonalidades). Os aspectos que influenciam e controlam as manchas correspondem ao tamanho, a forma, o número e a configuração das mesmas (LANG; BLASCHKE, 2009).

Os corredores são classificados de acordo com a sua estrutura e estão diretamente relacionados à função de conectividade da paisagem, independente da sua origem, podendo ser naturais como margens de vegetação ripária ao longo de canais de drenagem, e/ou ainda podem ser artificiais, a exemplo de estradas (HARPER et al. 2005; LEVEY et al., 2005). No âmbito de fragmentação da paisagem, em que há o isolamento das manchas naturais, os corredores naturais atuam promovendo a conectividade da paisagem e, assim, contribuem para a manutenção e até mesmo amplificação da biodiversidade (HOCTOR et al., 2008).

Figura 4 - Estrutura das manchas segundo sua formação: manchas remanescentes, manchas de regeneração, manchas de recurso ambiental, manchas introduzidas e manchas de distúrbio.



Fonte: Adaptado de Forman (1995) e Casimiro (2009).

O entendimento do elemento matriz, segundo Casimiro (2000), é complexo e depende de vários aspectos, como a área relativa, a conectividade e controle sobre a dinâmica. Em síntese, a matriz é a área mais extensa e mais conectada e, por essa razão, exerce um controle maior sobre a dinâmica da paisagem, podendo originar outras paisagens.

Uma das ferramentas bastante utilizadas para quantificar a estrutura da paisagem refere-se às métricas de paisagem (RIITERS et al., 2009). As métricas de paisagem têm sido amplamente utilizadas em estudos que visam evidenciar a estrutura da paisagem através da quantificação da mesma, a qual está diretamente relacionada e correlacionada com os processos ecológicos (ROSSI; VAN HALDER, 2010). Tais métricas são analisadas conforme a distribuição, forma e arranjo espacial das manchas e de acordo com a escala de análise (CASIMIRO, 2009).

As métricas de paisagem são um dos padrões mais populares de quantificação de padrões de paisagem, apesar de algumas limitações, como por exemplo, a dependência com a escala e as dificuldades de interpretação (UUEMA et al., 2013). Também relatam que a aplicação de métricas aumentou nos últimos 10 anos, principalmente em trabalhos publicados em importantes revistas de Ecologia de Paisagem, sendo comumente aplicadas em estudos que abordam mudanças do uso da terra.

Ainda segundo Casimiro (2009), as métricas podem ser aplicadas de duas formas distintas, a saber, configuração e composição da paisagem. A configuração da paisagem descreve a distribuição física das manchas na paisagem, ao passo que a composição descreve a quantidade e a qualidade de manchas que compõem a paisagem. O autor destaca que tais aplicações apresentam restrições, pois nem todos os índices conseguem ser classificáveis para a representação da composição e configuração da paisagem. São exemplos os índices de dimensão média das manchas e densidade de manchas, visto que os mesmos não são explícitos espacialmente.

A aplicação geral de medidas de estrutura para a descrição das condições e mudanças de habitats identificaram através de alguns problemas relacionados ao uso de métricas (LANG; BLASCHKE, 2009). Para os autores é necessário que seja avaliado se de fato a variabilidade fornecida pelas medidas realmente indicam mudanças relevantes na estrutura da paisagem. Em outras palavras, deve-se atentar para não fazer uma análise reducionista da estrutura da paisagem, pois vários outros problemas podem ser desencadeados na interpretação das métricas geradas, como a ambivalência das interpretações ecológicas; há também situações em que as métricas devem ser ajustadas de acordo com dados específicos de espécies e lugares (PENG et al., 2010; LLAUSÀS; NOGUÉ, 2012).

No mesmo sentido de discutir as possíveis aplicações dos índices de paisagem, Soares Filho (1998) ressalta que é necessário considerar o limite de aplicação de alguns índices, tais como os de dominância, diversidade e contágio. Nos índices mais utilizados, a

interdependência e eficiência devem ser consideradas, com a finalidade de demonstrar a heterogeneidade da paisagem.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS E AMBIENTAIS

A bacia hidrográfica do Rio Caripi abrange os municípios de Maracaná ao norte e Igarapé-Açu ao Sul, os quais pertencem à mesorregião Nordeste Paraense e às microrregiões do Salgado e Brangantina, respectivamente (Figura 5). A Tabela 2 descreve as principais características dos municípios componentes da bacia.

Figura 5 - Localização da área de estudo.

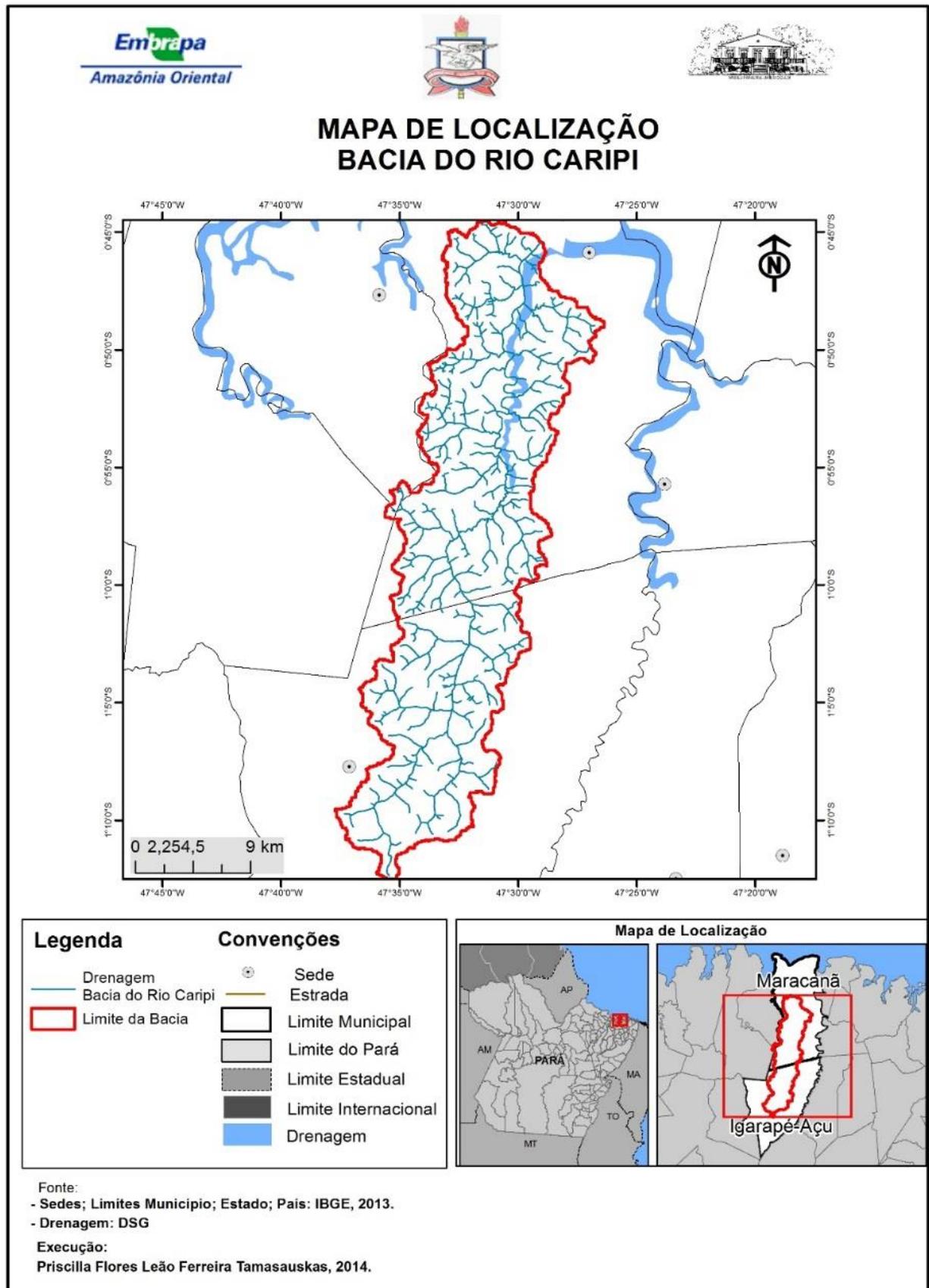


Tabela 4 - Características componentes da área de abrangência da bacia do rio Caripi.

<i>Cobertura de solos</i>	A região apresenta solos classificados como Latossolos Amarelo Textura Média e Concrecionários Lateríticos, localizados nas áreas de Terra Firme, solos Hidromórficos Indiscriminados e Aluviais, encontrados nas margens dos rios; e solos Indiscriminados de Mangues, nas áreas semilitorâneas e litorâneas.
<i>Cobertura vegetal</i>	A vegetação é composta originalmente por mata de terra firme, porém devido ao intenso histórico de uso e ocupação da terra na região, predomina-se atualmente florestas secundárias ou capoeiras, em vários estágios de regeneração. A vegetação de várzea se distribui nas margens sinuosas dos rios Caripi e Maracanã. Também possui outros tipos de cobertura vegetal, a exemplo dos manguezais e dos campos naturais de Mangaba, localizados na zona costeira.
<i>Topografia</i>	A variação altimétrica apresenta valores médios em torno de 5 metros, com cota máxima de 74 metros.
<i>Estrutura geológica</i>	Predominam sedimentos Terciários da Formação Barreiras, principalmente no interior (terra firme) do Município, e por sedimentos inconsolidados do Quaternário Subatual e Recente, localizados na sua porção setentrional, no estuário do rio Maracanã (sedimentação fluvio-marinha). Em decorrência da estrutura geológica o relevo é bastante simples, representado pelos baixos Tabuleiros do Grupo Barreiras, Terraços do Quaternário Antigo e Várzeas Quaternário Recente. Morfoestruturalmente corresponde, à unidade regional do Planalto Rebaixado da microrregião Bragantina.
<i>Sistemas de drenagem</i>	Com relação à hidrografia o rio Maracanã, que serve de limite com os municípios de Santa Maria e Nova Timboteua, é o receptor da grande maioria dos igarapés que estão presentes na rede hidrográfica de Igarapé-Açu. O rio Caripi é um dos rios do Município de Igarapé-Açu. Nasce no interior do município e corre para o Norte, em direção ao rio Maracanã. É formado pelo igarapé Primeiro Caripi e recebe, na margem esquerda, o igarapé Raposo e, na direita, igarapé Pupuca.

Fonte: Pará (2011).

O clima dos municípios de Igarapé-Açu e Maracanã inserem-se na categoria de megatérmico úmido, do tipo *Am* da classificação de Köppen, temperatura média, durante todo o ano, em torno de 25° C e 27° C, respectivamente; a precipitação média anual de 2.344 mm, com forte concentração entre os meses de janeiro a maio (PACHÊCO; BASTOS, 2001; ALBUQUERQUE et al., 2010). O comportamento da precipitação na região Amazônica (MARENGO, 1992; MARENGO et al., 1993; SOUZA; ROCHA, 2006; SOUZA et al., 2009) indica a influência da atividade convectiva da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), como um dos principais mecanismos reguladores da variabilidade da precipitação que se estende da costa do Pará até o Amapá (SOUZA; ROCHA, 2006). (Figura 6).

Para Albuquerque et al. (2010) existe uma evolução da chuva sazonal na transição muito brusca do período chuvoso – MAM (1061 mm) para o período menos chuvoso – JJA (330 mm); o mesmo ocorrem, mas em menor intensidade, na transição de SON (178 mm) para DJF (774 mm). (Figura 7)

Figura 6 - Máximo (percentil 65%) e mínimo (percentil 35%) climatológicos da precipitação média anual, segundo Lopes et al. (2013).

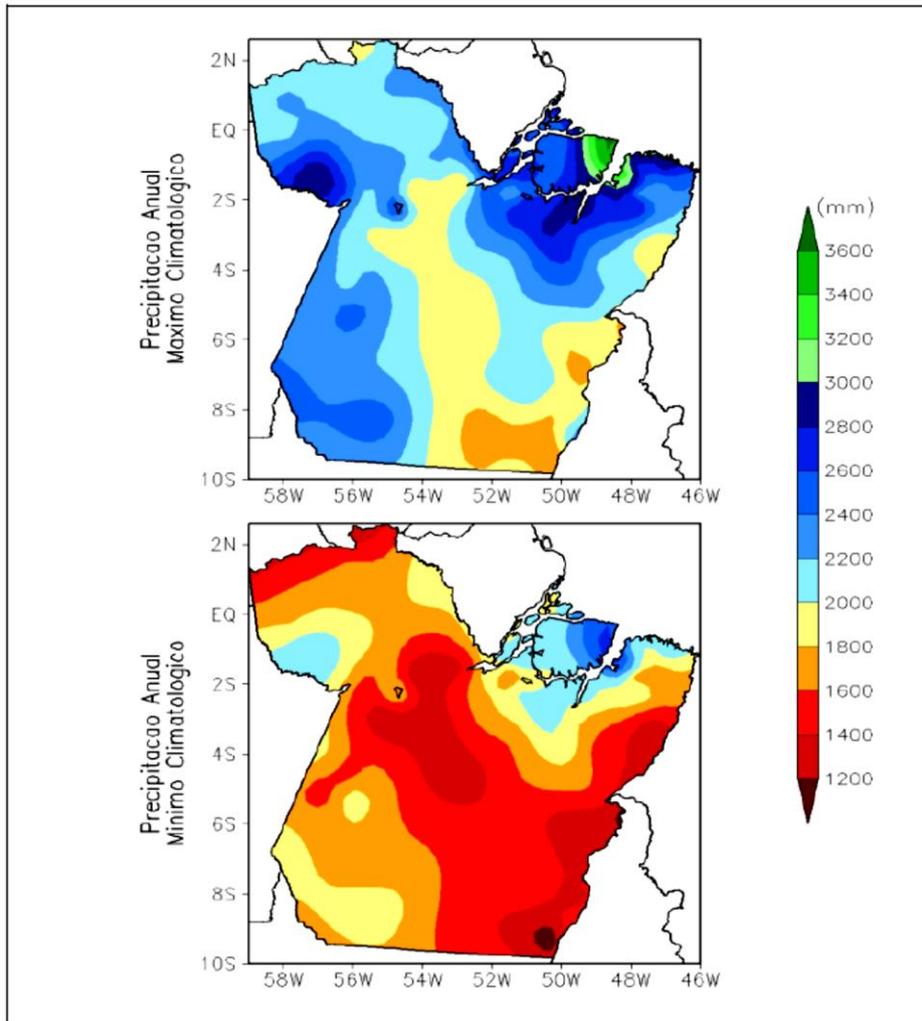
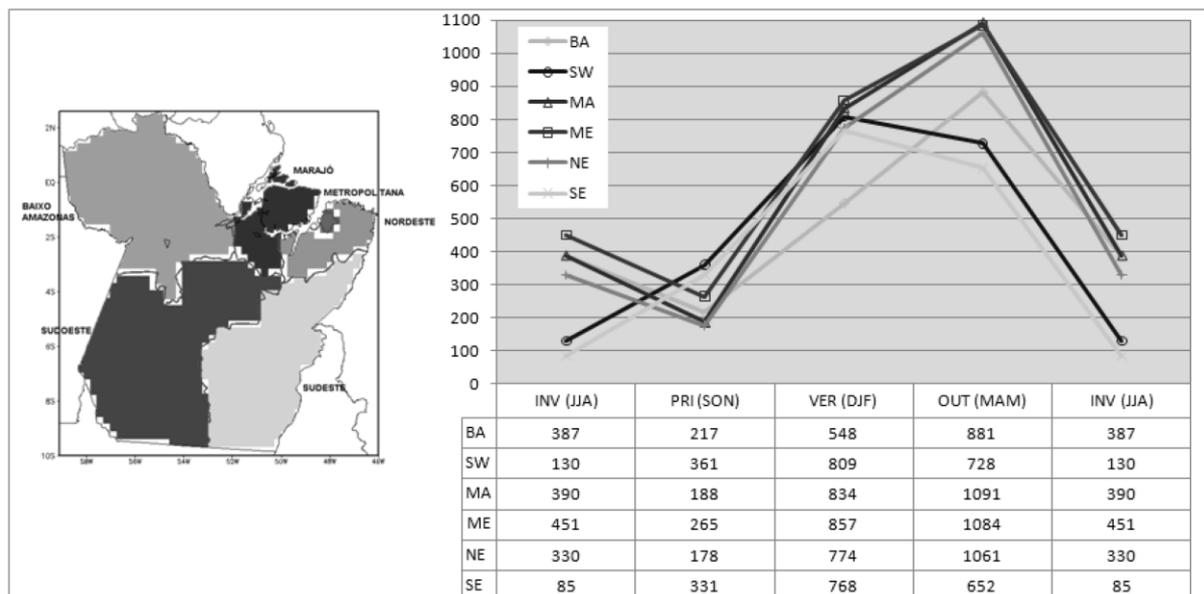


Figura 7 - Médias climatológicas da precipitação sazonal (média 1978-2008, em mm) representativas das mesorregiões do Pará: DJF, Dezembro-Janeiro-Fevereiro; MAM, Março-Abril-Maio; JJA, Junho-Julho-Agosto; SON, Setembro-Outubro-Novembro.



3.2 PERFIL DAS ATIVIDADES ECONÔMICAS DESENVOLVIDAS

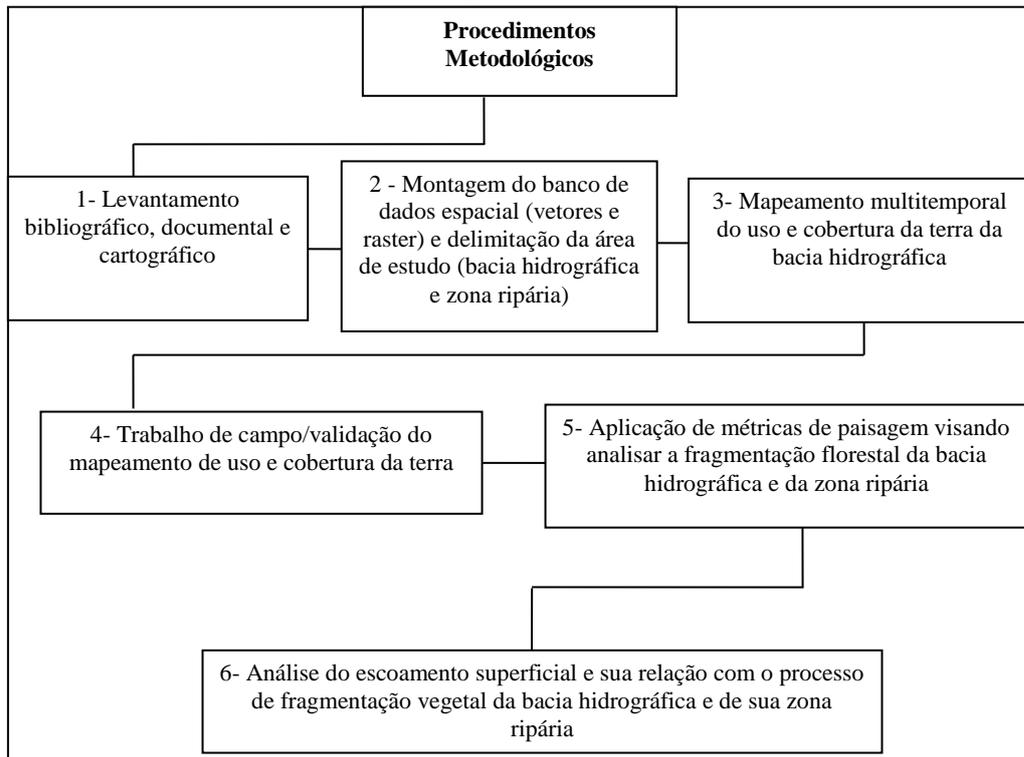
As atividades econômicas desenvolvidas nos municípios que integram a Bacia Hidrográfica do rio Caripi são basicamente a agricultura de pequeno porte, voltada para a produção alimentícia (frutas e grãos) e a produção animal que é centrada na pecuária bovina, na criação de galinhas, entre outros animais, além da pesca de algumas espécies de peixes comerciais. Há registros também das atividades de extração vegetal, a exemplo da produção de açaí em frutos e de silvicultura, tais como a comercialização de subprodutos de exploração madeireira, como madeira em lenha e carvão vegetal (IBGE, 2012).

No ANEXO 1 observam-se as informações comparativas (lavoura permanente e temporária, de produção animal, extração vegetal e silvicultura) para os municípios de Maracanã e Igarapé-Açu nos anos de 2004 e 2013.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa em questão foi norteadada pelo paradigma da ecologia de paisagem, a qual possibilitou a análise espacial de paisagens com enfoque sistêmico. Desse modo, o estudo destaca tanto os elementos da paisagem como as mudanças, permanências, interações e distúrbios existentes no referido sistema, em especial em suas zonas ripárias. Está estruturada em 06 (seis) etapas, que estão inter-relacionadas aos objetivos específicos elencados (Figura 8).

Figura 8 - Procedimentos metodológicos adotados.



4.1 LEVANTAMENTO E ARMAZENAMENTO DE DADOS E DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO (BACIA HIDROGRÁFICA E ZONA RIPÁRIA)

A presente pesquisa, em sua fase inicial, contou com levantamentos bibliográfico (livros e artigos), documental (estudo técnico) e cartográfico (bases cartográficas digitais) que visaram aprofundar os conhecimentos sobre a temática e a área de estudo e, também, obter dados a serem utilizados no banco de dados espacial e nas análises a serem realizadas.

Em seguida, por meio do software de SIG ArcGis Versão 10.2, criou-se o banco de dados espacial *Personal Geodatabase* que permite o armazenamento, consulta e gerenciamento de dados vetoriais (bases digitais georreferenciadas com geometrias de pontos, linhas e polígonos) e matriciais (imagens da constelação RAPIDEYE, do Programa LANDSAT e da missão SRTM).

Os dados vetoriais são oriundos das de 04 cartas topográficas na escala 1:100.000 que abrangem a área de estudo (Cartas SA-23-V-A-IV, SA-23-V-A-V, SA-23-V-C-I e SA-23-V-C-II) e os dados matriciais dizem respeito às seguintes imagens: RAPIDEYE (cenas 2338502, 2338503, 2338602, 2338603 e 2338703 imageadas em 13/09/2012), LANDSAT 5 (cenas

223/061 imageadas em 27/07/1984, 21/06/1994 e 04/09/2004), LANDSAT 8 (cena 223/061 de 27/07/2013) e SRTM (cenas S01_W048_1arc_v3 e S02_W048_1arc_v3).

Vale destacar que os dados vetoriais (cartas topográficas digitais) foram obtidos no sítio eletrônico da Diretoria de Serviço Geográfico do Exércit¹. Já os dados matriciais da constelação RAPIDEYE foram obtidos na Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Pará – SEMA/PA e os dados do programa LANDSAT e da missão SRTM foram conseguidos no sítio do Serviço Geológico Americano².

Após a criação do banco de dados espacial, procedeu-se a delimitação da bacia hidrográfica do rio Caripi por meio do módulo ArcHydro. O referido módulo trabalha acoplado ao SIGArcGis e gera, a partir de um MDE como a imagem SRTM por exemplo, o MDEHC (Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistido). O MDEHC é um MDE que sofreu o processo de recondicionamento a partir da imposição de feições lineares sobre o mesmo, sendo que tais feições dizem respeito a rede de drenagem.

Assim, para gerar o MDEHC, primeiro realizou-se o ajuste da rede de drenagem oriunda das cartas topográficas da região da área de estudo. Como as cartas topográficas estão na escala de 1:100.000 e, por isso, não condizem com a localização correta da rede de drenagem quando se analisa com base na imagem RAPIDEYE, a qual está adequada para trabalhar na escala 1:50.000. Desse modo, fez-se a correção da rede de drenagem segundo a localização dos cursos d'água identificados na imagem RAPIDEYE.

Após a correção da rede de drenagem, procedeu-se o processo de mosaicar as imagens SRTM da área de estudo visando gerar um único arquivo de imagem. Em seguida, utilizando a ferramenta *DEM Reconditioning* do módulo ArcHydro, fez-se a inserção da imagem SRTMmosaicada e da rede de drenagem corrigida com base na imagem RAPIDEYE e, por fim, tem-se a geração do MDEHC com o valor de aprofundamento de -1000 metros nos valores de pixels que se encontravam sobrepostos a rede de drenagem corrigida, o que permite que a drenagem extraída do MDEHC seja similar a drenagem vetorial corrigida, estando, dessa forma, consistente hidrologicamente com a localização da rede de drenagem.

Com a geração do MDEHC, realizou-se a delimitação automática de bacias hidrográficas por meio de uma rotina de processamentos com ferramentas do ArcHydro. Assim, inicialmente fez-se a correção de depressões espúrias do MDEHC através da ferramenta *FillSinks*. Em seguida, foram produzidas as direções de fluxo da rede de drenagem do MDEHC através da opção *Flow Direction*. Posteriormente, gerou-se a acumulação de

¹<http://www.geoportal.eb.mil.br/mediador>

²<http://earthexplorer.usgs.gov/>

fluxo que registra o número de células que drenam para uma determinada célula em questão, sendo que tal informação é gerada pela ferramenta *Flow Accumulation*.

A definição da rede de drenagem baseada na imagem de acumulação de fluxo foi feita por meio da opção *Stream Definition* e da escolha do limiar de 391, o qual permitiu a representação similar da rede de drenagem vetorial corrigida a partir da imagem RAPIDEYE. Após a geração da rede de drenagem a partir da ferramenta *Stream Definition*, procedeu-se a indicação do ponto de exutório da bacia do rio Caripi a partir da função *Batch Point Generation*. Por fim, através da ferramenta *Batch Subwatershed Delineation* e dos dados de direção de fluxo, rede de drenagem e ponto de exutório foi possível delimitar automaticamente a área de uma bacia hidrográfica, como a da área de estudo.

Após a delimitação da bacia hidrográfica do rio Caripi, partiu-se para a delimitação da zona ripária da referida bacia hidrográfica. Para tal intento fez-se uso de dados e softwares específicos para análise e modelagem hidrológica como os programas Arcgis, Hidro e TerraView com módulo Hidro (TerraView Hidro).

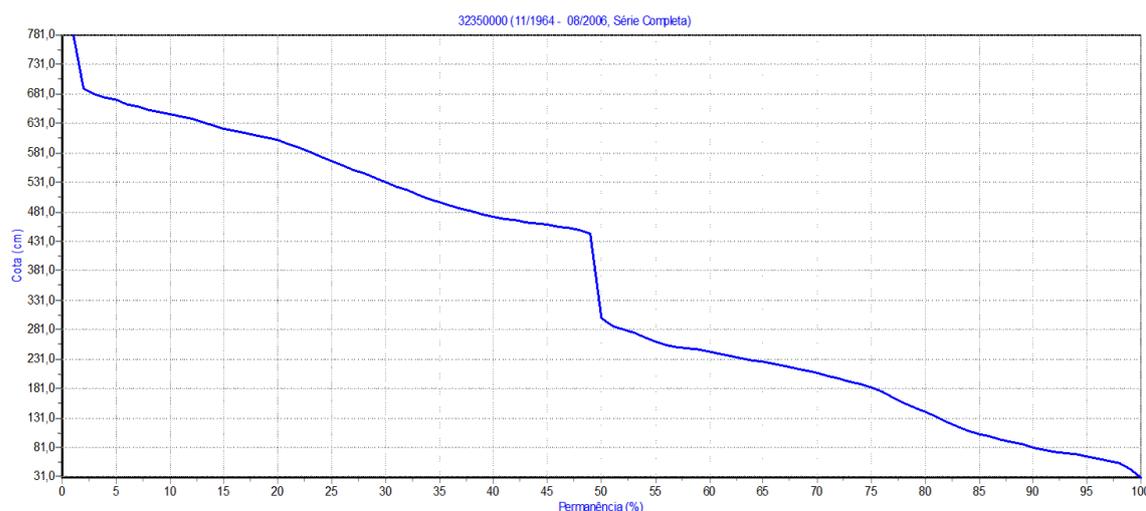
Assim, iniciou-se o processo de delimitação da zona ripária usando a imagem SRTM mosaicada e fez-se a aplicação da ferramenta *Fill Sinks* (correção de depressões espúrias) contida no módulo ArcHydro do SIGARCGIS. Após tal ferramenta, inseriu-se a imagem resultante do passo anterior no software TerraView Hidro visando gerar o produto do algoritmo Hand, o qual foi utilizado como base para representar a zona ripária da bacia hidrográfica do rio Caripi.

No software TerraView Hidro, a partir do pacote *Hydrological Tools*, gerou-se a imagem de Extração de Fluxo por meio da ferramenta *Flow Extraction*. Em seguida, através da ferramenta *Contributing Area* obteve-se a área de acumulação do fluxo de drenagem em cada pixel da imagem resultante. Posteriormente, extraiu-se a rede de drenagem da imagem produzida no passo anterior por meio da aplicação da ferramenta *Drainage Extraction* e do uso do limiar 391, o qual gerou a rede de drenagem similar a produzida anteriormente a partir da imagem RAPIDEYE. Finalmente, como último passo tem-se o uso da ferramenta *Hand*, a qual através do uso dos dados produzidos nos passos anteriores (extração de fluxo, área de contribuição e rede de drenagem) e da imagem SRTM mosaicada gerou-se o produto HAND, o qual representa o valor de distância vertical de cada pixel em relação à drenagem mais próxima.

Após a geração da imagem processada pelo algoritmo *HAND*, fez-se necessário o uso dos valores históricos de cotas de rio da região da área de estudo, com o intuito de avaliar e deduzir os valores de cotas que indiquem as áreas de saturação hídrica e, assim, gerar a zona

ripária. Como não há dados de cotas para o rio Caripi, fez-se uso dos valores de cotas do rio Caeté, pois é o único rio da mesma região da área de estudo (zona litorânea paraense) com estação de monitoramento da Agência Nacional de Águas – ANA (cotas da estação Nova Mocajuba - 32350000³). Os dados de cotas, dados consistidos, perfazem o período de novembro de 1964 a agosto de 2006 e foram lidos no software Hidro 1.2 (Figura 9).

Figura 9 - Valores de cotas do rio Caeté - estação Nova Mocajuba (cod. 32350000).



A curva de permanência dos valores de cotas do rio Caeté (Figura 9) indica a relação existente entre os valores de cotas (níveis do rio) e a porcentagem de tempo que tais valores atingiram, a mesma permite deduzir limiares de cotas que indiquem processos de enchentes e inundações e, dessa forma, inferir áreas com saturação hídrica que são compreendidas aqui como as zonas ripárias (MARTINS et al., 2011).

Desse modo, foi definido o valor de cota de 670 cm, que compreende aproximadamente 5% do tempo de permanência, para servir de limiar na definição das possíveis áreas de saturação hídrica (zonas ripárias). Assim, após a definição do valor de cota, fez-se a inserção da imagem resultante da aplicação do algoritmo *HAND* no software de SIG ArcGIS e realizou-se a reclassificação (ferramenta *Reclassify*) da referida imagem em somente 2 classes, uma que seria até o valor de cota citado anteriormente e a outra como *nodata* (sem valor). Ou seja, a reclassificação da imagem do algoritmo *Hand* faz a seleção de pixels que possuem até o valor de 670 cm, valores maiores são desprezados, o que gera as áreas de saturação hídrica e, dessa forma, tem-se a delimitação da zona ripária da área de estudo.

³<http://hidroweb.ana.gov.br/Estacao.asp?Codigo=32350000>

Após a delimitação da bacia hidrográfica do rio Caripi e da zona ripária do mesmo, realizou-se o passo seguinte que são os mapeamentos multitemporais do uso e cobertura da terra e o trabalho de campo visando validar os mesmos.

4.2 MAPEAMENTOS MULTITEMPORAIS E TRABALHO DE CAMPO

Na busca de entender as mudanças no uso e cobertura da terra na área que compreende a bacia hidrográfica do Rio Caripi nos últimos 30 (trinta) anos foi necessário proceder com o mapeamento multitemporal, o qual utilizou como dados primários as imagens dos satélites Landsat 5/Sensor TM, imagens tomadas nos anos de 1984, 1994 e 2004, e Landsat 8/Sensor OLI, imagem tomada no ano de 2013.

Para o processamento digital das imagens selecionadas foi utilizado o software ENVI 5. O pré-processamento incluiu a calibração radiométrica⁴, a correção atmosférica⁵ e a correção geométrica⁶ da imagem. Ressalta-se que a correção geométrica foi aplicada apenas para as imagens do satélite LANDSAT 5/TM, já que a imagem do satélite LANDSAT 8/OLI é disponibilizada ortorretificada, ou seja, já se encontra com correção geométrica a partir de um modelo digital de elevação.

Dessa forma, após a correção de todas as possíveis distorções, prosseguiu-se para a etapa de classificação das imagens. A classificação consiste no processo de extração de informações em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos que são utilizados para mapear áreas da superfície terrestre. A classificação das imagens no presente trabalho seguiu a metodologia de classificação semi-automatizada, a qual consiste da aplicação de um classificador que analisa e determina os pixels que fazem parte de uma mesma classe com base na informação espectral dos pixels analisados e, posteriormente, faz-se a correção de possíveis erros de classificação a partir da edição manual feita pelo usuário a partir da interpretação visual.

⁴Ajuste que visa remover ou diminuir as degradações através da alteração dos valores dos pixels, oriundas do registro da radiação eletromagnética pelo detector em virtude de fatores como a calibração inadequada dos sensores, interação com a atmosfera e defeitos no registro e/ou transmissão da informação (CENTENO, 2009).

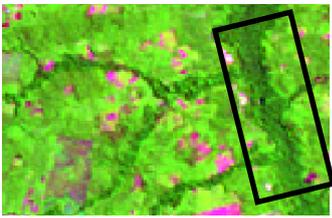
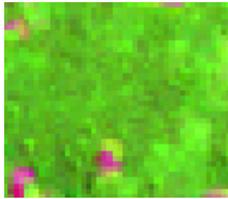
⁵Ajuste em função da atmosfera exercer bastante influência na degradação de imagens adquiridas via sensores ópticos, sendo necessárias informações como hora e data de aquisição das imagens combinados com dados meteorológicos (ROSA, 2003).

⁶Ajuste geométrico baseado caracterizado pela superposição de imagens da mesma cena com pontos coincidentes espacialmente, por meio da escolha de pontos de controle identificáveis na imagem referência e na imagem a ser corrigida, fazendo com que as coordenadas de ambas sejam lidas (CENTENO, 2009, ROSA, 2003).

Assim, utilizou-se o classificador *isodata*, classificador inerente à classificação não-supervisionada, e a indicação de 30 classes e de no mínimo 4 pixels como sendo uma classe foram os parâmetros adotados na execução da referida classificação automática. Após a geração do resultado da classificação, faz-se a aplicação da ferramenta de pós-classificação *Clump* visando agregar as 30 classes geradas em somente 08 classes (quando há presença de nuvens e sombras de nuvens o total de classes sobe para 10 classes), as quais representam o uso e cobertura da terra da área de estudo.

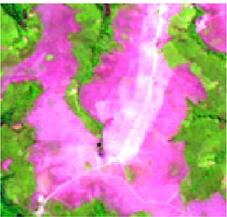
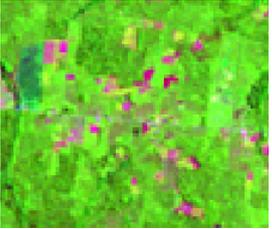
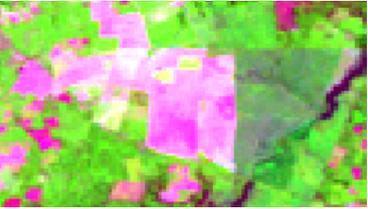
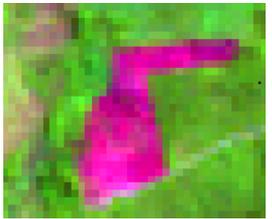
Com a geração do produto de classificação automática em 12 classes, passa-se para o processo de classificação visual, o qual pretende corrigir possíveis erros da classificação anterior. Os elementos básicos da interpretação visual estão relacionados à tonalidade/cor, geometria (tamanho e forma), à textura, ao padrão, à sombra, posição e à associação. As classes definidas para o mapeamento multitemporal de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Rio Caripi podem ser visualizadas na Quadro 1.

Quadro 1 - Classes definidas para o mapeamento multitemporal.

Classes	Representação matricial	Definição
Floresta Secundária		Feição com característica predominante de espécies arbóreas, cor verde escuro, tonalidade média, textura rugosa, formas irregulares. Esta feição refere-se às áreas de vegetação florestal remanescentes, podendo estar presentes também nas margens dos rios, caracterizando assim a vegetação do tipo ripária.
Vegetação Secundária		Feição característica de áreas homogêneas com porte vegetacional predominantemente arbóreo e arbustivo, que sofreram preteritamente supressão vegetal e que apresentam diversos estágios de regeneração. Possui cor verde clara, tonalidade média, pouco rugosa e com formas regulares e irregulares.

Quadro 1 - Classes definidas para o mapeamento multitemporal (*continuação*).

Classes	Representação matricial	Definição
Mangue		Feição característica de mangue, que ocorrem geralmente ao longo das planícies costeiras tropicais. Possui cor verde escuro, tonalidade escura, textura rugosa e formas irregulares.

Massa D'água		Feição relacionada aos corpos hídricos. Suas características são: cor azul claro a escuro, tonalidade baixa a média, textura lisa e áreas irregulares.
Campo Natural		Feição de vegetação não-florestal, neste caso definido como “campo cerrado”. Possui cor magenta a branco, tonalidade alta, textura lisa e áreas extensas e irregulares.
Mosaico de ocupações		Feição relacionada a núcleos urbanos, estradas, pequenas pastagens e agriculturas de pequeno porte. Tem as seguintes características: cor magenta a branco, tonalidade média a alta, textura rugosa e heterogênea e áreas regulares e irregulares.
Agricultura		Feição relacionada às áreas de cultivos agrícolas. Tem as seguintes características: cor magenta e verde claro, tonalidade clara e média, textura lisa e áreas regulares bem definidas.
Pastagem		Feição relacionada às áreas de pastagens. Tem as seguintes características: cor magenta e verde claro, tonalidade que varia de baixa a média, textura lisa e/ou levemente rugosa e áreas regulares e/ou irregulares.

O Quadro 1 exemplifica as características das classes a serem mapeadas no processo de classificação visual. Estas posteriormente são registradas e analisadas por meio do trabalho de campo, o qual valida o mapeamento multitemporal realizado.

Em relação ao trabalho de campo, o mesmo foi realizado em dois momentos, um no primeiro e o outro no segundo semestre de 2013, os quais complementam e/ou retificam as informações já adquiridas ou produzidas acerca da área de estudo. Após estes, os

mapeamentos multitemporais foram validados e passou-se a analisar a paisagem da área de estudo a partir da aplicação de métricas de paisagem.

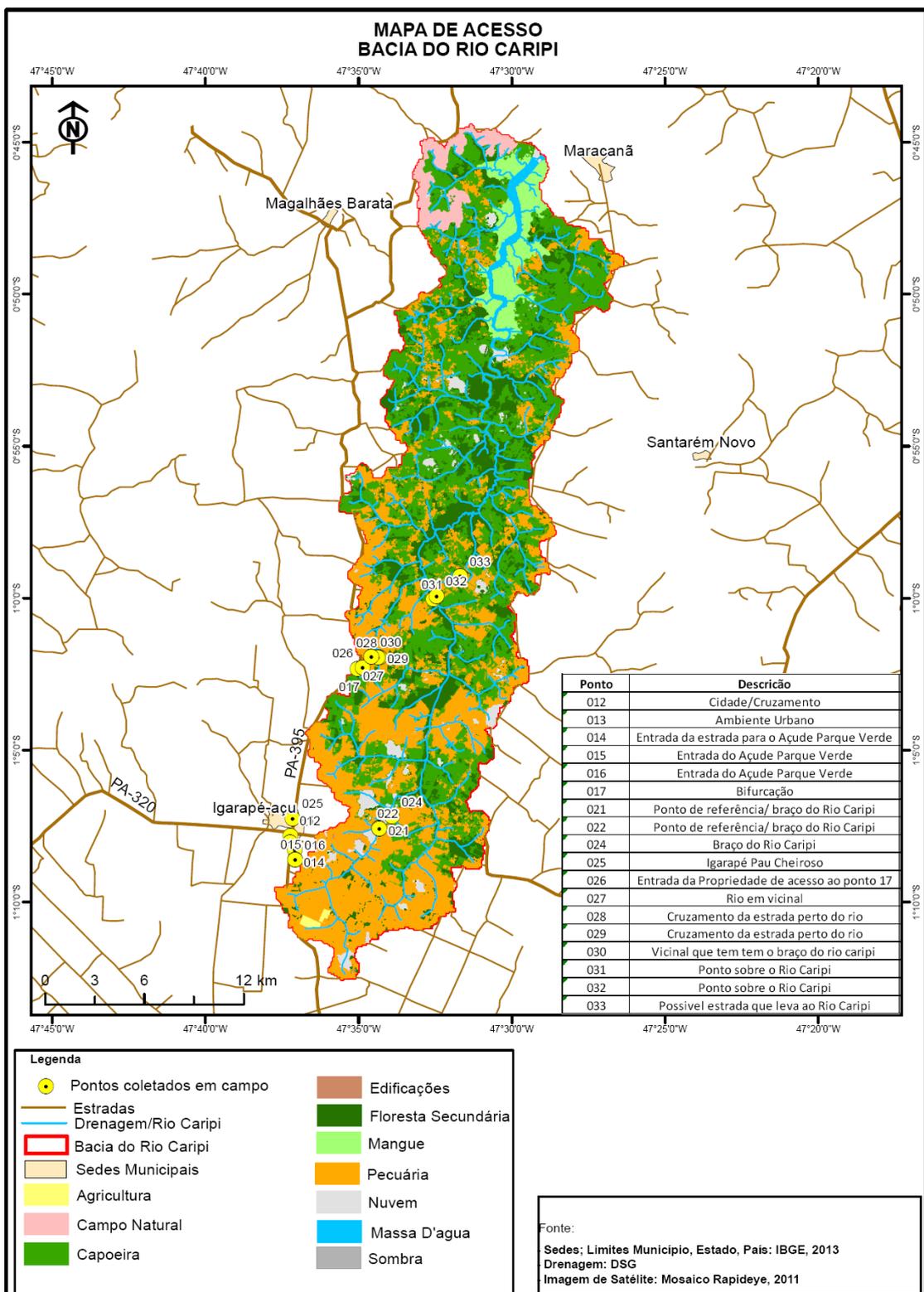
4.3 RECONHECIMENTO DE CAMPO

O reconhecimento de campo das áreas ripárias da bacia buscou descrever suas principais características e avaliar seu grau de conservação; associando o uso de ferramentas de tecnologia de informação espacial (mapeamento das unidades de uso e cobertura do solo), a informações que contemplassem as características dos ambientes locais identificados no médio-alto e no médio-baixo curso da bacia (SAYRE et al, 2000).

Em termos de procedimentos, foram efetuadas as seguintes etapas:

- O mapeamento preliminar das formas de uso e cobertura do solo por meio da interpretação de imagens de sensoriamento remoto (Imagem Rapideye, 2011) (Figura 10).
- Registro fotográfico e caracterização visual em campo dos tipos vegetacionais, que incluam as comunidades vegetais (utilizadas na identificação e na definição dos limites de ecossistemas) e classes de cobertura vegetal (definidas pela combinação de um conjunto de atributos da cobertura) (IBGE, 2012; FREITAS; MAGALHÃES, 2012). Como o ambiente de análise foi a bacia hidrográfica, buscou-se também associar a existência das comunidades vegetais onde as espécies presentes foram identificadas juntamente com a caracterização dos fatores abióticos que controlam sua distribuição (posicionamento ao longo da bacia, topografia).
- O produto final representa a melhor conciliação entre a informação de sensoriamento remoto e aquilo que é verificado em campo. Esta tarefa foi realizada através de uma pré-classificação das imagens, do trabalho de verificação em campo e do processo de classificação e refinamento de mapas.

Figura 10. Mapeamento preliminar adotado.

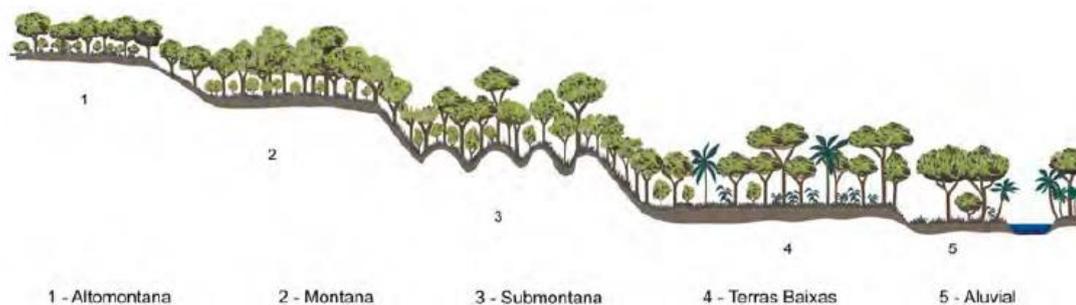


As denominações adotadas correspondem ao descrito em IBGE (2012) para:

- Floresta Ombrófila Densa Aluvial: formação ribeirinha ou “floresta ciliar” que ocorre ao longo dos cursos de água, ocupando os terraços antigos das planícies quaternárias (Figura 11).

- Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas: formação que em geral ocupa as planícies costeiras, capeadas por tabuleiros pliopleistocênicos do Grupo Barreiras.

Figura 11 - Perfil esquemático da Floresta Ombrófila Densa.



Fonte: IBGE (2012).

- Floresta Ombrófila Aberta Aluvial - formação estabelecida ao longo dos cursos de água, ocupa as planícies e terraços periodicamente ou permanentemente inundados, que na Amazônia constituem fisionomias de matas-de-várzea ou matas-de-igapó, respectivamente.
- Vegetação com influência fluviomarinha (manguezal): o manguezal é a comunidade microfanerófitica de ambiente salobro, situada na desembocadura de rios e regatos no mar, onde, nos solos limosos (manguitos), cresce uma vegetação especializada, adaptada à salinidade das águas, com a seguinte sequência: *Rhizophoramangle* L., *Avicennia* sp., cujas espécies variam conforme a latitude, e *Laguncularia racemosa* (L.) C. F. Gaertn., que cresce nos locais mais altos, só atingidos pela preamar.
- Campo Cerrado: unidade assim denominada por Pará (2013) para caracterizar o “Campo das Mangabas” IBGE (2012) denomina as áreas com ocorrência *Platonia insignis* Mart. (Clusiaceae - bacuri) e *Himatanthus sukuuba* (Spruce ex Müll. Arg.) Woodson (Apocynaceae - sukuuba) no Pará de Savana Arborizada). Este é composto por uma vegetação de porte mediano entre 4 a 7 metros, de elementos arbustivos, dispersos sobre um tapete contínuo, dominado por *Andropogon* sp., *Paspalum* sp. e *Bulbostylis* sp. Os indivíduos lenhosos tem como espécies mais comuns a mangaba (*Hancornia speciosa*), muruci do campo (*Byrsonima spicata*), bacuri (*Platonia insignis*) e a sukuuba (*Himatanthus sukuuba* (Spruce ex Müll. Arg.)). Na vegetação graminóide, encontra-se o capim barba-de-bode (*Aristida* sp.) e nas florestas de galeria aparece o buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.).

A Figura 12 ilustra algumas das classes temáticas adotadas para a análise multitemporal do uso e cobertura da terra da bacia do rio Caripi.

Figura 12 - (a) Campo de Mangaba; (b) Mangue (Município São João da Ponta); (c) Massa d'água com remanescentes florestais ao fundo; (d) Floresta secundária aluvial; (e) Vegetação secundária; (f) Plantio de pimenta; (g) Pastagem degradada.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

Fonte: (a) SEMAS, sem data; (b) Carlos Tamasauskas (2011)⁷; (c) (d) (e) (f) (g) Fotografia da autora (2014).

Após a elaboração do mapa síntese e da replicação das informações para refinamento e validação das classificações multitemporais realizadas anteriormente, passou-se a analisar a paisagem da área de estudo a partir da aplicação de métricas de paisagem.

4.4 APLICAÇÃO DE MÉTRICAS DE PAISAGEM

Visando analisar o processo de fragmentação florestal da bacia hidrográfica da área de estudo e de sua zona ripária fez-se uso das métricas de paisagem (métricas de manchas, classes e paisagem). Assim, a partir dos dados de uso e cobertura da terra dos anos de 1984, 1994, 2004 e 2013, procedeu-se a análise quantitativa da paisagem por meio do software Fragstats versão 4.2 e do uso das métricas de paisagem listadas na Tabela 3.

Tabela 5 - Métricas de paisagem a serem utilizadas.

Aspecto Principal	Métrica	Unidade	Questão Ecológica
Métricas de Manchas (Patches)			
Análise de Vizinhança	Índice de Proximidade (PROX)	$PROX \geq 0$	Qual a proximidade de uma mancha ao seus vizinhos de mesma classe?
Análise de Formas	Índice de Círculo Circunscrito (CIRCLE)	$0 < CIRCLE < 1$	Quão compactadas são as manchas em relação a uma circunferência de mesma área?
Análise de Vizinhança	Índice de Contiguidade (CONTIG)	$0 \leq CONTIG \leq 1$	Qual a contiguidade interna (conexão espacial) das manchas?
Métricas de Classes			
Análise de Heterogeneidade	Número de Fragmentos (NP)	$NP \geq 1$	Quantas manchas por classe há na paisagem?
Análise de Vizinhança	Índice de Conectância (CONNECT)	%	Qual o percentual de manchas conectadas de certa classe segundo dada distância?
Métricas de Paisagem			
Heterogeneidade	Grau de Contagio (CONTAG)	%	Qual o grau de conectividade da paisagem entre as manchas da mesma classe?

Fonte: Adaptado de Lang e Blaschke (2009).

A partir das métricas discriminadas, pode-se avaliar nos níveis das manchas, classes e paisagem o processo de fragmentação florestal ocorrido na bacia hidrográfica e em sua zona ripária e, desse modo, inferir o padrão espacial da cobertura florestal presente na paisagem da área de estudo. Após a análise quantitativa da paisagem, foi estimado o comportamento

⁷ Nas duas visitas realizadas na área de estudo não foi possível fazer registros fotográficos da classe mangue, razão pela qual a mesma está sendo ilustrada através de uma fotografia de um mangue localizado no município de São João da Ponta/PA, também localizado na mesorregião Nordeste Paraense.

hidrológico da bacia do rio Caripi visando identificar possível impacto do processo de fragmentação florestal da bacia hidrográfica e da zona ripária sobre o referido comportamento hidrológico.

4.5 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL BACIA DO RIO CARIPI

Os valores de precipitação das estações convencionais são oriundos das estações de Castanhal (código - 147007), Magalhães Barata (código - 47007) e Nova Timboteua (código - 147019); disponibilizados pelo sistema Hidroweb (ANA). No processo de comparação com os dados do TRMM foram empregados os anos de 2000 a 2012; na avaliação isolada do comportamento da precipitação foi adotado o período integral: Castanhal, de 1973 a 2014; Magalhães Barata 1996 a 2014; e Nova Timboteua de 2000 a 2014.

A estimativa de escoamento (**Q**) da precipitação (**P**) foi realizada utilizando o método Curva Número (**CN**) (KENT, 1973; GITIK; RANJAN, 2014). O método é baseado na equação do balanço hídrico (1) e em duas outras equações (2) e (3). Onde **I_a** corresponde a precipitação interceptada; **F** é a retenção cumulativa; e **S** é a capacidade máxima de retenção. Se **P** e o **CN** são conhecidos, o volume de escoamento superficial pode ser determinado.

Admitindo-se que **I_a** corresponde a 20% de **S** ($I_a = 0,2S$) e que **CN** varia entre $100 \geq CN \geq 0$ tem-se a equação (5) (NEEDHIDASAN; NALLANATHEL, 2013). Para avaliação do potencial hídrico da bacia de estudo (TUCCI, 2005; COLLISCHONN; TASSI, 2008), adotou-se este método pelo fato do mesmo contemplar as diferentes formas de uso e cobertura do solo, permitindo assim estimar seus efeitos:

$$P = I_a + F + Q \quad (1)$$

$$\frac{Q}{P-I_a} = \frac{F}{S} \quad (2)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

$$Q = \frac{(P-I_a)^2}{P-I_a+S} \quad (4)$$

$$Q = \frac{(P-0,2S)^2}{P+0,8S} \quad (5)$$

No processamento foi adotada a ferramenta HEC-GeoHMS, acoplada ao SIG ArcGis⁸; esta utiliza informações de CN, precipitação e saturação hídrica do solo para gerar simulações

⁸ Disponível em <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms/downloads.aspx>.

do comportamento hidrológico, como é o caso do escoamento superficial (MANTOVANI et al., 2013). Os passos utilizados foram:

- 1) Categorização da base vetorial de solos, base produzida pelo IBGE/CISCEA/SIVAM para a Amazônia na escala 1:250.000 no ano 2000, de acordo com os tipos de solo (A, B, C e/ou D) descritos no método Curva-Número encontrados na área de estudo (ANEXO 2);
- 2) Aplicação da operação espacial “*Union*” entre os vetores de uso da terra (2013) e de solos hidrológicos da área de estudo para viabilizar o processamento;
- 3) Geração do *CN Grid* através da criação de uma “*lookup table*”, que relacionam as classes de uso da terra com percentual de solos (A, B, C e/ou D) associados. O CN deve ser ponderado em função do uso e cobertura do solo e dos tipos de solo pela equação 6:

$$CN_p = \frac{\sum_{i=1}^n (CN_i * A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (6)$$

Onde CN_p é o valor de curva-número ponderado (adimensional); CN_i é o valor da curva-número de cada grupo de uso e cobertura e tipo do solo (adimensional) e A_i é a área de cada grupo de uso e cobertura e tipo do solo na bacia (km²).

- 4) O escoamento superficial é gerado a partir da fusão dos vetores de retenção potencial máxima e uso da terra (2013), a partir equação (5);
- 5) Foram utilizados para cada ano da análise multitemporal os valores de precipitação mensal da estação de Castanhal (única que contemplava todos os períodos avaliados) do mês de junho (mês que intersecta as duas estações, inverno e verão), para estimar o comportamento do escoamento superficial em função do uso e cobertura da terra (Tabela 4).

Tabela 6 – Precipitação média mensal – Estação Castanhal.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1973	273.70	335.20	443.00	327.60	382.40	124.00	169.60	213.80	244.00	137.70	73.90	284.20
1974	201.90	345.90	645.10	455.30	446.20	284.10	162.70	135.50	106.50	105.70	42.00	219.30
1975	263.70	559.70	555.20	531.50	388.30	259.90	148.00	204.00	179.70	242.20	147.40	293.30
1976	191.90	327.80	500.10	350.80	259.90	263.10	98.20	61.00	40.90	30.00	82.60	115.00
1977	350.40	409.10	364.60	375.50	353.30	156.90	136.80	125.10	92.60	69.70	8.50	126.10
1978	313.20	288.00	472.50	568.20	276.00	194.10	149.10	207.30	131.00	75.60	32.20	111.40
1979	277.20	258.80	407.90	240.80	212.80	127.70	80.50	145.20	123.40	136.60	89.10	254.30
1980	278.20	615.80	428.80	334.00	177.80	172.70	197.00	68.00	87.20	50.70	77.60	168.40
1981	175.20	158.80	98.40	133.00	286.90	81.50	174.70	66.30	93.10	61.20	1.00	49.50
1982	517.50	179.40	261.50	500.70	217.80	145.50	115.30	82.50	87.80	24.40	46.20	56.70
1983	107.60	112.90	435.20	327.70	252.50	167.60	185.70	171.90	40.50	45.20	5.10	129.40
1984	347.90	273.70	545.30	386.10	355.20	115.80	101.70	96.90	61.70	164.40	137.00	86.30
1985	414.60	358.90	322.40	241.00	250.40	219.90	121.70	126.50	68.20	41.90	107.50	310.80
1986	188.00	541.60	480.60	407.40	297.50	240.90	93.40	118.80	174.30	171.90	93.10	111.50
1987	232.10	231.50	531.10	327.60	107.80	115.80	190.80	131.20	54.40	15.10	0.00	153.20
1988	559.40	299.70	564.30	467.60	285.70	301.20	164.90	137.80	148.80	64.10	74.00	304.50
1989	412.30	327.10	524.50	538.80	297.70	169.40	261.90	159.20	56.00	237.50	128.40	264.00
1990	341.00	542.60	238.00	118.40	296.50	206.60	229.80	80.10	49.40	37.10	63.10	85.60
1991	397.60	204.40	490.10	31.00	24.70	149.10	70.70	49.00	17.50	170.40	1.50	17.90
1992	171.90	804.70	473.70	436.70	128.90	157.80	34.40	6.10	12.30	6.00	23.90	126.00
1993	571.20	87.70	643.80	65.50	91.30	89.70	26.80	38.70	46.80	111.00	11.70	10.50
1994	395.90	605.50	900.00	602.40	555.30	291.00	442.60	267.20	184.30	114.00	149.10	202.10

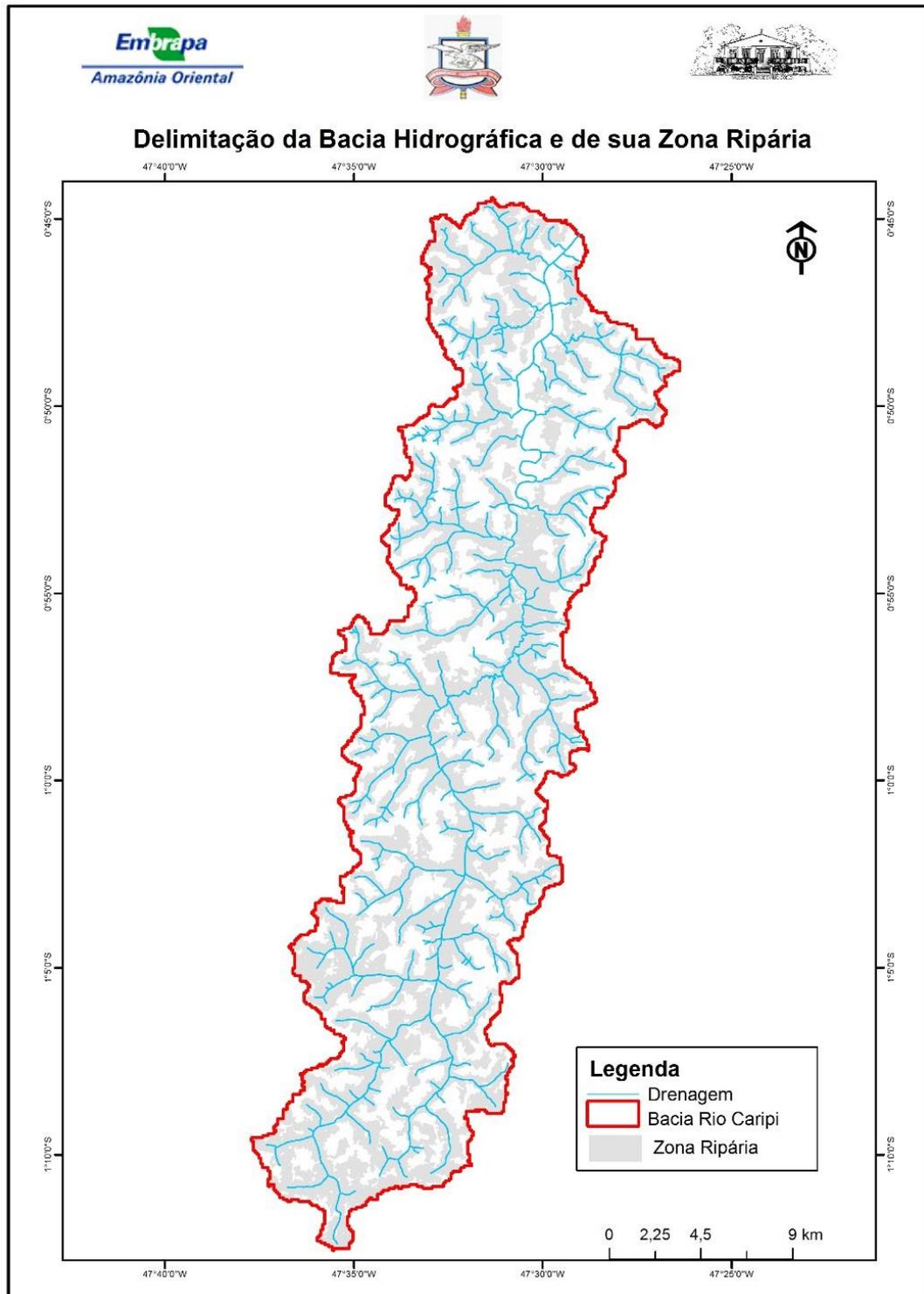
1995	245.60	230.30	265.60	209.60	236.40	112.70	135.30	57.30	20.70	64.80	63.70	105.90
1996	174.30	266.10	268.40	231.80	246.20	128.00	117.30	48.10	117.70	24.30	21.10	99.90
1997	359.00	265.70	360.60	595.90	235.00	162.20	153.30	118.90	17.70	11.40	168.50	158.00
1998	335.40	127.10	444.80	375.20	287.80	153.10	121.20	86.90	69.50	0.00	44.50	285.30
1999	193.70	303.80	563.80	228.10	187.90	212.40	220.80	96.80	91.60	84.80	175.60	218.10
2000	290.70	247.30	232.40	243.90	262.80	209.30	218.40	74.30	66.20	83.00	261.40	209.10
2001	690.40	525.10	379.90	310.80	912.00	617.70	223.80	125.10	116.40	172.80	141.80	256.70
2002	482.70	445.90	478.70	467.60	183.00	106.70	231.30	130.00	94.70	66.60	42.70	175.90
2003	170.30	128.60	153.50	363.00	270.50	187.00	204.10	46.30	124.60	48.10	72.10	173.90
2004	421.30	345.70	474.40	404.80	149.20	193.10	248.20	146.00	51.90	3.40	3.40	66.80
2005	313.50	350.40	290.10	329.40	366.90	142.20	158.10	87.30	19.40	38.50	28.10	369.50
2006	272.70	382.60	394.40	134.50	394.20	130.00	91.10	176.90	16.60	90.80	55.40	143.80
2007	201.30	271.80	346.00	305.70	163.30	129.00	23.10	124.80	24.30	37.30	44.70	237.20
2008	235.30	265.40	351.50	457.20	167.00	175.50	132.92	96.10	80.20	164.70	41.60	228.70
2009	185.80	397.80	286.90	486.10	480.10	384.10	291.40	48.10	49.20	439.90	33.20	78.10
2010	215.50	189.10	209.20	438.80	294.00	202.90	111.60	132.60	42.90	123.10	272.00	146.40
2011	377.60	345.70	324.10	288.70	192.40	90.50	251.40	136.42	38.80	141.10	37.71	4.80
2012	355.96	276.52	375.80	224.90	180.90	278.40	65.70	72.40	33.80	71.02	55.50	80.30
2013	242.6	225.4	339.7	480.6	398.1	149.4	256.3	48.9	63.8	3.2	1.2	10
2014	215.8	356.8	321.8	412.9	408.9?	154.9	102.6	89.9	51.2	69.9	25.4	87.8

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CLASSIFICAÇÃO DAS FORMAS DE USO E COBERTURA

As áreas da bacia hidrográfica e da zona ripária do rio Caripi foram respectivamente, 47.849,45 ha e 27.386,12 ha (Figura 13); onde a zona ripária delimitada representa 57,23% da área da bacia hidrográfica, o que lhe confere um importante papel nos processos hidrológicos que ocorrem nesta bacia.

Figura 13 - Delimitação da Bacia Hidrográfica e de sua Zona Ripária.



As Figuras 14 a 17 representam as classes de uso e cobertura da terra da área de estudo obtidas pela classificação das imagens e verificação de campo.

Figura 14 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra - 1984.

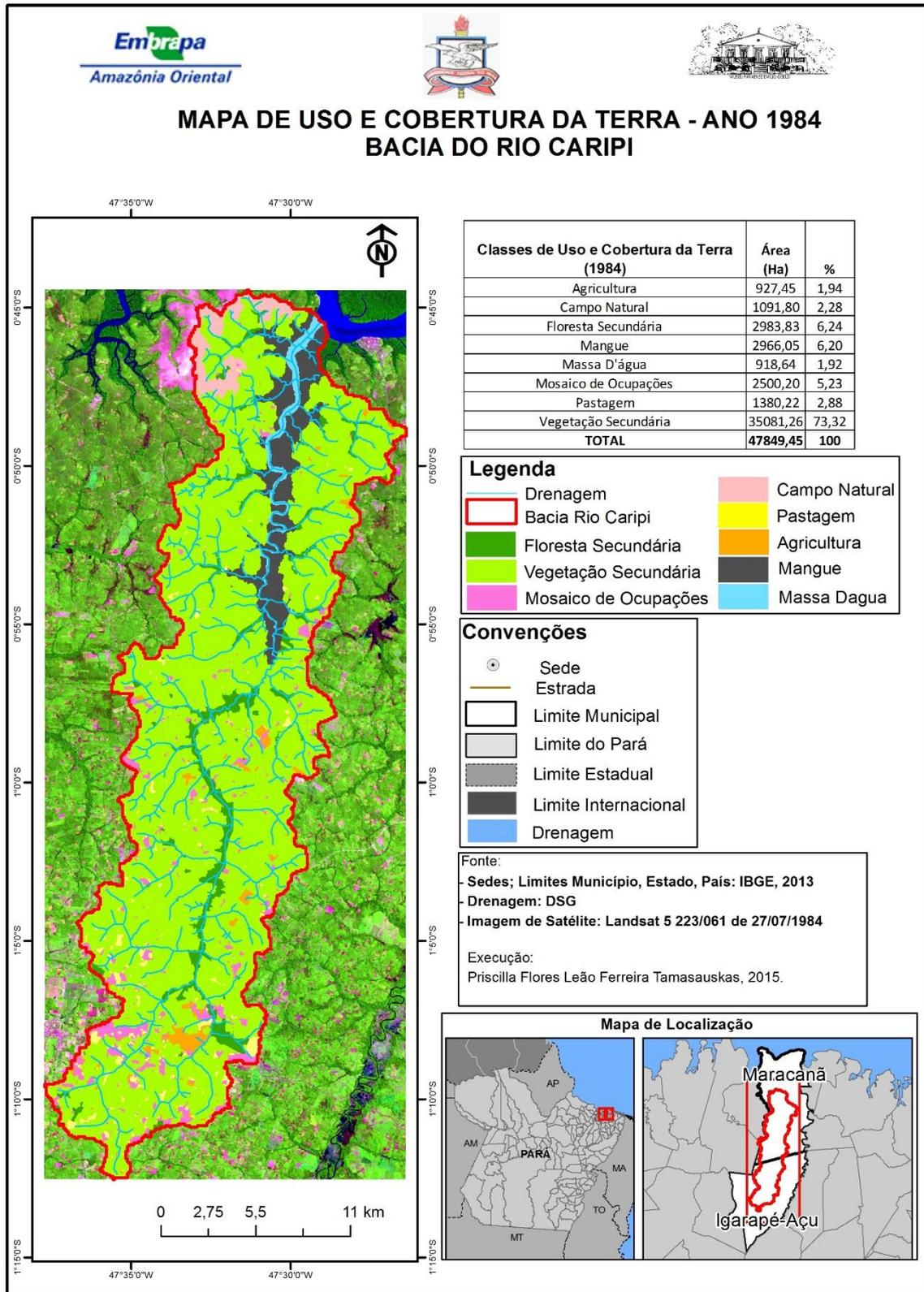


Figura 15 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra - 1994.

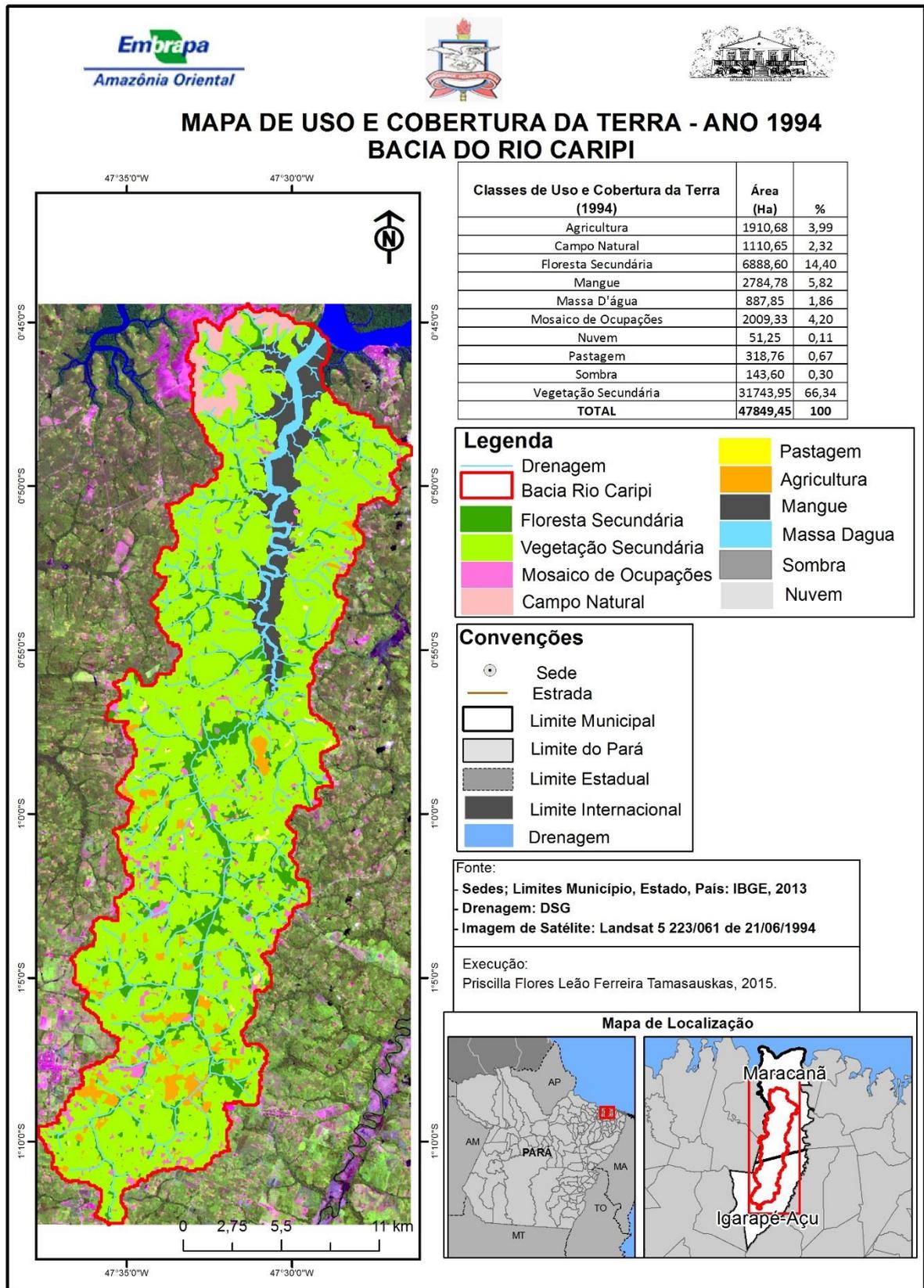


Figura 16 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra - 2004.

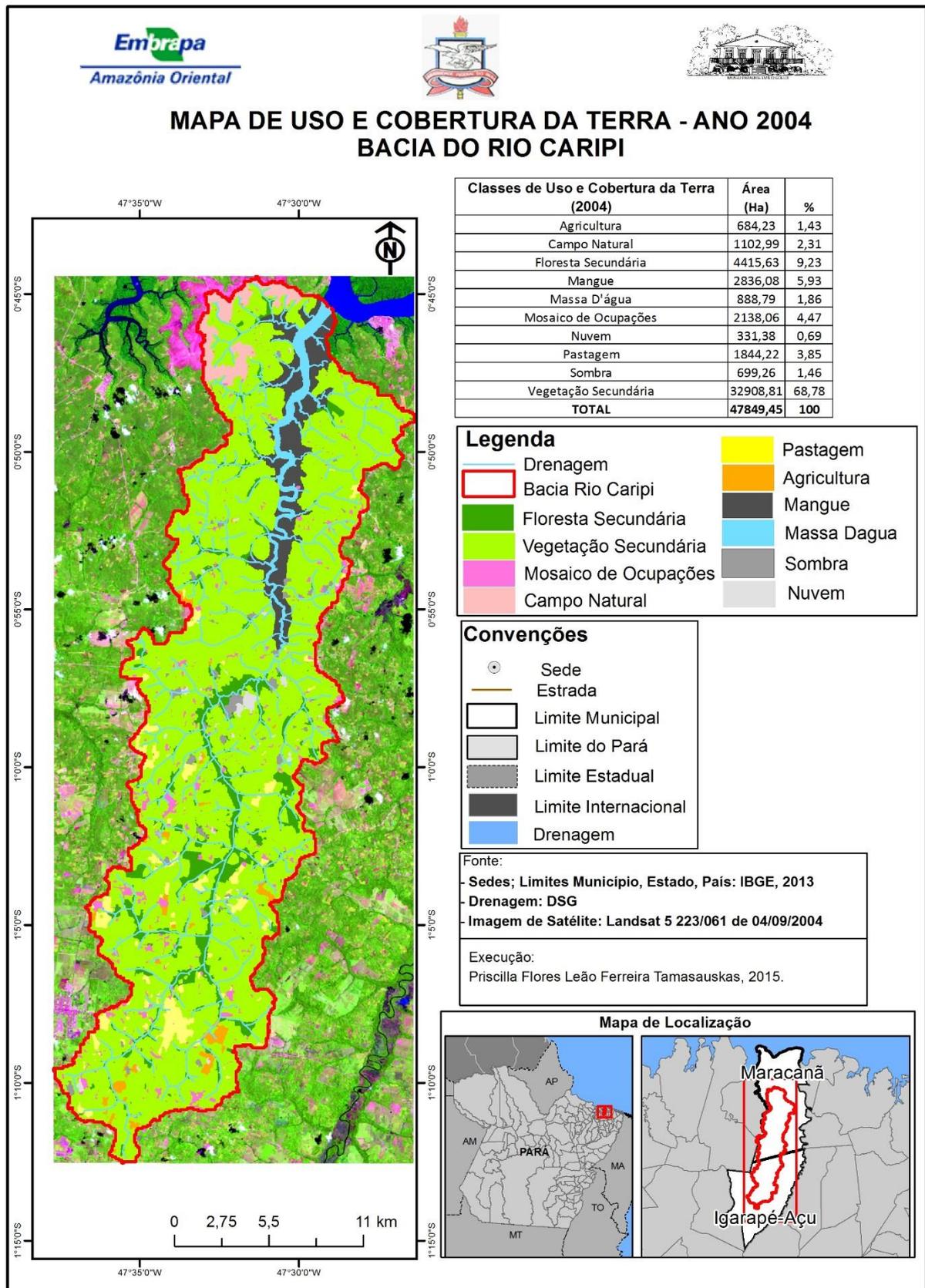
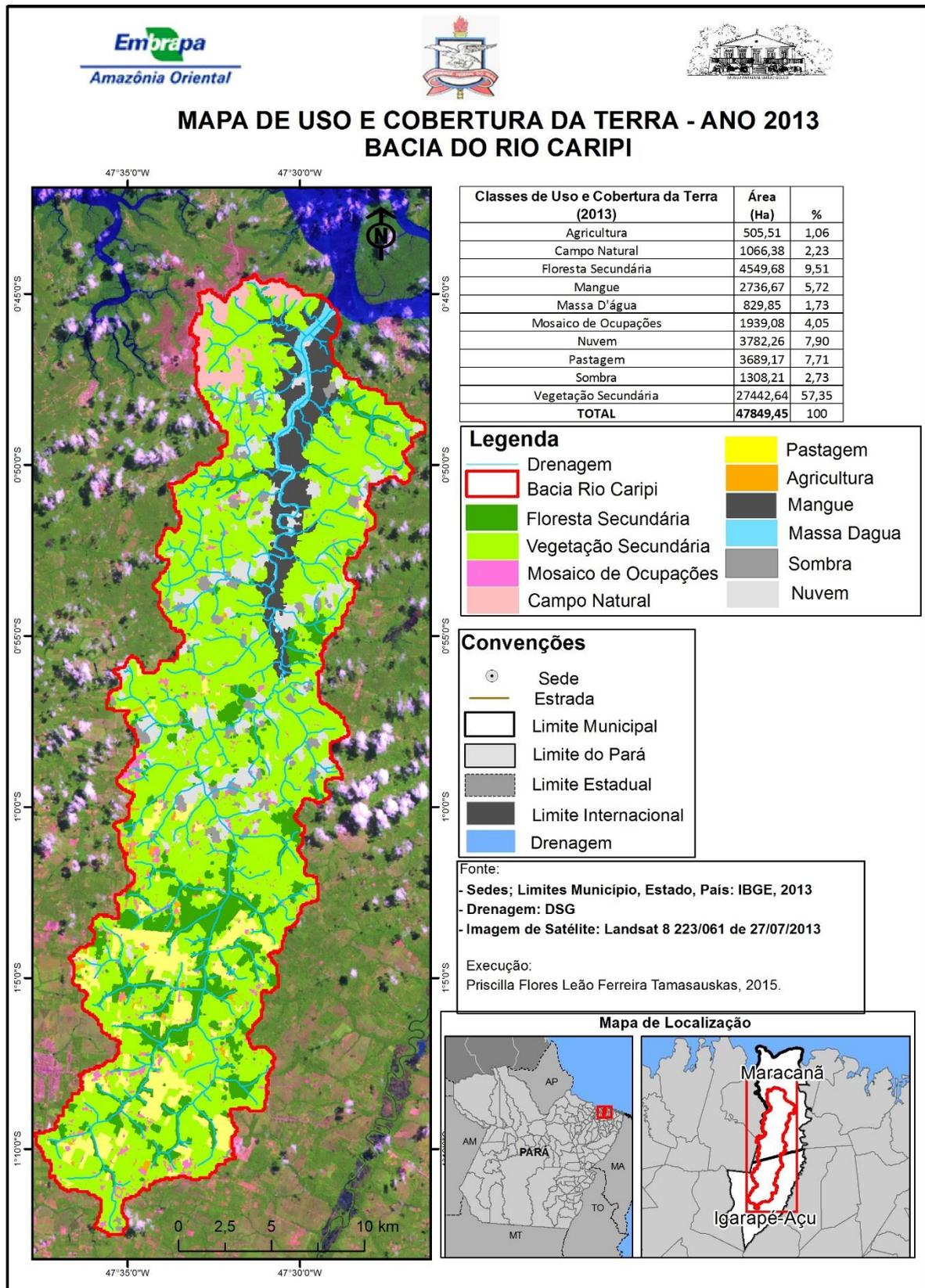


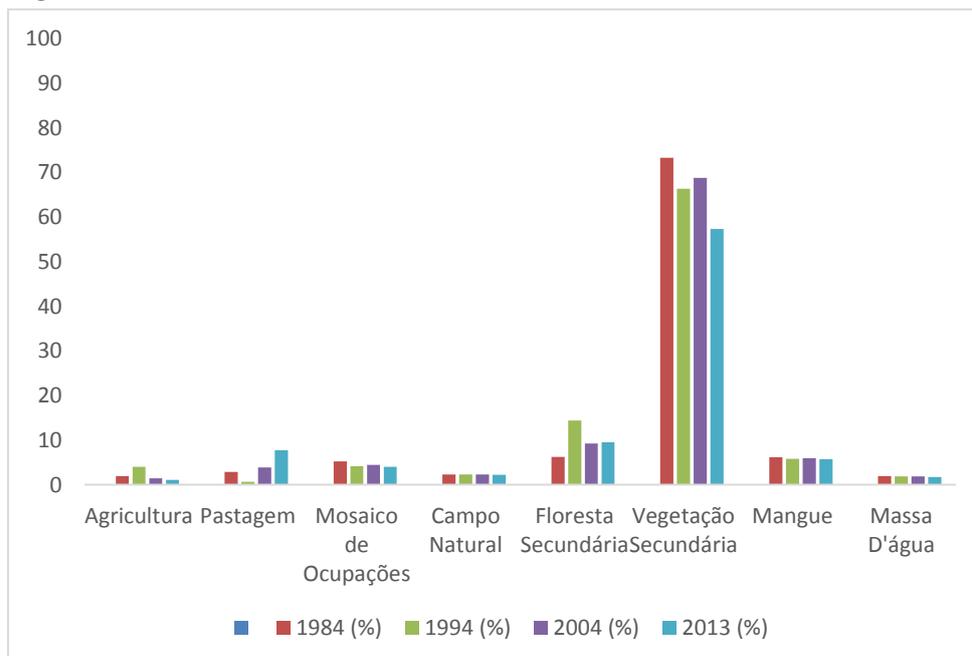
Figura 17 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra - 2013.



Observa-se que a configuração espacial das classes mapeadas, teve maior concentração de infraestrutura urbana e atividades agropecuárias (mosaico de ocupações, agricultura e pastagem) na parte sul da bacia (alto curso do rio Caripi). Os ambientes naturais (campo natural e mangue) estão localizados na parte norte da bacia (baixo curso do rio); a classe de vegetação secundária permeia toda a área da bacia e a de floresta secundária tem maior abrangência do médio ao baixo curso do rio Caripi, estando, de modo geral, restrita principalmente às margens do referido rio e de alguns de seus afluentes (floresta aluvial).

Com base nos valores e percentuais de área das classes mapeadas, pode-se inferir que houve uma estabilidade de área ocupada em todo o período analisado (1984-2013) para as classes de campo natural, mangue, massa d'água e mosaico de ocupações. Já para o intervalo de 1984 à 1994, houve aumento das áreas de agricultura e floresta secundária e retração das classes de pastagem e vegetação secundária, além de uma discreta diminuição das áreas de mosaico de ocupações, ou seja, houve transição de classes de pastagem e vegetação secundária para agricultura e floresta secundária. Já para o período de 1994-2004, ocorreu o fenômeno inverso, as classes de agricultura e floresta secundária diminuíram em favor das classes de pastagem e vegetação secundária e, por fim, no período seguinte (2004-2013), constatou-se retração nas áreas de agricultura e vegetação secundária, manutenção das áreas de floresta secundária e um aumento da área de pastagem (Figura 18).

Figura 18 - Classes de Cobertura e Uso da Terra - Anos de 1984, 1994, 2004 e 2013.



A transição de áreas de vegetação secundária para a classe de floresta secundária ocorreu devido algumas áreas de vegetação secundária estarem em estágio médio de regeneração e atingiram em 1994 um estágio avançado de regeneração, sendo feições identificadas na imagem de 1994 que apresentam características de floresta secundária (cor verde escuro, textura rugosa, etc.). Além disso, destaca-se que as informações de classes de uso e cobertura para o ano de 2013 foram prejudicadas em virtude da excessiva presença de nuvens e suas respectivas sombras na imagem do referido ano, as quais juntas representam 10,63% da área da bacia.

Em relação às classes existentes na zona ripária, observa-se em todo o período (1984-2013) que ocorreram poucas mudanças significativas nas áreas das classes de campo natural, mangue e massa d'água. Para as classes de agricultura e mosaico de ocupações houve redução de suas áreas ao longo do referido período e, em contrapartida, a classe de pastagem teve significativo aumento de sua área, passou de 776,81 hectares em 1984 para 1966,17 hectares em 2013.

A classe de vegetação secundária que em 1984 abrangeu 19.047,87 (72,09% da zona ripária) hectares reduziu para 15.298,2 (57,85%), uma redução de 3.749,67 hectares, equivalente a 14,24%, denotando que boa parte dessa área pode ter sido convertida para pastagens, que teve um grande aumento durante o período analisado, visto que não foi identificado um incremento na classe floresta secundária, que aumentou em área apenas em 1994, mas logo retraiu em 2004 e basicamente se manteve em 2013 (Tabela 5).

Tabela 7 - Valores de Área e Percentuais das Classes de Uso e Cobertura da Terra na Zona Ripária.

Classes de Uso e Cobertura da Terra	1984	1994	2004	2013
	área (ha) / %	área (ha) / %	área (ha) / %	área (ha) / %
Agricultura	333,21 / 1,26	1200,99 / 4,54	314,47 / 1,18	200,79 / 0,75
Campo Natural	560,00 / 2,11	564,57 / 2,13	545,19 / 2,06	528,45 / 1,99
Floresta Secundária	2536,91 / 9,59	5420,25 / 20,5	3381,00 / 12,79	3030,16 / 11,46
Mangue	1879,47 / 7,11	1630,42 / 6,16	1711,81 / 6,47	1599,36 / 6,05
Mosaico de Ocupações	1299,24 / 4,91	988,80 / 3,74	1048,27 / 3,96	990,84 / 3,74
Pastagem	776,81 / 2,93	172,80 / 0,65	963,13 / 3,64	1966,17 / 7,43
Vegetação Secundária	19047,87 / 72,09	16362,78 / 61,9	17854,1 / 67,39	15298,2 / 57,85

O aumento da área de pastagem ficou concentrado na porção do alto curso do rio Caripi, local que corresponde ao município de Igarapé-Açú, o que tem relação com o número

elevado de bovinos no referido município (16509 cabeças), ao passo que em Maracanã esta concentração é, em comparação, relativamente menor (3280 cabeças) (IBGE, 2004; 2013).

A cobertura florestal da zona ripária diminuiu com a redução tanto da floresta secundária como da vegetação secundária, as quais juntas representam, em 2013, 69,31% de sua área da abrangência. Porém, apesar de ser um percentual médio a alto, é preciso esclarecer que esse valor diz respeito à soma dos percentuais que as classes vegetação secundária e floresta secundária representam na zona ripária e que ao analisar separadamente as mesmas, verifica-se que a floresta secundária, que é a classe onde localiza-se efetivamente a zona ripária, representa apenas 11,46% do total.

Essa relação suscita imediatas medidas de conservação, visto a importância que a mesma possui no contexto da bacia como um todo, a exemplo das contribuições na geração do escoamento direto, para o aumento da capacidade de armazenamento de água dentro do sistema e para a filtragem superficial de sedimentos, atuando diretamente sobre a qualidade da água produzida, entre tantos outros benefícios supracitados (VOGEL et al., 2009; TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2010; ATTANASIO et al., 2012).

A remoção da floresta secundária pode ocasionar, portanto, alterações no escoamento, o que terá como consequência direta a diminuição da quantidade de recarga do sistema, bem como da qualidade do recurso hídrico da bacia hidrográfica do Rio Caripi (TUCCI; MENDES, 2006; CARVALHO, 2012).

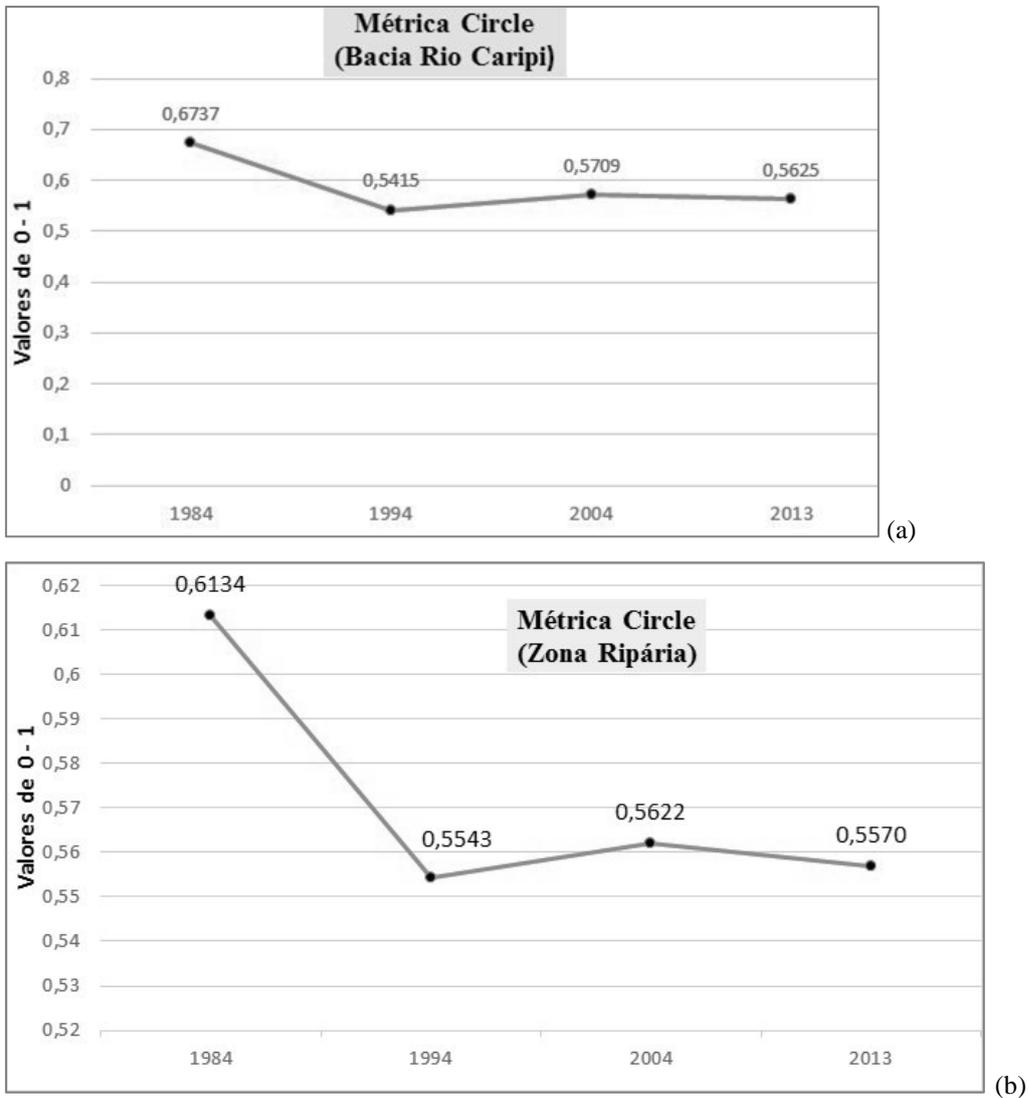
A redução da área da vegetação secundária também representa um grande risco para a manutenção da zona ripária, pois considera-se nesse trabalho que sendo respeitado todos os estágios de regeneração, futuramente a mesma seria convertida para floresta secundária, o que de acordo com a Tabela 5 não está ocorrendo.

Pelo exposto, percebe-se que tanto a bacia hidrográfica como a zona ripária do rio Caripi passaram por diversas mudanças em sua cobertura florestal, sendo que tais mudanças estão relacionadas tanto à uma dinâmica espacial da alteração como à uma variação quantitativa significativa para as classes de floresta secundária e vegetação secundária, principalmente no baixo curso da bacia, indicando que a bacia do Rio Caripi está tendo impactos negativos em função do uso da terra inapropriado e indiscriminado, não sendo respeitado assim o que o Código Florestal preconiza.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DAS MÉTRICAS DE PAISAGEM

Em relação às métricas de manchas usadas (*Circle*, *Contig* e *ENN*) observam-se formas médias dos polígonos de floresta secundária ao longo do tempo analisado tanto para a bacia como para a zona ripária. No ano de 1984 as formas tendiam a ser de polígonos mais alongados, em especial no sentido norte-sul da bacia, pois dizem respeito às áreas de floresta ripária remanescentes. Já nos anos de 1994, nota-se a redução do valor do índice de forma, o que é justificado pelo aumento da área de floresta secundária, o que minimizou a predominância de formas alongadas de floresta que margeiam os rios da bacia. Nas décadas seguintes, nota-se pequena variação nos índices, o que acompanha a dinâmica de retração e pequeno aumento da área de floresta (Figura 19).

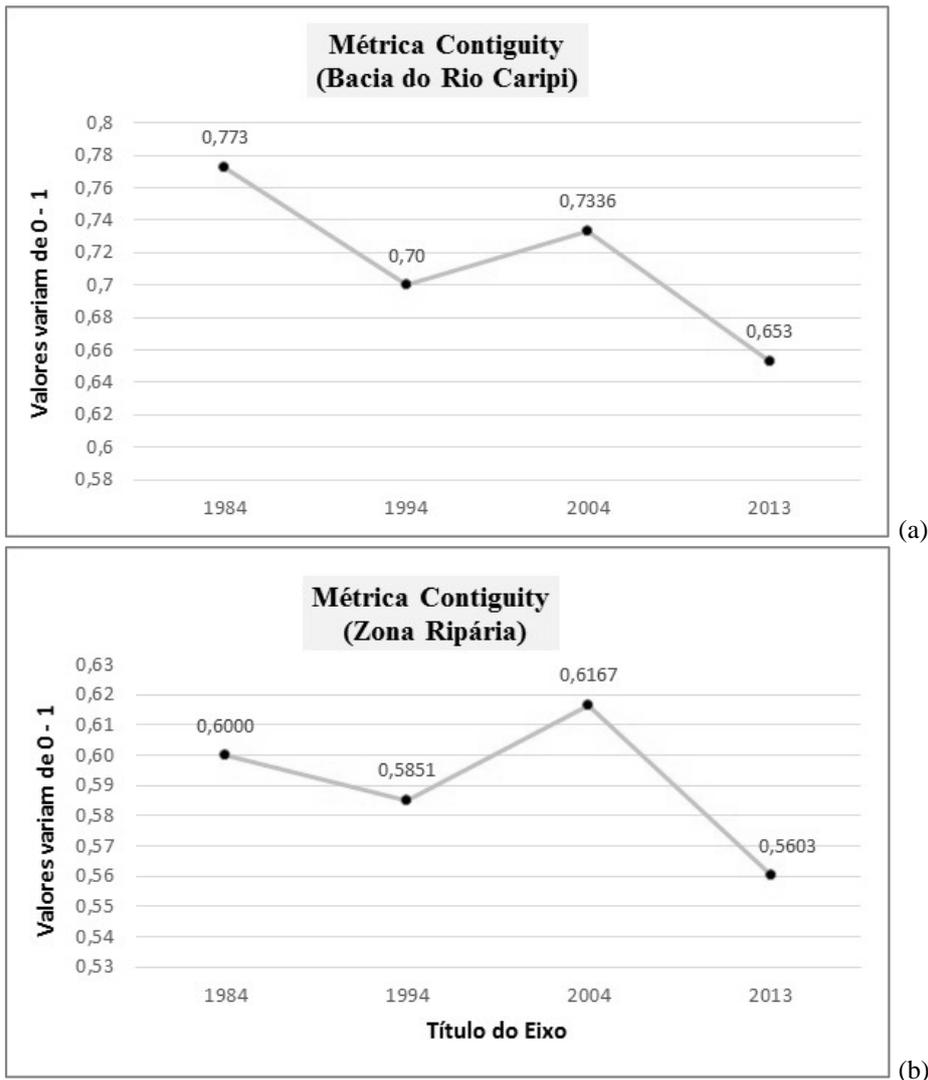
Figura 19 - Métrica *Circle* aplicada para a (a) Bacia Hidrográfica; (b) Zona Ripária.



Os fragmentos alongados de floresta sofrem mais efeitos de bordas (perturbações ecológicas) pois possuem maior perímetro do que os fragmentos com formas circulares e, desse modo, têm mais dificuldade em conservar área nuclear. Assim, há perturbações que ocorrem no interior dos polígonos de floresta, principalmente os alongados, que podem indicar uma tendência de fragmentação desses polígonos, o que pode ser analisado pela métrica Contiguidade (PENG et al., 2010; LLAUSÀS; NOGUÉ, 2012).

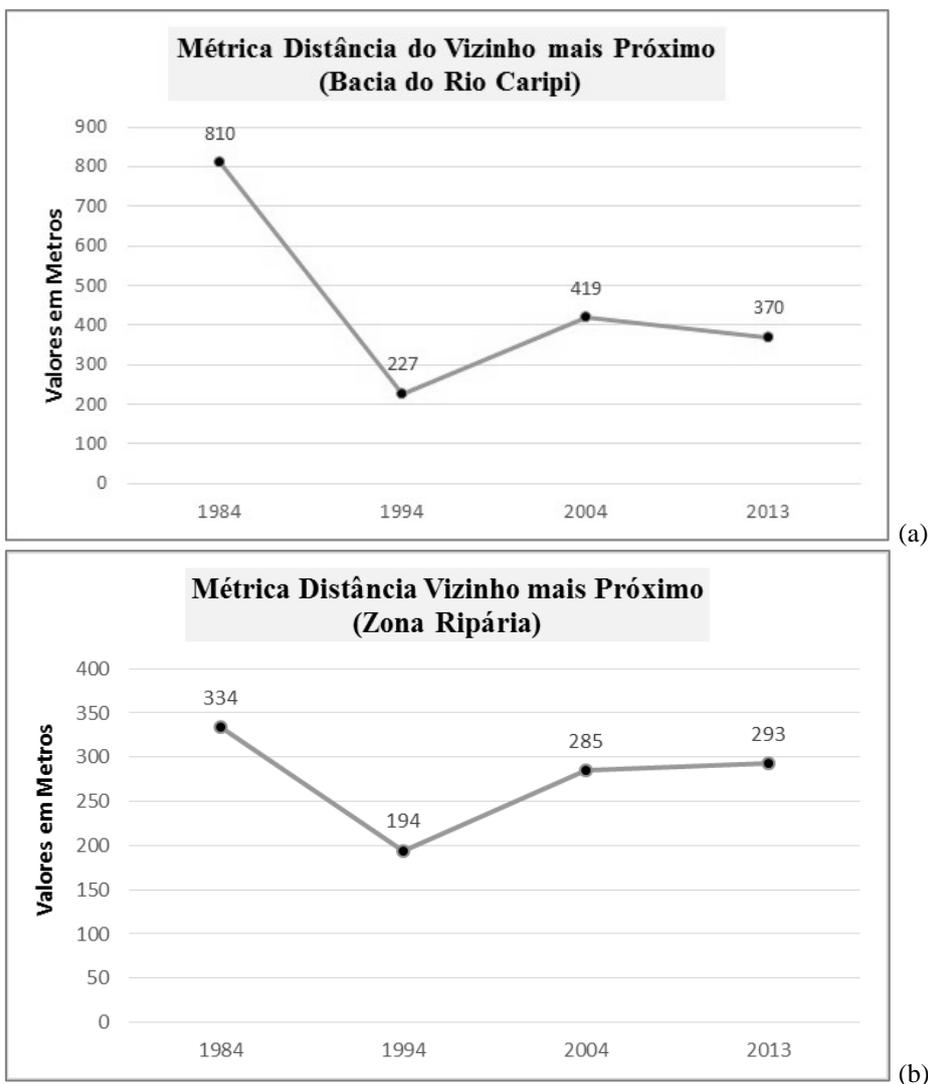
A métrica contiguidade (*Contiguity*) permite avaliar a coesão espacial interna dos fragmentos analisados (LANG; BLASCHKE, 2009), o que para os polígonos de floresta secundária na bacia e na zona ripária, demonstrou a ocorrência de uma mesma dinâmica de diminuição da contiguidade interna dos fragmentos florestais, apesar de que no período 1984-1994 ter ocorrido aumento da área de floresta secundária tanto na bacia como na zona ripária (Figura 20).

Figura 20 - Métrica *Contiguity* aplicada para a (a) Bacia Hidrográfica; (b) Zona Ripária.



Observa-se que o aumento de área total de floresta não significou aumento da coesão espacial dos fragmentos florestais, o qual nos períodos 1984-1994 e 2004-2013 teve queda no índice de contiguidade, o que pode representar que há aumento de perturbações no interior dos fragmentos florestais que tendem a resultar na fragmentação de tais polígonos (OLIVEIRA FILHO; METZGER, 2006; WALZ, 2011). Com a métrica ENN (distância ao vizinho mais próximo) foi possível constatar a variação temporal das distâncias médias entre os fragmentos de floresta secundária da bacia e da zona ripária (Figura 21).

Figura 21 - Métrica Distância ao Vizinho mais Próximo aplicado para a (a) Bacia Hidrográfica; (b) Zona Ripária.

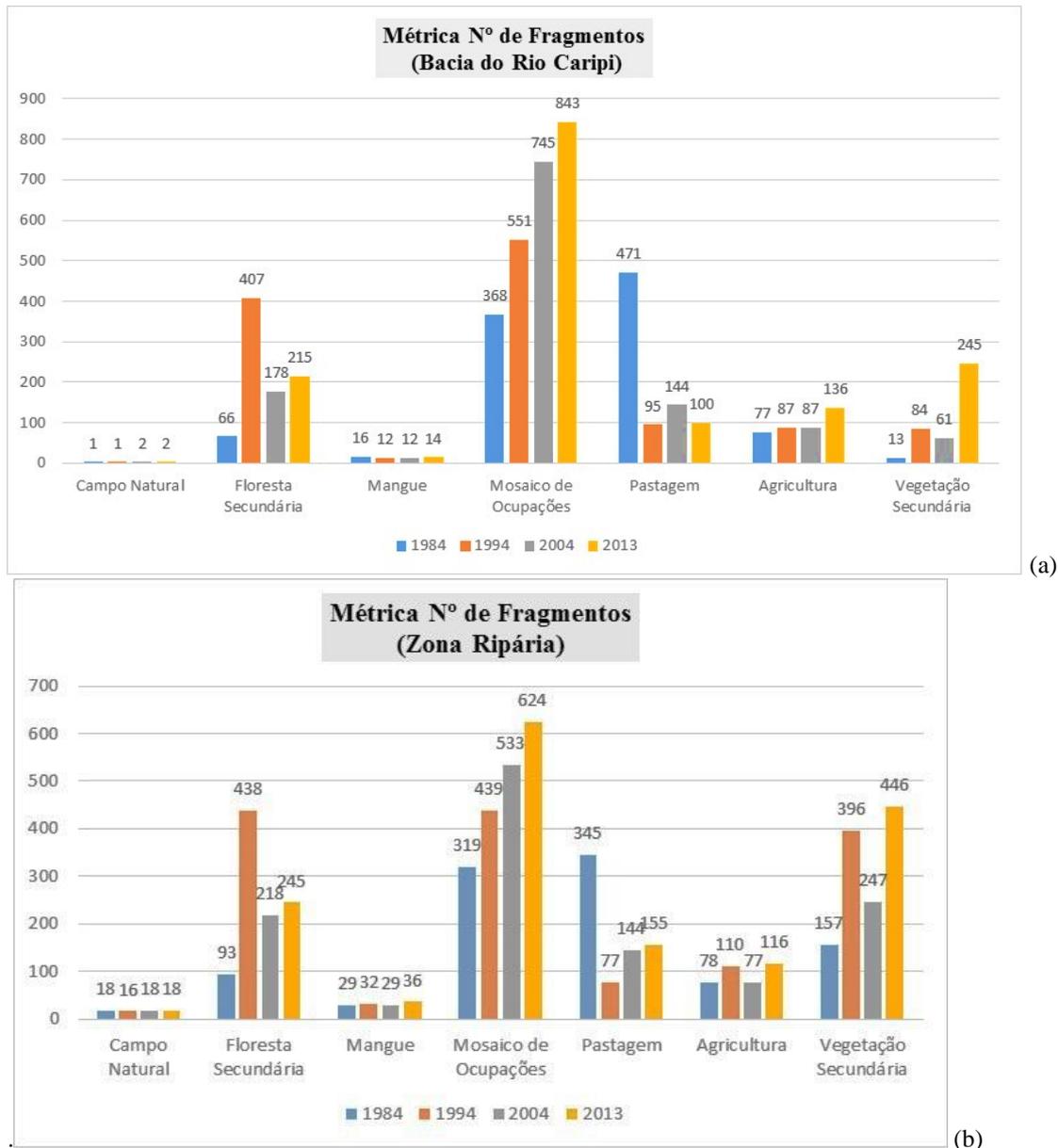


Nota-se que a distância média entre os fragmentos florestais diminuiu quando houve o aumento de áreas florestais no período 1984-1994 e, por outro lado, aumentou quando há a diminuição da área florestal nos períodos subsequentes. Vale destacar que há partir do período citado anteriormente a distância entre os fragmentos na bacia reduziu pela metade, passou de

810 metros para 400 metros aproximadamente. Já na zona ripária a redução foi bem menos expressiva ficando em torno de 40 metros a diferença entre a década de 1980 e a atual.

Com base nos valores de distância descritos, pode-se deduzir que a bacia hidrográfica possui uma fragmentação e isolamento dos fragmentos bem mais expressiva do que na zona ripária, o que pode ser corroborado com as informações das métricas de classes (número de fragmentos e índice de conectância) (LI et al., 2005). A partir da aplicação da métrica número de fragmentos foi possível obter uma configuração quantitativa dos fragmentos da área de estudo (bacia e zona ripária), os quais variaram no tempo (Figura 22).

Figura 22 - Métrica Número de Fragmentos aplicado para a (a) Bacia Hidrográfica; (b) Zona Ripária.



Considerando os valores obtidos nota-se que a dinâmica de uso e ocupação da terra está ligada às classes de floresta e vegetação secundária e às atividades agropecuárias e de habitação/infraestrutura. Outra questão diz respeito ao aumento do número de fragmentos de floresta secundária no ano de 1994, o que revela que o aumento de área de floresta secundária na bacia e na zona ripária, detectado naquele ano, ocorreu a partir do aumento do número de fragmentos florestais e não necessariamente pela expansão da área de fragmentos florestais sobre áreas de vegetação secundária.

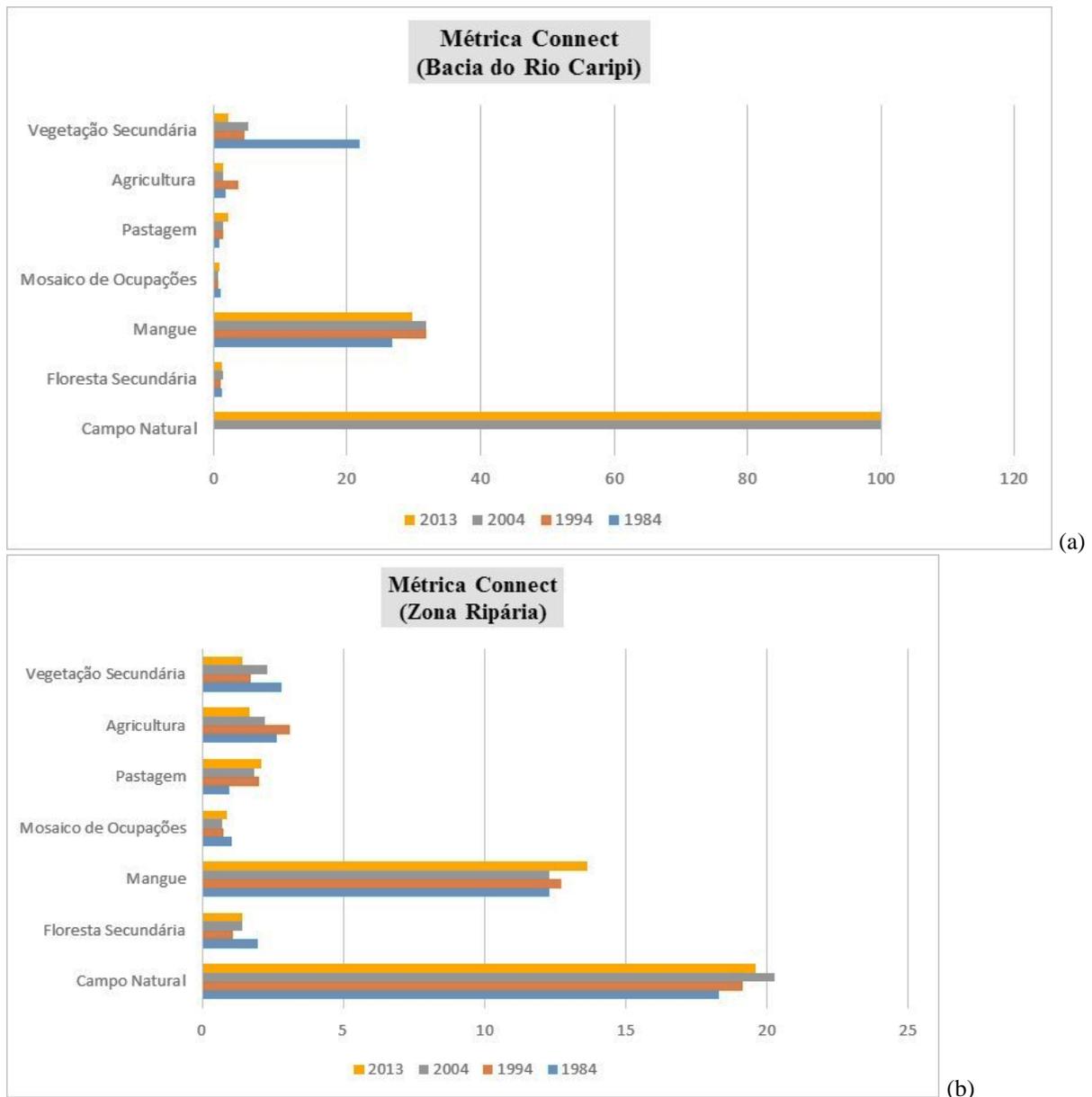
Assim, a perda de área de floresta secundária detectada em 2004 ocorreu sobre metade dos fragmentos florestais detectados em 1994, os quais podiam se encontrar com perturbação na sua coesão espacial e/ou isolados dos demais fragmentos de floresta.

O isolamento é um problema que afeta tanto a biodiversidade dos fragmentos florestais como a sua permanência/perenidade (HOCTOR et al., 2008; CASIMIRO, 2009). A métrica índice de conectância (connect) viabiliza identificar o percentual de manchas de determinada classe conectadas segundo uma dada distância (MCGARIGAL; MARKS, 1994). Nesse sentido, a partir do valor de 810 metros, que era a distância média entre fragmentos florestais para a bacia hidrográfica no ano de 1984, foi realizada a aplicação da referida métrica e encontrado os valores da Tabela 6 e Figura 23.

Tabela 8 - Valores da Métrica Índice de Conectância.

(a) Bacia Hidrográfica	<i>1984</i>	<i>1994</i>	<i>2004</i>	<i>2013</i>
Campo Natural	0	0	100	100
Floresta Secundária	1,3054	1,1377	1,4473	1,2084
Mangue	26,6667	31,8182	31,8182	29,6703
Mosaico de Ocupações	0,9714	0,7563	0,6747	0,7827
Pastagem	0,9486	1,5006	1,3889	2,0808
Agricultura	1,7088	3,6087	1,4167	1,4052
Vegetação Secundária	21,7949	4,7045	5,1366	2,1445
(b) Zona Ripária	<i>1984</i>	<i>1994</i>	<i>2004</i>	<i>2013</i>
Campo Natural	18,3007	19,1667	20,2614	19,6078
Floresta Secundária	1,9635	1,0867	1,4163	1,4219
Mangue	12,3153	12,7016	12,3153	13,6508
Mosaico de Ocupações	1,0351	0,7302	0,7237	0,8936
Pastagem	0,9606	2,0164	1,826	2,0947
Agricultura	2,6307	3,1193	2,2215	1,6792
Vegetação Secundária	2,8254	1,7057	2,2942	1,441

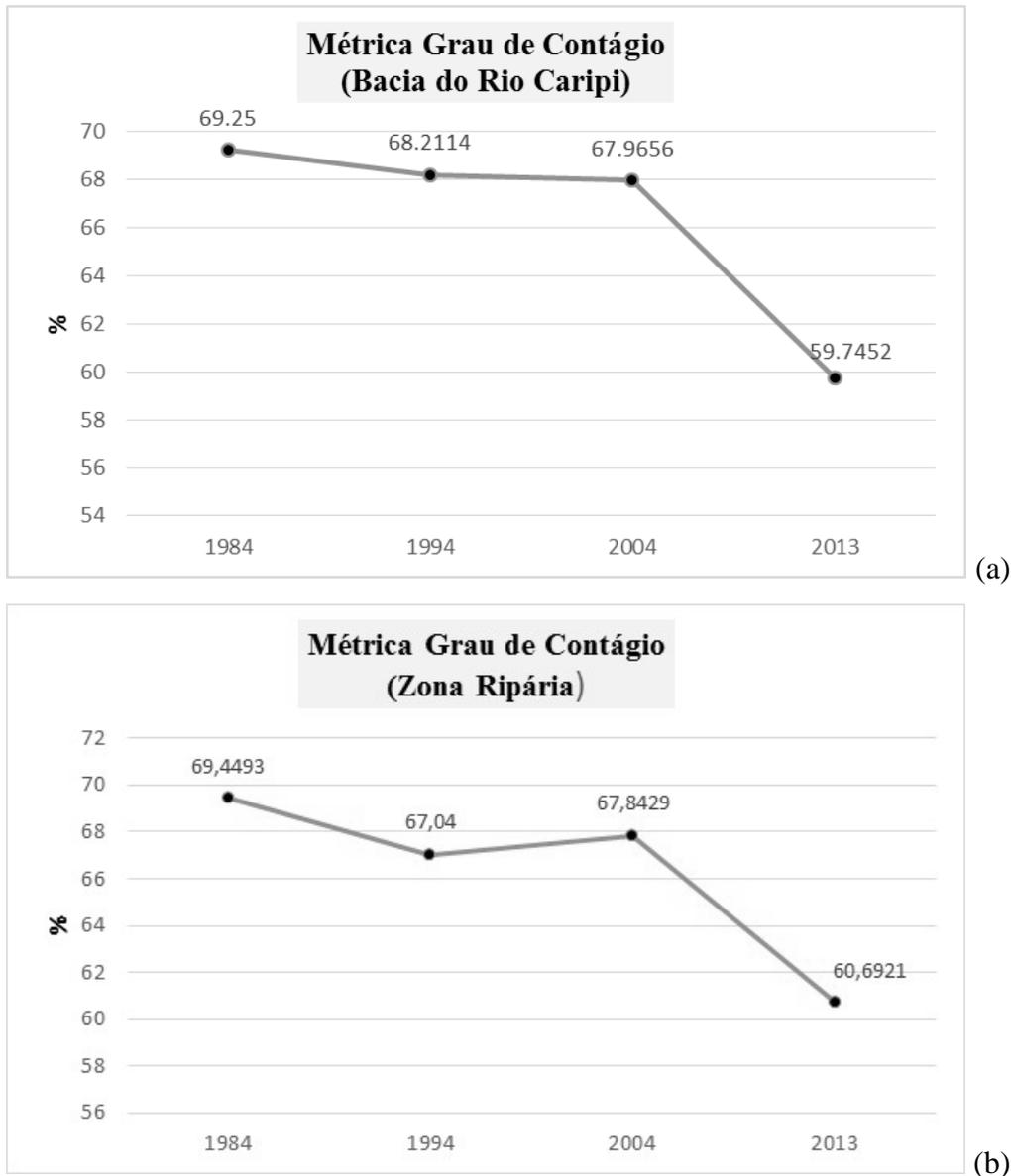
Figura 23 - Métrica Índice de Conectância aplicada para a (a) Bacia Hidrográfica; (b) Zona Ripária.



As classes de campo natural e mangue possuem alta conectância, segundo o observado, o que não ocorre para as demais classes, pois as mesmas tem perdido conectância ao longo das décadas analisadas. Em relação à floresta secundária, a mesma ficou com uma conectância em torno de 1,5% de fragmentos conectados para cada ano analisado tanto na bacia como na zona ripária. Esta métrica revela o grande isolamento que há em fragmentos de várias classes e, principalmente, realçando o fenômeno da fragmentação florestal que afetou e afeta a área de estudo.

Por fim, com a aplicação da métrica grau de contágio (CONTAG), foi possível avaliar a dinâmica temporal da conectividade geral da paisagem de estudo (Figura 24).

Figura 24 - Métrica Grau de Contágio aplicada para a (a) Bacia Hidrográfica; (b) Zona Ripária.



A métrica revela que a paisagem já esteve com percentual de quase 70% de conectividade entre as classes, sendo que tal percentual tem sido reduzido ao longo das décadas, o que está diretamente relacionado ao aumento do número de fragmentos em algumas classes e da distância entre a mesmas. Assim, a análise da fragmentação florestal deve levar em consideração as métricas voltadas para a análise de vizinhança e de heterogeneidade, pois as mesmas produzem informação que permitem deduzir se o referido problema ocorreu (TURNER, 2005; PENG et al., 2010; ROSSI; VAN HALDER, 2010). Os mapeamentos multitemporais de uso e cobertura da terra e a aplicação das métricas (distância ao vizinho mais próximo, conectância, número de fragmentos e contiguidade) confirmaram

que a fragmentação florestal é um problema histórico e que ainda afeta a dinâmica da paisagem em estudo.

5.3 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ESCOAMENTO

A Figura 25 ilustra a distribuição da precipitação na bacia, segundo os dados do TRMM. E a Figura 26 a avaliação comparativa com as estações convencionais.

Figura 25 - Carta de distribuição da precipitação pluviométrica a partir dos dados TRMM.

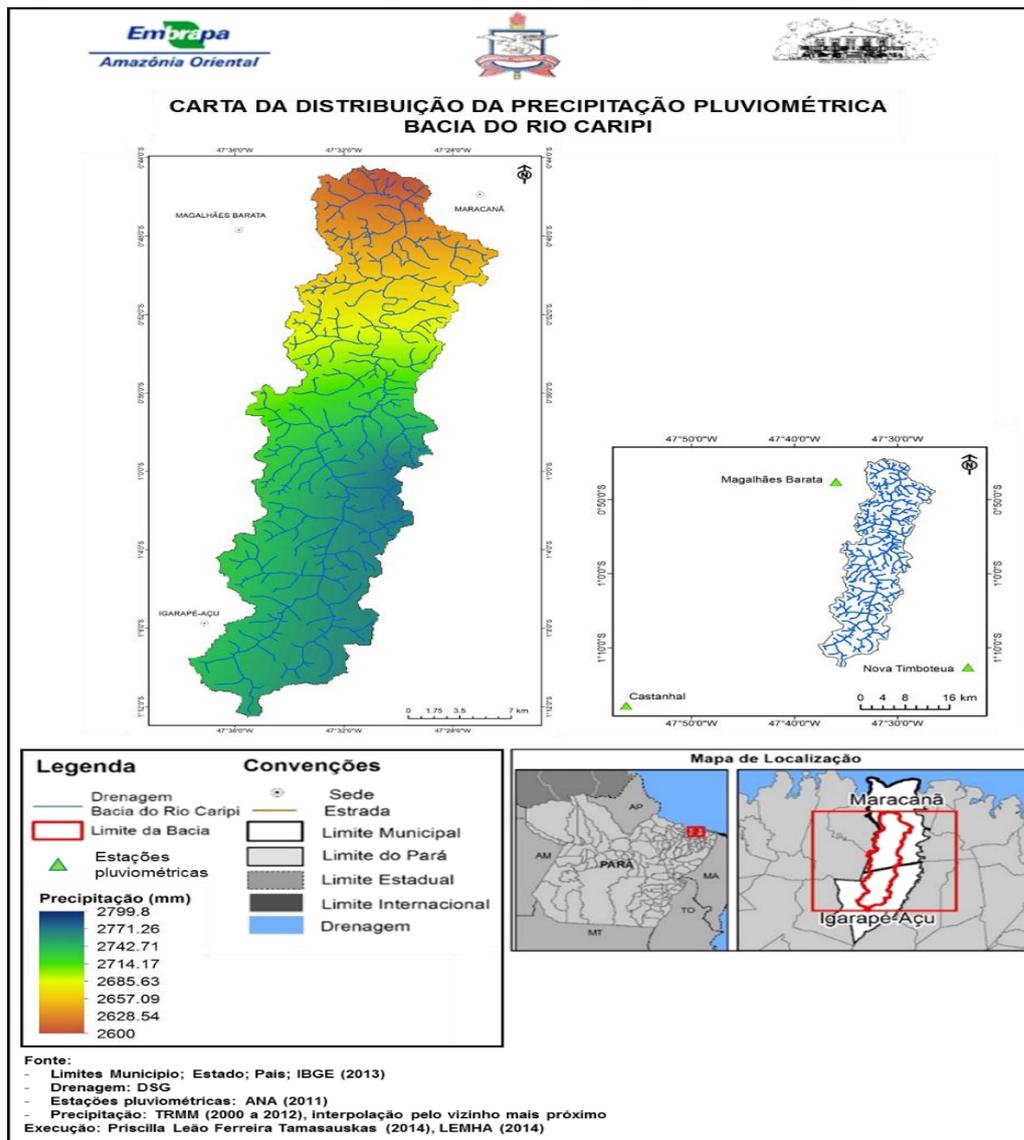
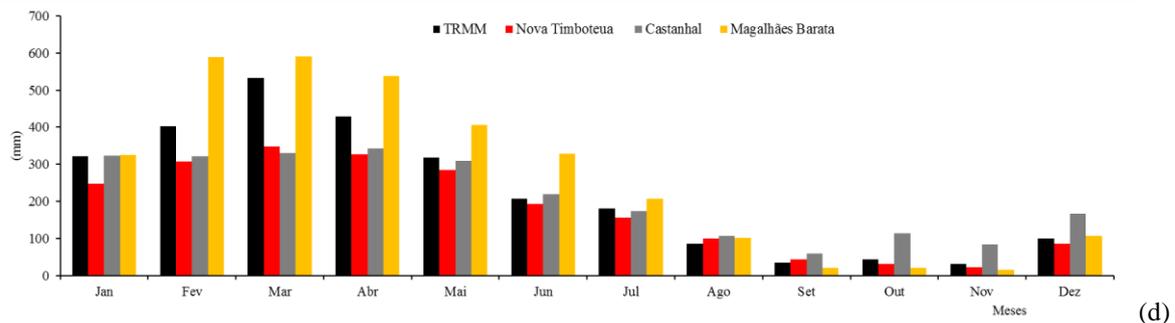
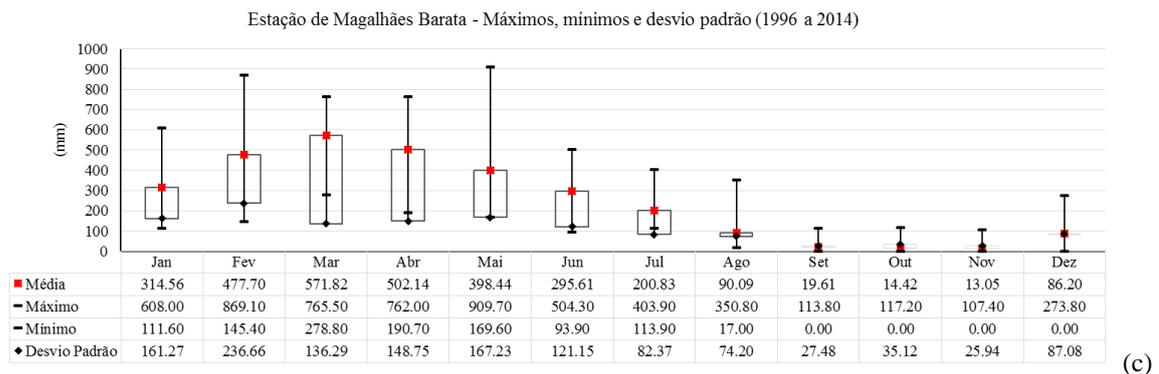
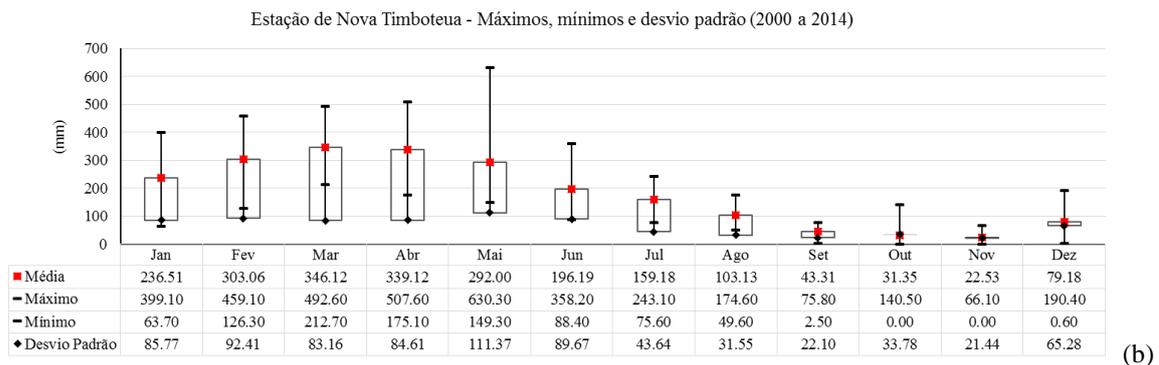
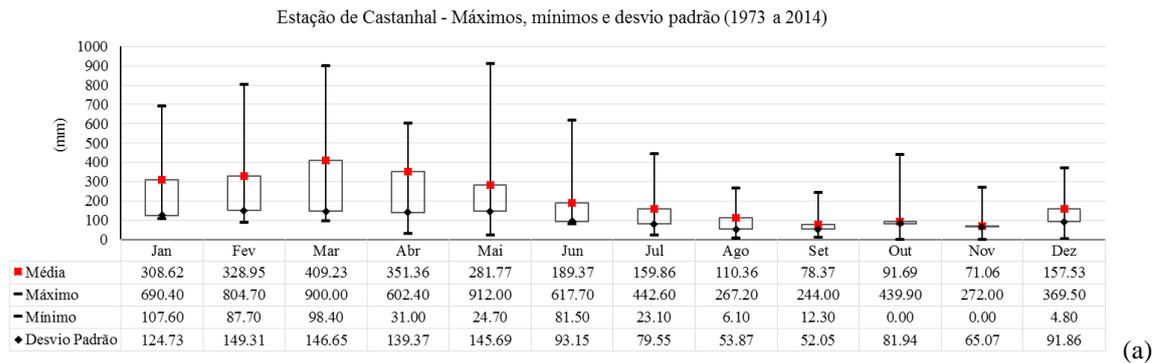


Figura 26 - Distribuição da precipitação: (a) Estação de Castanhal (1073-2013); (b) Estação de Nova Timboteua (2000 a 2013); (c); (d) Análise comparativa com os dados do TRMM, no período de 2000 a 2012.



O comportamento da precipitação pluviométrica na região marca o trimestre chuvoso de fevereiro a abril e o menos chuvoso de setembro a novembro. A maior concentração de chuvas está na região sul-sudeste e a menor a norte. Pelo modelo grado pelo TRMM o máximo de precipitação é superior a 2700 mm. Os dados das estações mostram uma variação, que pelos períodos diferentes, mostrando em geral que o TRMM superestimou. Média do

acumulado anual do período: Estação de Nova Timboteua cod. 147019 (2000 - 2014) de 2082.90 mm; Estação de Castanhal cod. 147007 (1973-2014) de 1889.00 mm; e Estação de Magalhães Barata cod. 47007 (1996 - 2014) de 2739.90 mm.

Na caracterização do escoamento optou-se por um mês de transição (junho) e a maior série histórica de dados (Estação de Castanhal), de forma a contemplar todo o período avaliado, estando compatível com o proposto por Melesse e Shih (2002) e Mantovani et al. (2013).

Os mapas de estimativa de escoamento para os anos de 1984, 1994, 2004 e 2013 demonstraram que os menores valores de escoamento superficial foram para as classes de mangue e floresta secundária, significando que as mesmas são responsáveis por promover a manutenção do recurso hídrico dentro do sistema (bacia do rio Caripi), pois apresentam alta capacidade de retenção hídrica do solo (Figuras 27 a 30).

Considerando a importância das áreas classificadas como floresta secundária para as zonas ripárias (Tabela 5), admite-se que estas representam uma área variável de afluência (AVA) que segundo Attanasio et al. (2012) correspondem a uma zona com saturação hídrica com dinâmica dependente da quantidade e intensidade das precipitações a qual está sujeita. A estimativa do comportamento do escoamento (Q) proposta reforça essa relação, que pode ser também observada a partir das diferentes formas de uso e cobertura do solo, conforme discutido por Latha et al. (2012) e Gitik e Ranjan (2014), que aplicam o método Curva Número para caracterização do comportamento do escoamento.

É importante salientar que as classes mangue e campo natural não são descritas pelo método curva-número, uma vez que ambas representam ambientes naturais com características próprias da região amazônica, portanto, estas foram enquadradas como sendo pertencentes às classes de floresta e pastagens/campos permanentes. Sabe-se que o mangue tem como característica principal a presença de umidade elevada no solo, logo, a água precipitada pouco conseguiria ser infiltrada, em função do manguezal possuir solos saturados hidricamente, o que elevaria certamente suas taxas de escoamento superficial e que a classe campo natural apresenta comportamento hidrológico diferente do que o encontrado nas estimativas a seguir. Nesse sentido, fazemos uma ressalva acerca desses resultados para a classe de mangue e campo natural.

Figura 27 - Mapa de escoamento superficial, referência - 1984.

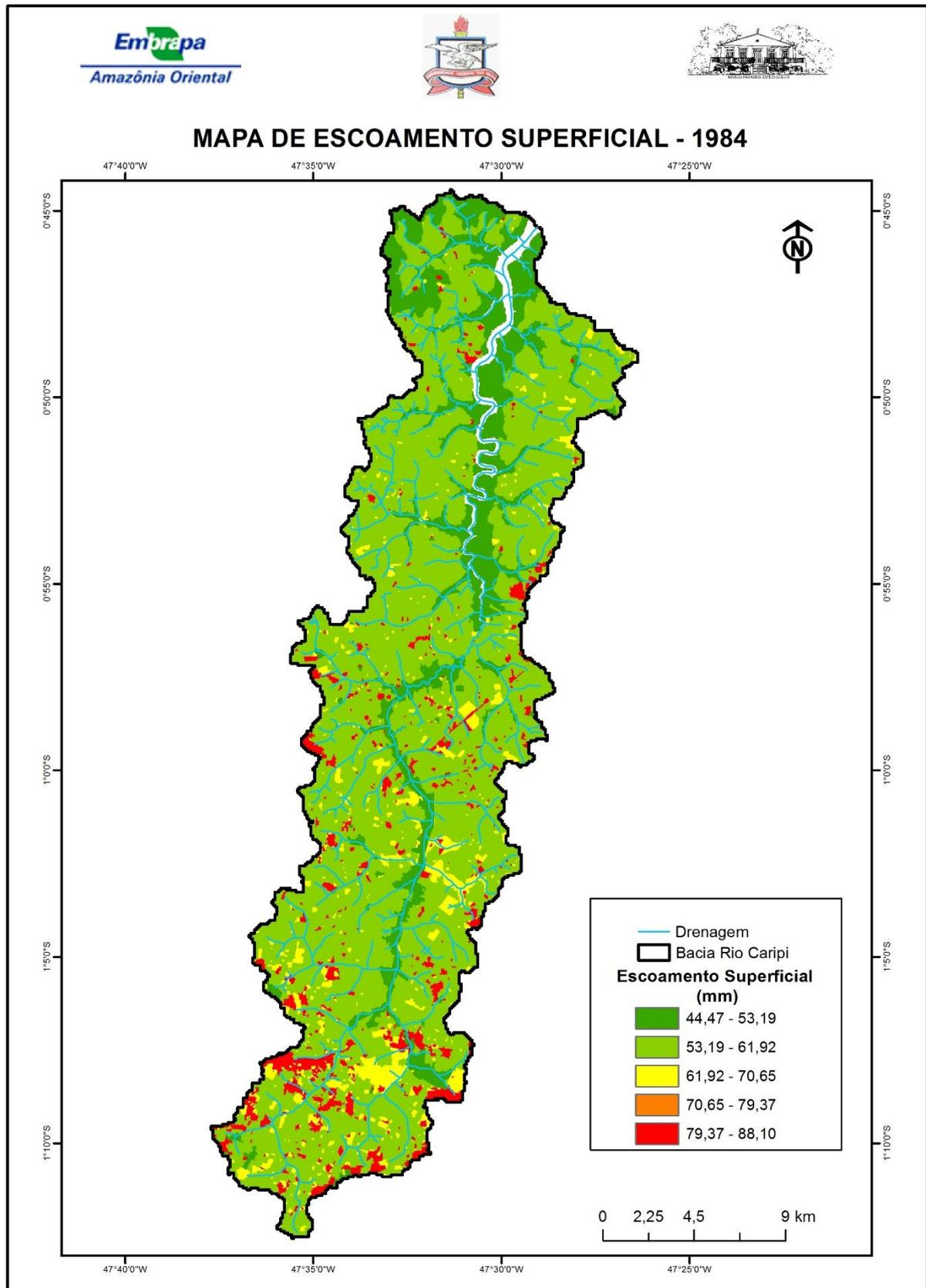


Figura 28 - Mapa de escoamento superficial, referência - 1994.

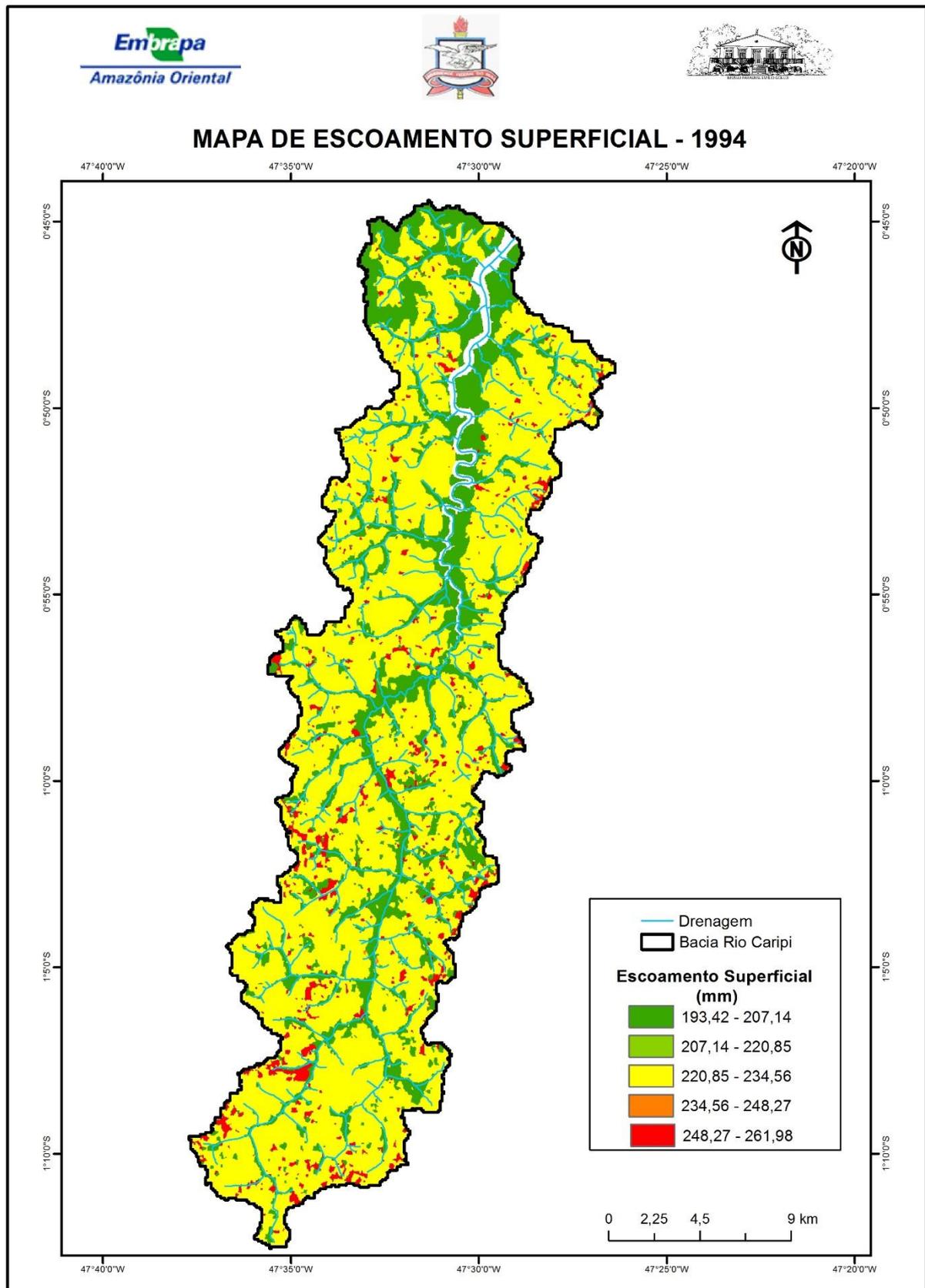


Figura 29 - Mapa de escoamento superficial, referência - 2004.

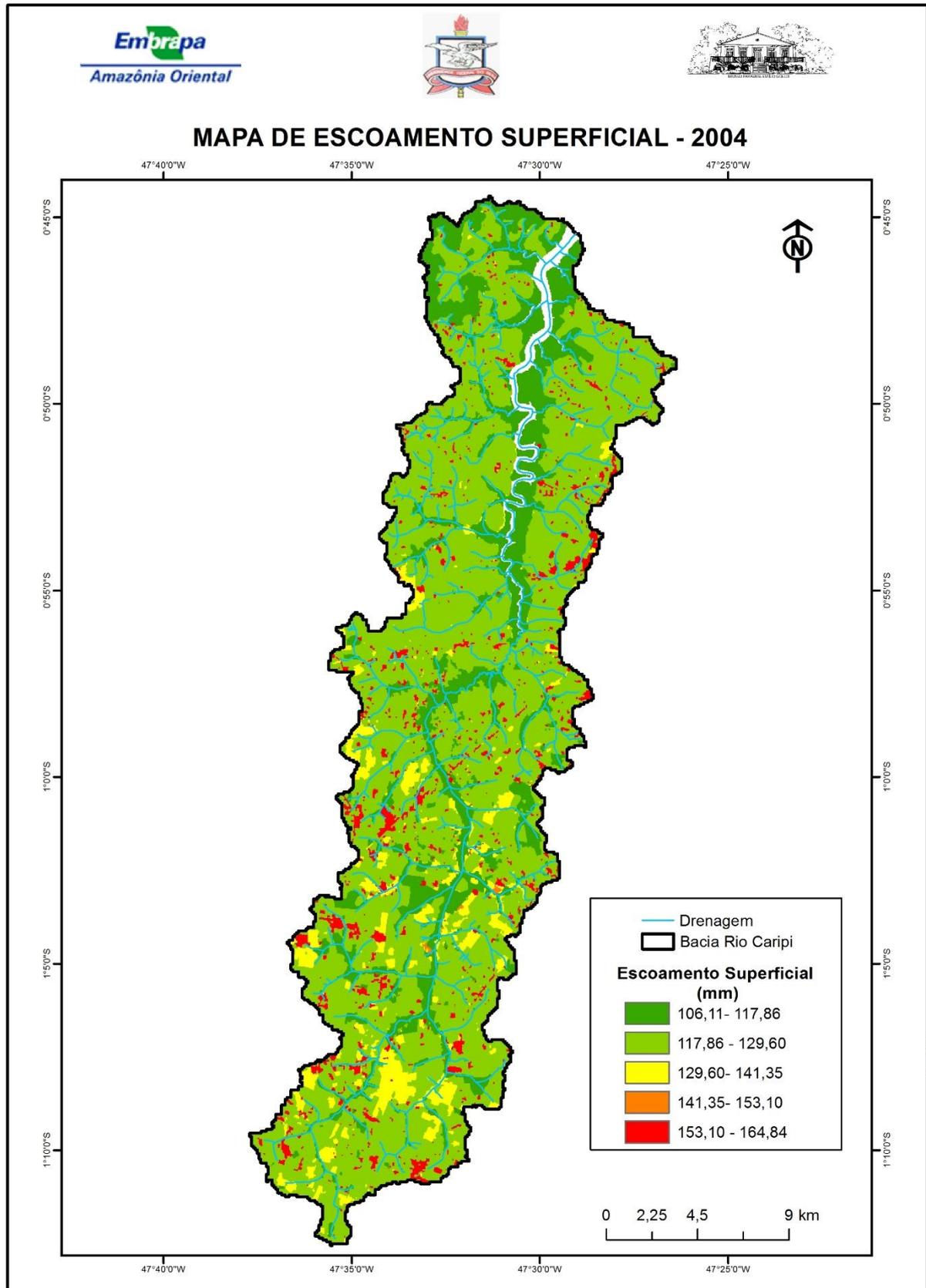
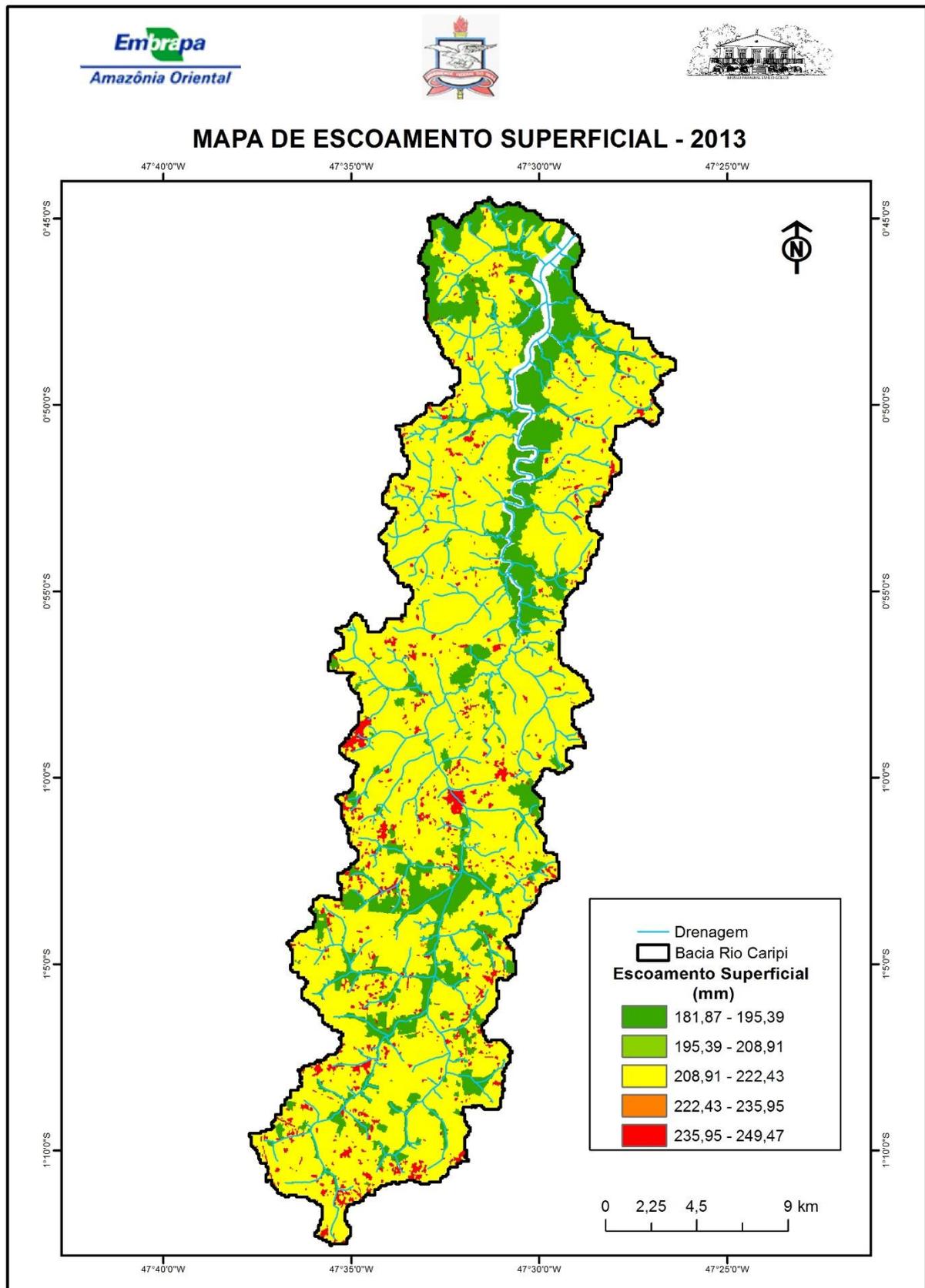


Figura 30 - Mapa de escoamento superficial, referência - 2013.



A vegetação secundária possui um comportamento de escoamento intermediário, denotando que tal classes também possuem grande potencial de retenção hídrica. Os maiores valores de escoamento ocorrem nas classes de mosaicos de ocupações, seguidas de agricultura e pastagens, já que as mesmas devido às intensas formas de uso possuem pouca cobertura vegetal com estratos mais desenvolvidos (arbustivos e arbóreos), além de apresentarem maior compactação do solo/densidade, o que dificulta o processo de infiltração da água precipitada.

A seguir, tem-se a tabela 7 com os valores de escoamento superficial para os anos de 1984, 1994, 2004 e 2013. Em Setembro/1994 a classe vegetação secundária apresentou majoritariamente valores de escoamento entre 4,05 e 6,78 mm, porém observou-se a ocorrência de pequenas manchas espalhadas que denotam escoamentos maiores, entre 12,25 e 14,98 mm.

Importante ressaltar que a vegetação secundária apesar de fazer parte do mesmo intervalo de escoamento superficial no qual encontram-se também as classes de pastagem e agricultura em Março/Junho/Setembro em 1994, Março/Setembro em 2004, Março/Junho/Setembro de 2013, a mesma apresenta valores próximos do limiar mínimo, enquanto que as demais classes apresentam valores próximos do limiar máximo, o que significa que na vegetação secundária os valores de escoamento superficial são inferiores aos de pastagem e agricultura.

Áreas florestais em muitas bacias hidrográficas na Amazônia apresentam paisagens fragmentadas (OLIVEIRA FILHO e METZGER, 2006) que podem induzir consequências hidrológicas (TRAMBLAY et al., 2010; SUN; SEGURA, 2013). A remoção de floresta em geral produz uma vasta gama de respostas hidrológicas (ZIEGLER et al., 2004). Uma das mais comuns é um aumento escoamento, onde dependendo da paisagem fragmentada existe uma diferenciação da capacidade para infiltrar água da chuva (ZIEGLER et al., 2000).

Tabela 9– Estimativa de escoamento superficial segundo as classes de uso e cobertura da terra (1984, 1994, 2004 e 2013)

Ano/Mês	1984			1994			2004			2013		
	Mar	Jun	Set	Mar	Jun	Set	Mar	Jun	Set	Mar	Jun	Set
Classes de Uso e Cobertura da terra												
Campo Natural	435,59 a 454,96 mm	44,47 a 53,19 mm	11,13 a 17,72 mm	783,82 a 800,97 mm	193,42 a 207,14 mm	1,31 a 4,05 mm	366,96 a 382,48 mm	106,11 a 117,86 mm	6,84 a 11,47 mm	272,69 a 287,41 mm	181,87 a 195,39 mm	1,31 a 4,05 mm
Floresta Secundária	435,59 a 454,96 mm	44,47 a 53,19 mm	11,13 a 17,72 mm	783,82 a 800,97 mm	193,42 a 207,14 mm	1,31 a 4,05 mm	366,96 a 382,48 mm	106,11 a 117,86 mm	6,84 a 11,47 mm	272,69 a 287,41 mm	181,87 a 195,39 mm	1,31 a 4,05 mm
Mangue	435,59 a 454,96 mm	44,47 a 53,19 mm	11,13 a 17,72 mm	783,82 a 800,97 mm	193,42 a 207,14 mm	1,31 a 4,05 mm	366,96 a 382,48 mm	106,11 a 117,86 mm	6,84 a 11,47 mm	272,69 a 287,41 mm	181,87 a 195,39 mm	1,31 a 4,05 mm
Mosaico de Ocupações	493,71 a 513,08 mm	79,37 a 88,10 mm	30,9 a 37,49 mm	852,40 a 869,55 mm	248,27 a 261,98 mm	4,05 a 6,78 mm	429,06 a 444,58 mm	153,10 a 164,84 mm	25,37 a 30 mm	331,59 a 346,32 mm	235,95 a 249,47 mm	12,25 a 14,98 mm
Pastagem	474,33 a 493,71 mm	61,92 a 70,65 mm	17,72 a 24,31 mm	818,11 a 835,26 mm	220,85 a 234,56 mm	4,05 a 6,78 mm	398,01 a 413,53 mm	129,60 a 141,35 mm	16,11 a 20,74 mm	302,14 a 316,87 mm	208,91 a 222,43 mm	4,05 a 6,78 mm
Agricultura	474,33 a 493,71 mm	61,92 a 70,65 mm	17,72 a 24,31 mm	818,11 a 835,26 mm	220,85 a 234,56 mm	4,05 a 6,78 mm	398,01 a 413,53 mm	129,60 a 141,35 mm	11,47 a 16,11 mm	302,14 a 316,87 mm	208,91 a 222,43 mm	1,31 a 4,05 mm
Vegetação Secundária	454,96 a 474,33 mm	53,19 a 61,92 mm	17,72 a 24,31 mm	818,11 a 835,26 mm	220,85 a 234,56 mm	4,05 a 6,78 mm*	398,01 a 413,53 mm	117,86 a 129,60 mm	11,47 a 16,11 mm	302,14 a 316,87 mm	208,91 a 222,43 mm	1,31 a 4,05 mm

6 CONCLUSÕES

Tendo como base que o objetivo principal do trabalho em tela era analisar as mudanças de uso e cobertura da terra e os seus impactos sobre a cobertura florestal e o escoamento superficial da bacia hidrográfica do rio Caripi, foi possível concluir que esta bacia apresenta avançado grau de fragmentação florestal no médio e alto curso, em especial nas áreas de nascentes, devido à intensa dinâmica de uso e ocupação da região, marcada, historicamente, por alterações e remoções da cobertura vegetal, que no caso em específico da área de estudo, afeta diretamente as áreas de florestas ripárias, as quais exercem uma contribuição positiva para a manutenção do potencial hídrico de uma bacia hidrográfica.

A afirmação supracitada é embasada nas respostas obtidas através da execução dos objetivos específicos propostos aqui, os quais demandaram a utilização de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, bem como a aplicação de métricas de paisagem e do método Curva-Número, indispensáveis no presente trabalho para que todos fossem alcançados, tais como, identificação e mapeamento das mudanças de uso e cobertura da terra, análise da fragmentação florestal e avaliação do escoamento superficial mediante os impactos das classes de uso e cobertura da terra.

A adoção das métricas de paisagem, para a análise da fragmentação florestal, permitiu quantificar esta relação e estabelecer uma ligação com uma estimativa do potencial de escoamento da bacia pela adoção do método Curva-Número, onde se observou uma alta correlação entre as variáveis da dinâmica do uso da terra e de estrutura da paisagem.

A aplicação da ferramenta de modelagem hidrológica HEC-GeoHMS, acoplada ao SIG ArcGis e associado ao método Curva-Número, modelou de forma satisfatória o comportamento do escoamento superficial da bacia do rio Caripi, apesar deste método não levar em consideração as características do mangue e do campo natural. Os resultados estão principalmente atrelados à capacidade de retenção hídrica das classes de uso e cobertura da terra e das características pedológicas existentes na área de estudo, uma vez que pelo fato do relevo ser predominantemente plano a ação gravitacional é minimizada.

Sendo assim, entende-se que a pesquisa em questão conseguiu obter resultados satisfatórios para cada objetivo específico e, em vista disso, pressupõe-se que a metodologia utilizada pode ser replicada em outros trabalhos que visem avaliar os efeitos do uso e cobertura da terra em bacias hidrográficas fragmentadas e na resposta hidrológica de escoamento superficial das mesmas.

Levando-se em consideração que existe uma deficiência de monitoramento hidrológico das pequenas e médias bacias hidrográficas da região amazônica, principalmente nas bacias costeiras que são sujeitas aos efeitos das marés, há uma demanda por formas de estimativa e avaliação do comportamento hidrológico que possibilitem prever as mudanças decorrentes do processo de uso e cobertura da terra. A metodologia utilizada para gerar informações sobre o escoamento superficial da bacia do Rio Caripi é um exemplo de modelagem hidrológica que pode ser replicada para outras áreas de estudo.

A análise da fragmentação florestal em áreas sensíveis como as zonas ripárias e a relação de tal processo de fragmentação com as classes de uso e cobertura da terra pode fornecer elementos importantes na elaboração de uma concepção da proteção dos recursos hídricos nas bacias, bem como focalizar bacias mais sujeitas à degradação, onde as calhas dos rios estariam vulneráveis a processos erosivos, por exemplo. Assim, tal metodologia permite identificar áreas onde existe grande potencial de risco ambiental, podendo assim ser utilizada como medida de planejamento ambiental de bacias hidrográficas rurais e urbanas.

Por fim, na bacia do rio Caripi observou-se que a tendência de mudança dos elementos de maior influência na paisagem existe há no mínimo três décadas, em que as perdas no potencial de abastecimento hídrico são observadas pelos registros de campo e também pela modelagem hidrológica. Logo, é de grande importância a manutenção de cada ambiente componente da paisagem, tanto representativo das formas de cobertura quanto de uso, para garantia das condições de escoamento e para a conversão deste em vazão ou recarga subterrânea.

REFERÊNCIAS

- ABELL, R.; ALLAN, J.D.; LEHNER, B. Unlocking the potential of protected areas for freshwaters. **Biological Conservation**, v. 134, n. 1, p. 48-63, 2007.
- ADAM, K. N., COLLISCHONN, W. Análise dos impactos de mudanças climáticas nos regimes de precipitação e vazão na bacia hidrográfica do rio Ibicuí. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 18, n. 3, p. 69-79, 2013.
- ALBUQUERQUE, M. F.; SOUZA, E. B.; OLIVEIRA, M. C. F.; SOUZA JUNIOR, J. A. Precipitação nas mesorregiões do estado do Pará: climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 6, n. 6, p. 151-168, 2010.
- ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 1, p. 46-57, 2010.
- ARAUJO, J. C.; GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. **Journal des Sciences Hydrologiques**, v. 51, n. 1, p. 157-170, 2006.
- ASNER, G. P.; KELLER, M.; PEREIRA, R.; ZWEEDE, J. C. Remote sensing of selective logging in Amazonia Assessing limitations based on detailed field observations, Landsat ETM+, and textural analysis. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, p. 483-496, 2002.
- ATTANASIO, C. M.; GANDOLFI, S.; ZAKIA, M. J. B.; VENIZIANI JUNIOR, J. C. T.; LIMA, W. P. A importância das áreas ripárias para a sustentabilidade hidrológica do uso da terra em microbacias hidrográficas. **Bragantia**, v. 71, n. 4, p. 493-501, 2012.
- BACCINI, A.; GOETZ, S. J.; WALKER, W. S.; LAPORTE, N. T.; SUN, M.; SULLAMENASHE, D.; HACKLER, J.; BECK, P. S. A.; DUBAYAH, R.; FRIEDL, M. A.; SAMANTA, S.; HOUGHTON, R. A. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. **Nature Climate Change**, v. 2, p. 182-185, 2012.

BALBINOT, R.; OLIVEIRA, R. K.; VANZETTO, S. C.; PEDROSO, K.; VALERIO, A.F. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Revista Ambiência**, v. 4, n. 1, p. 131-149, 2008.

BÄRLUND, I.; KIRKKALA, T.; MALVE, O.; KÄMÄRI, J. Assessing the SWAT model performance in the evaluation of management actions for the implementation of the water framework directive in a Finnish catchment. **Environmental Modelling & Software**, v. 22, n. 5, p. 719-24, 2007.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: GUERRA, S. J. T; SILVA, A. BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010, 340p.

BRASIL. Áreas de preservação permanente. **Revista de Audiência Pública do Senado Federal**, v. 2, n. 9, 2011, p. 55-73.

BRASIL. Lei Nº **12.651 de 25 de maio de 2012**. Presidência da República, Brasília, 2012.

CALIL, P. M.; OLIVEIRA, L. F. C.; KLIEMANN, H. J.; OLIVEIRA, V. A. Caracterização geomorfométrica e do uso do solo da Bacia Hidrográfica do Alto Meia Ponte, Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 433-442, 2012.

CAMARA, G. *et al.* **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: SP, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>. Acesso em: 10 jul. 2015.

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.

CARVALHO, M. E. S. Vulnerabilidade hídrica na bacia sergipana do rio vaza barris. **RA'E'GA**, v. 25, p. 186-217, 2012.

CASIMIRO, P. C. Estrutura, composição e configuração da paisagem, conceitos e princípios para a sua quantificação no âmbito da ecologia da paisagem. **Revista Portuguesa de Estudos Regionais**, n. 20, p. 75-97, 2009.

_____. Uso do Solo – Ecologia da Paisagem: perspectivas de uma nova abordagem do estudo da paisagem em geografia. **Revista GeoInova**, n. 2, p. 45-66, 2000.

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento remoto e processamento digital de imagens**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2009, 209 p.

CHAGAS, G. F. B.; SILVA, V. P. R.; COSTA, A. C. L.; DANTAS, V. A. Impactos da redução da pluviometria na biomassa aérea da Floresta amazônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 72-79, 2012.

COE, M. T.; LATRUBESSE, E. M.; FERREIRA, M. E.; AMSLER, M. L. The effects of deforestation and climate variability on the streamflow of the Araguaia River, Brazil. **Biogeochemistry**, v. 105, n. 1-3, p. 119-131, 2011.

COELHO, V. H. R.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ALMEIDA, C. N.; LIMA, E. R. V.; RIBEIRO NETO, A. MOURA, G. S. S. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 64-72, 2014.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo hidrologia**. Porto Alegre-RS: UFRS, 2008, 151p.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Simulação hidrológica de grandes bacias. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 1, p. 95-118, 2001.

CONNECTICUT RIVER JOINT COMMISSIONS - CRJC. Introduction to riparian buffers. **Bulletin of River Banks and Buffers**, n. 1, p. 1-4, 2001.

DANIEL, E. B.; CAMP, J. V.; LEBOEUF, E. J.; PENROD, J. R.; DOBBINS, J. P.; ABKOWITZ, M. D. Watershed modeling and its applications: A state-of-the-art review. **The Open Hydrology Journal**, v. 5, p. 26-50, 2011.

DOWNER, C. W.; OGDEN, F. L. GSSHA: A model for simulating diverse streamflow generating processes. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 9, n. 3, p. 161-74, 2004.

FARIAS, C. A. F.; RIOS, M. L.; ROCHA, A. A. Uso da terra e degradação ambiental na sub-bacia do riacho do Quirino – Caculé/BA. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.16, p.215-233, 2013.

FERREIRA, R. A.; AGUIAR NETO, A. O.; SANTOS, T. I. S.; SANTOS, B. L.; MATOS, E. L. Nascentes da sub-bacia hidrográfica do rio Poxim, estado de Sergipe: da degradação à restauração. **Revista Árvore**, v. 35, n. 2, p. 265-277. 2011.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002, 97p.

FORMAN, R. T. T. Some general principles of landscape and regional ecology. **Landscape Ecology**, v. 10, n. 3, p. 133-142, 1995.

FREITAS, W. K.; MAGALHÃES, L. M. S. Métodos e parâmetros para estudo da vegetação com ênfase no estrato arbóreo. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 4, p. 520-540, 2012.

GITIK, T.; RANJAN, S. Estimation of Surface Runoff using NRCS Curve number procedure in Buriganga Watershed, Assam, India - A Geospatial Approach. **International Research Journal of Earth Sciences**, v. 2, n. 5, p. 1-7, 2014.

GOMES, N. M.; FARIA, M. A.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; VIOLA, M. R. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo associados ao uso e ocupação da paisagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 4, p. 427-435, 2007.

HARPER, K. A.; MACDONALD, S. A.; BURTON, P. J.; CHEN, J.; BROSOFSKE, K. D.; SAUNDERS, S. C.; EUSKIRCHEN, E. S.; ROBERTS, D.; MALANDING, S. J.; PER-ANDERS, E. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. **Conservation Biology**, v. 19, p. 768-782, 2005.

HOCTOR, T. S.; ALLEN, W. L.; CARR, M. H.; ZWICK, P. D.; HUNTLEY, E.; SMITH, D. J.; MAEHR, D. S.; BUCH, R.; HILSENBECK, R. Land corridors in the southeast USA: connectivity to protect biodiversity and ecosystem services. **J. Conservation Planning**, v. 4, p. 90-122, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção Agrícola Nacional – Anos de 2004 e 2012**. Disponível em: <http://downloads.ibge.gov.br/downloads_estatisticas.htm>. Acesso em: 22 out. 2015.

_____. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro-RJ: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012, 271 p.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009, 590 p.

KENNEDY, R. E.; YANG, Z.; COHEN, W. B. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr - Temporal segmentation algorithms. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p. 2897-2910, 2011.

KENT, K. M. **A method for estimating volume and rate of runoff in small watersheds**. Washington-DC: U.S. Department of Agriculture Soil Conservations Service, 1973, 64 p.

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

LATHA, M.; RAJENDRAM, M.; MURUGAPPAN, A. Comparison of GIS based SCS-CN and strange table method of rainfall-runoff models for Veeranam Tank, Tamil nadu, India. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, v. 3, n. 10, p. 1-5, 2012.

LEVEY, D. J.; BOLKER, B. M.; TEWKSBURY, J. J.; SARGENT, S.; HADDAD, N. M. Effects of landscape corridors on seed dispersal by birds. **Science**, v. 309, p. 146-148, 2005.

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

LIMA, W. P. Floresta natural protege e estabiliza os recursos hídricos. **Visão Agrícola**, v. 4, p. 30-33, 2005.

_____. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2008, 245p.

LIMA, W. P.; CÂMARA, C. D.; ZÁKIA, M. J. B.; MOSTER, C. Determinação do ano hidrológico visando a quantificação do balanço hídrico em microbacias experimentais. **Circular Técnica IPEF**, v. 197, p. 1-9, 2003.

LIU, X.; LI, J. Application of SCS model in estimation of runoff from small watershed in Loess Plateau of China. **Chinese Geographical Science**, v. 18, n. 3, p. 235-241, 2008.

LLAUSÀS, A.; NOGUÉ, J. Indicators of landscape fragmentation: The case for combining ecological indices and the perceptive approach. **Ecological Indicators**, v. 15, p. 85-91, 2012.

LOPES, M. N. G.; SOUZA, E. B.; FERREIRA, D. B. S. Climatologia regional da precipitação no estado do Pará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 12, p. 84-102, 2013.

MANTOVANI, J. R. A; ALCÂNTARA, E. H.; ROCHA, P. C.; CURTARELLI, M. P.; IMAI, M. N. Estimativa do Escoamento Superficial Distribuído na Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe por meio de Geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 5681-5688.

MARENGO, J. A. International variability of surface climate in the Amazon basin. **International Journal of Climatology**, v. 12, p. 853-863, 1992.

MARENGO, J. A.; DRUYAN, L. M.; HASTENRATH, S. Observation and modeling studies of Amazonia interannual climate variability. **Climate Change**, v.23, p. 267-286, 1993.

MARTINS, D. M. F; CHAGAS, R. M.; MELO NETO, J. O.; MELLO JUNIOR, A. V. Impactos da construção da usina hidrelétrica de Sobradinho no regime de vazões no Baixo São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 10, p. 1054-1061, 2011.

MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **Fragstats**: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Corvallis: Oregon State University, 1994, 67 p.

MELESSE, A. M.; SHIH, S. F. Spatially distributed storm runoff depth estimation using Landsat images and GIS. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 37, n. 1-3, p. 173-183, 2002.

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

MILOVANOVIC, M. Water quality assessment and determination of pollution sources along the Axios/Vardar River, Southeastern Europe. **Desalination**, v. 213, n. 1-3, p. 159-173, 2007.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista de Saúde Pública**, v. 36, n. 3, p. 370-374, 2002.

NEEDHIDASAN, S.; NALLANATHEL, M. Design of storm water drains by rational method – an approach to storm water management for environmental protection. **International Journal of Engineering and Technology**, v. 5, n. 4, p. 3203-3214, 2013.

NEPSTAD, D. C.; STICKLER, C. M.; SOARESFILHO, B. S.; MERRY, F. Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 363, p. 1737-1746, 2008.

NOBRE, A. D.; CUARTAS, L.A.; HODNETT, M.; RENNÓ, C. D.; RODRIGUES, G.; SILVEIRA, A.; WATERLOO, M.; SALESKA, S. Height above the nearest drainage: a hydrologically relevant new terrain model. **Journal of Hydrology**, v. 404, p. 13-29, 2011.

NOWATZKI, A.; SANTOS, L. J. C.; PAULA, E. V. Utilização do SIG na delimitação das áreas de preservação permanente (APP's) na Bacia do Rio Sagrado (Morretes/PR). **Sociedade e Natureza**, v. 22, n. 1, p. 107-120, 2010.

OLIVEIRA FILHO, F. J. B.; METZGER, J. P. Thresholds in landscape structure for three common deforestation patterns in the Brazilian Amazon. **Landscape Ecology**, v. 21, p. 1061-1073, 2006.

PACHÊCO, N. A.; BASTOS, T. X. **Caracterização climática do Município de Tomé Açu**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 18 p.

PARÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. **Estudo técnico para criação de unidades de conservação na categoria RDS “campo das Mangabas” no Município de Maracanã-PA**. Belém, 2013. 118 p.

PARÁ. Secretaria Executiva de Estado de Planejamento, Orçamento e Finanças - SEPOF. **Relatório de estatística municipal Igarapé-Açu**. Belém, 2011a. 47p.

_____. **Relatório de estatística municipal Maracanã**. Belém, 2011b. 46p.

PENG, J.; WANG, Y.; ZHANG, Y.; WU, J.; LI, W.; LI, Y. Evaluating the effectiveness of landscape metrics in quantifying spatial patterns. **Ecological Indicators**, v. 10, p. 217-223, 2010.

PEREIRA, D. R.; ALMEIDA, A. Q.; MARTINEZ, M. A.; ROSA, D. R. Q. Impacts of deforestation on water balance components of a watershed on the Brazilian East Coast. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 4, p. 1350-1358, 2014.

POCEWICZ, A.; NIELSEN-PINCUS, M.; GOLDBERG, C. S.; JOHNSON, M. H.; MORGAN, P.; FORCE, J. E.; WAITS, L. P.; VIERLING, L. Predicting land use change: comparison of models based on landowner surveys and historical land cover trends. **Landscape Ecology**, v. 23, p. 195–210, 2008.

RIBEIRO NETO, A.; SILVA, R. C. V.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Simulação na bacia Amazônica com dados limitados: rio Madeira. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 3, p. 47-58, 2008.

RICHEY, J. E.; BALLESTER, M. V.; DAVIDSON, E. A.; JOHNSON, M. S.; KRUSCHE, A. V. Land-Water interactions in the amazon. **Biogeochemistry**, v. 105, n. 1-3, p. 1-5, 2011.

RIITERS, K. H.; WICKHAM, J. D.; WADE, T. G. An indicator of forest dynamics using a shifting landscape mosaic. **Ecological Indicators**, v. 9, p. 107-117, 2009.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia-MG: Universidade Federal de Uberlândia, 2003, 228 p.

ROSIM, S.; MONTEIRO, A. M. V.; RENNÓ, C. D.; SOUZA, R. C. M.; SOARES, J. V. Terrahidro – uma plataforma computacional para o desenvolvimento de aplicativos para análise integrada de recursos hídricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte-MG: INPE, 2003. p. 2589-2596.

ROSSI, J-P.; VAN HALDER, I. Towards indicators of butterfly biodiversity based on a multiscale landscape description. **Ecological Indicators**, v. 10, p. 452-458, 2010.

ROZANTE, J. R.; MOREIRA, D. S.; GONÇALVES, L. G. G.; VILA, D. A. Combining TRMM and surface observations of precipitation: technique and validation over South America. **American Meteorological Society**, v. 25, n. 3, p. 2589-2596, 2010.

SALEMI, L. F.; GROppo, J. D.; TREVISAN, R.; MORAES, J. M.; LIMA, W. P.; MARTINELLI, L. A. Riparian vegetation and water yield: a synthesis. **Journal of Hydrology**, v. 454-455, n. 6, p. 195-202, 2012.

SAYRE, R.; ROCA, E.; SEDAGHATKISH, G. YOUNG, B.; KEEL, S.; ROCA, R. SHEPPARD, S. **Natureza em foco: Avaliação Ecológica Rápida**. Arlington-Virginia: The Nature Conservancy, 2000, 175p.

SILVA, R. V. Estimativa de largura de faixa vegetativa para zonas ripárias: uma revisão. In: SEMINÁRIO DE HIDROLOGIA FLORESTAL - ZONAS RIPÁRIAS, 1., 2003, Alfredo Wagner. **Anais...** Alfredo Wagner-SC: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA)/UFSC, 2003, p. 74-86.

SILVA, R. V.; KOBAYAMA, M. TOPMODEL: teoria integrada e revisão. **Revista RAÍÇA**, n. 14, p. 97-110, 2007.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2013, 943p.

SOARES FILHO, B. S. **Análise de Paisagem: fragmentação e mudanças**. Belo Horizonte: Departamento de Cartografia, Centro de Sensoriamento Remoto, Instituto de Geociências, UFMG, 1998, 90 p.

SOUZA, E. B.; LOPES, M. N. G.; ROCHA, E. J. P.; SOUZA, J. R. S.; CUNHA, A. C.; SILVA, R. R.; FERREIRA, D. B. S.; SANTOS, D. M.; CARMO, A. M. C.; SOUSA, J. R. A.; GUIMARÃES, P. L.; MOTA, M. A. S.; MAKINO, M.; SENNA, R. C.; SOUSA, A. M. L.; MOTA, G. V.; KUHN, P. A. F.; SOUZA, P. F. S.; VITORINO, M. I. Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 111-124, 2009.

SOUZA, E. B.; ROCHA, E. J. P. Diurnal variation of rainfall in Bragança-PA (eastern Amazon) during rainy season: mean characteristic and extremes events. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3a, p. 142-152, 2006.

SUN, G.; SEGURA, C. Interactions of forests, climate, water resources, and humans in a changing environment: research needs. **British Journal of Environment & Climate Change**. v. 3, n. 2, p. 119-126, 2013.

TRAMBLAY, Y.; BOUVIER, C.; MARTIN, C.; DIDON-LESCOT, J.; TODOROVIC, D.; DOMERGUE, J. Assessment of initial soil moisture conditions for event-based rainfall-runoff modelling. **Journal of Hydrology**, v. 387, n. 3, p. 176-187, 2010.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre-RS: UFRGS, 2005, 680p.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 1, p. 135-152, 1997.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Brasília: MMA, 2006, 302p.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. **Revista Biota Neotropica**, v. 10, n. 4, p. 67-75, 2010.

TURNER, M. G. Landscape ecology: the effect of pattern on process. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 10, p. 171-197, 1989.

_____. Landscape ecology: what is the state of the science? **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v. 36, p. 319-344, 2005.

UUEMA, E.; MANDER, U.; MARJA, R. Trends in the use of landscape spatial metrics as landscape indicators: a review. **Ecological Indicators**, n. 28, p. 100-106, 2013.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Corregó Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 55-64, 2010.

VOGEL, H. F.; ZAWADZKI, C. H.; METRI, R. Florestas ripárias: importância e principais ameaças. **Revista de Saúde e Biologia**, v. 4, n. 1, p. 24-30, 2009.

WALZ, U. Landscape Structure, Landscape Metrics and Biodiversity. **Living Reviews in Landscape Research**, v. 5, n. 3, p. 1-35, 2011.

WATRIN, O. S.; SANTOS, J. R.; VALÉRIO FILHO, M. Análise da dinâmica na paisagem do Nordeste Paraense através das técnicas de geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...** Salvador-BA: INPE, 1996, p. 427-433.

WU, J. Effects of changing scale on landscape pattern analysis, scaling relations. **Landscape Ecology**, v. 19, p. 125-138, 2004.

WU, J.; HOBBS, R. Key issues and research priorities of landscape ecology: an idiosyncratic synthesis. **Landscape Ecology**, v. 17, p. 355-365, 2002.

XAVIER DA SILVA, J.; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004, 145p.

ZAKIA, M. J. B. Delimitação da zona ripária em uma microbacia. **Revista Agrogeoambiental**, v. 1, n. 1, p. 51-61, 2009.

ZHOU, G. Y.; WEI, X. H.; WU, Y. P.; LIU, S. G.; HUANG, Y. H.; YAN, J. H.; ZHANG, D. Q.; ZHANG, Q. M.; LIU, J. X.; MENG, Z.; WANG, C. L.; CHU, G. W.; LIU, S. Z.; TANG, X. L.; LIU, X. D. Quantifying the hydrological responses to climate change in an intact forested small watershed in Southern China. **Global Change Biology**, v. 17, p. 3736-3746, 2011.

ZIEGLER, A. D.; GIAMBELLUCA, T. W.; TRAN, L. T.; VANA, T. T.; NULLET, M. A.; FOX, J. VIEN, T. D.; PINTHONG, J.; MAXWELL, J. F.; EVETT, S. Hydrological consequences of landscape fragmentation in mountainous northern Vietnam: evidence of accelerated overland flow generation. **Journal of Hydrology**, v. 287, p. 124-146, 2004.

ZIEGLER, A. D.; SUTHERLAND, R. A.; GIAMBELLUCA, T. W. Runoff generation and sediment transport on unpaved roads, paths, and agricultural land surfaces in northern Thailand. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 25, n. 5, p. 519-534, 2000.

ANEXOS

ANEXO A

Dados de Lavoura Permanente - Município de Maracanã, anos 2004 e 2013.

Produção	Área destinada à colheita (ha) - 2004	Rendimento médio (Kg/ha) - 2004	Área destinada à colheita (ha) - 2013	Rendimento médio (Kg/ha)- 2013
Banana	2	7500	10	7000
Dendê (côco)	100	15.010	100	11.000
Laranja	10	13300	22	13218
Maracujá	190	10000	12	10000
Pimenta-do-Reino	135	1400	35	4571
Urucum (semente)	*	*	2	500

Fonte: IBGE, Produção Agrícola Nacional, 2004; 2013.

Dados de Lavoura Permanente - Município de Igarapé-Açu, anos 2004 e 2013.

Produção	Área destinada à colheita (ha) - 2004	Rendimento médio (Kg/ha) - 2004	Área destinada à colheita (ha) - 2013	Rendimento médio (Kg/ha) - 2013
Banana	10	11100	6	11000
Borracha (látex coagulado)	44	1250	34	1294
Café (em grão)	4	500	*	*
Dendê (côco)	2500	15.010	4200	11.000
Laranja	34	11000	23	14000
Limão	17	12294	21	12000
Mamão	6	12500	40	15000
Maracujá	700	9000	140	11700
Pimenta-do-Reino	650	2500	1200	3250
Urucum (semente)	15	733	25	800

Fonte: IBGE, Produção Agrícola Nacional, 2004; 2013.

Dados de Lavoura Temporária - Município de Maracanã, anos 2004 e 2013.

Produção	Área destinada à colheita (ha) - 2004	Rendimento médio (Kg/ha) - 2004	Área destinada à colheita (ha) - 2013	Rendimento médio (Kg/ha) - 2013
Mandioca	764	10000	1000	10000
Milho	410	700	230	600
Feijão	360	700	160	700
Arroz	170	700	32	500
Melancia	60	18000	110	18000
Malva	46	1000	*	*

Fonte: IBGE, Produção Agrícola Nacional, 2004; 2013.

Dados de Lavoura Temporária - Município de Igarapé-Açu, anos 2004 e 2013.

Produção	Área destinada à colheita (ha) - 2004	Rendimento médio (kg/ha) - 2004	Área destinada à colheita (ha) - 2013	Rendimento médio (kg/ha) - 2013
Mandioca	750	12000	1200	15000
Feijão	300	900	300	900
Milho	120	1000	200	1100
Melancia	12	18000	10	18000

Fonte: IBGE, Produção Agrícola Nacional, 2004; 2013.

Dados de Produção Animal - Município de Maracanã, anos 2004 e 2013.

Produção	Quantidade - 2004	Quantidade - 2013
Bovinos	3280 cabeças	3306 cabeças
Suínos	130 cabeças	45 cabeças
Equinos	240 cabeças	72 cabeças
Asininos	12 cabeças	-
Muare	40 cabeças	-
Bubalinos	10 cabeças	11 cabeças
Ovinos	150 cabeças	167 cabeças
Galináceos	18520 cabeças	10145 cabeças
Caprinos	100 cabeças	50 cabeças
Vacas ordenhadas	335 cabeças	24 cabeças
Aquicultura - Tambaqui	-	4000 Kg

Fonte: IBGE, Produção da Pecuária Municipal, 2004; 2013.

Dados de Produção Animal - Município de Igarapé-Açu, anos 2004 e 2013.

Produção	Quantidade - 2004	Quantidade - 2013
Bovinos	16509 cabeças	21345 cabeças
Suínos	298 cabeças	392 cabeças
Equinos	510 cabeças	430 cabeças
Asininos	20 cabeças	-
Muare	40 cabeças	-
Bubalinos	141 cabeças	36 cabeças
Ovinos	886 cabeças	62 cabeças
Galináceos (total)	349870 cabeças	898400 cabeças
Caprinos	221 cabeças	394 cabeças
Vacas ordenhadas	816 cabeças	529 cabeças
Aquicultura-Alevinos	-	1000 Kg
Aquicultura-Tambaqui	-	8000 Kg
Aquicultura-Tilápia	-	3000 Kg

Fonte: IBGE, Produção da Pecuária Municipal, 2004; 2013.

Dados de Extração Vegetal e Silvicultura - Município de Maracanã, anos 2004 e 2013.

Produção	Quantidade - 2004	Quantidade - 2004
Madeiras (carvão vegetal)	78 toneladas	51 toneladas
Madeiras (lenha)	26300 m ³	18000 m ³
Açaí (fruto)	*	8 toneladas

Fonte: IBGE, Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura, 2004; 2013.

Dados de Extração Vegetal e Silvicultura - Município de Igarapé-Açu, anos 2004 e 2013.

Produção	Quantidade - 2004	Quantidade - 2013
Madeiras (carvão vegetal)	140 toneladas	50 toneladas
Madeiras (lenha)	24100 m ³	15000 m ³
Açaí (fruto)	-	19 toneladas

Fonte: IBGE, Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura, 2004; 2013.

ANEXO B

Valores de CN para diversas situações de cobertura vegetal e tipos de solos.

Uso do solo	Superfície	Tipo de solo			
		A ¹	B ²	C ³	D ⁴
Solo lavrado	– Com Sulcos Retilíneos	77	86	91	94
	– Em Fileiras Retas	70	80	87	90
Plantações regulares	– Em Curvas De Nível	67	77	83	87
	– Terraceamento Em Nível	64	76	84	88
	– Em Fileiras Retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	– Em Curvas De Nível	62	74	82	85
	– Terraceamento Em Nível	60	71	79	82
	– Em Fileiras Retas	62	75	83	87
Plantações de legumes	– Em Curvas De Nível	60	72	81	84
	– Terraceamento Em Nível	57	70	78	89
	– Pobres	68	79	86	89
	– Normais	49	69	79	94
	– Boas	39	61	74	80
Pastagens	– Pobres, Em Nível	47	67	81	88
	– Normais, Em Nível	25	59	75	83
	– Boas, Em Nível	6	35	70	79
Campos permanentes	– Normais	30	58	71	78
	– Esparsos, Baixa Transpiração	45	66	77	83
	– Normais	36	60	73	79
	– Densas, Alta Transpiração	25	55	70	77
Chacaras, estradas de terra	– Normais	56	75	86	91
	– Más	72	82	87	89
	– Superfície Dura	74	84	90	92
Florestas	– Muito Esparsas, Baixa Transpiração	56	75	86	91
	– Esparsas	46	68	78	84
	– Densas, Alta Transpiração	26	52	62	69
	– Normais	36	60	70	76

¹ Grupo A: são aqueles que produzem pequeno escoamento e alta infiltração, caracterizados por altos teores de areia, pequenos teores de silte e argila e profundos;

² Grupo B: menos permeáveis que os solos da categoria A, ainda sendo arenosos, porém, menos profundos;

³ Grupo C: solos que geram escoamento superficial superior ao solo B, com capacidade de infiltração média a baixa, percentual mais elevado de argila e pouco profundos;

⁴ Grupo D: solos pouco profundos, com baixa capacidade de infiltração e presença de argilas expansivas, com maior capacidade para geração do escoamento.