



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**GUSTAVO FRANCESCO DE MORAIS DIAS**

**AS MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA E O COMPORTAMENTO  
HIDROLÓGICO DA BACIA DO RIO CAPIM**

**BELÉM-PA  
2018**

**GUSTAVO FRANCESCO DE MORAIS DIAS**

**AS MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA E O COMPORTAMENTO  
HIDROLÓGICO DA BACIA DO RIO CAPIM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Pará-UFPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Amazônia Oriental-EMBRAPA e Museu Paraense Emílio Goeldi-MPEG, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais

Área de Concentração: Clima e dinâmica socioambiental na Amazônia.

Orientadora: Dr<sup>a</sup>. Aline Maria Meiguins de Lima

**BELÉM-PA  
2018**

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)  
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

---

Dias, Gustavo Francesco de Moraes, 1992-

As mudanças no uso e cobertura da terra e o comportamento hidrológico da bacia do rio Capim / Gustavo Francesco de Moraes Dias. – 2018.

93 f. : il. ; 30 cm Inclui

bibliografias

Orientadora: Aline Maria Meiguins de Lima

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2018.

1. Solo - Uso - Pará. 2. Mudanças paisagísticas - Pará. 3. Florestas - Conservação – Pará. 4. Hidrologia – Pará. I. Título.

CDD 22. ed.: 333.7313098115

---

Elaborada por  
Lucia de Fátima Imbiriba de Sousa CRB-  
2/652

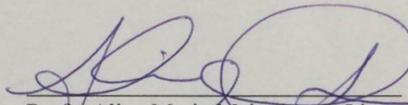
GUSTAVO FRANCESCO DE MORAIS DIAS

AS MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA E O COMPORTAMENTO  
HIDROLÓGICO DA BACIA DO RIO CAPIM

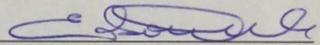
Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com o Museu Paraense Emílio Goeldi e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Data de aprovação: 09/ 04 / 2018

Banca Examinadora:



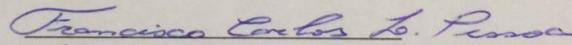
Profa. Aline Maria Meiguins de Lima - Orientadora  
Doutora em Desenvolvimento Sustentável do Trópico  
Úmido  
Universidade Federal do Pará



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



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



Prof. Francisco Carlos Lira Pessoa – Avaliador Externo  
Doutor em Engenharia de Recursos Naturais da  
Amazônia  
Universidade Federal do Pará

Aos meus pais **Raimundo** e **Arioneide**,  
por sempre me apoiarem e acreditarem em mim.

As minhas irmãs **Jullyana** e **Clarysse**,  
por serem minhas melhores amigas.

A minha namorada **Brena**,  
por estar ao meu lado me apoiando durante as dificuldades.

Ao meu filho **Noah**,  
por me motivar por meio do seu sorriso a sempre continuar.

Obrigado por me ajudarem nessa caminhada.

**Dedico este trabalho**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar forças e me iluminar nos momentos que eu mais precisei na minha vida.

Aos meus pais, Raimundo e Arioneide, que sempre me apoiaram, aconselharam e, principalmente, por serem os meus melhores amigos.

As minhas irmãs, Clarysse e Jullyana, por terem sido muito importantes na minha caminhada.

A minha namorada Brena, que sempre foi compreensiva durante o mestrado e por ter me apoiado e incentivado em todos os momentos, sempre me lembrando que eu era capaz.

Ao meu filho Noah, por ser a maior benção da minha vida.

A minha orientadora Dr. Aline Maria Meiguins de Lima, por ter me direcionado para o caminho correto na execução desse estudo e, principalmente, pelas lições aprendidas e ajudas nesse curto período.

Ao meu orientador da graduação Dr. Adriano Sousa, pelo incentivo a sempre continuar buscando conhecimento.

A todos os meus amigos que de alguma forma contribuíram nessa etapa da minha vida, por meio de momentos de descontração, conselhos e incentivos.

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro e bolsa concedida que possibilitou a realização desse estudo e ao LEMHA pelo suporte para a pesquisa.

"Estamos em risco de nos destruir por conta de nossa cobiça e estupidez. Não podemos permanecer olhando para dentro de nós em um planeta pequeno e crescentemente poluído e superpovoado."

(Stephen Hawking)

## RESUMO

As implicações ocasionadas pelas mudanças no uso e cobertura da terra afetam o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas; neste contexto, insere-se a bacia do rio Capim localizada no nordeste do Estado do Pará. O estudo teve como objetivo relacionar o comportamento da vazão com as mudanças no uso e cobertura da terra da bacia, para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2014. Para isso, utilizou-se os dados de uso e cobertura da terra do projeto TerraClass, a fim de se identificar a proporção das classes na bacia e nas APP's; para avaliação do comportamento hidrológico analisou-se a vazão média mensal e os trimestres de maior e menor vazão, além da espacialização e o comportamento da precipitação no período de 1983 a 2014. Os resultados indicam uma redução na classe floresta para a bacia do rio Capim, e aumento das classes pastagem e agricultura, porém nas APP's identificou-se um aumento da classe floresta no período 2004 a 2014. Obteve-se uma alta correlação, tanto para os usos e coberturas de toda a bacia como para somente as APP's dos recursos hídricos, entre as classes floresta e pastagem com as vazões do rio Capim. A análise da paisagem da bacia mostrou um aumento da fragmentação florestal, sendo que as métricas com maior correlação com o comportamento da vazão foram as métricas de borda total (TE) da floresta, índice de agregação (AI) da pastagem e índice de intercalação e justaposição (IJI) e AI da agricultura; indicando que a fragmentação da cobertura florestal da bacia e ampliação das áreas destinadas a pastagens tem obtido reflexo no comportamento da vazão.

Palavras-chave: Estudo da paisagem. Vazão. Áreas de preservação permanente.

## **ABSTRACT**

The implications of changes in land use and land cover affect the hydrological behavior of river basins; In this context, the catchment area of the Capim River located in the northeast of the State of Pará is inserted. The objective of this study was to relate the flow behavior with changes in land use and land cover for the years 2004, 2008, 2010 and 2014. For this, land use and land cover data from the TerraClass project was used to identify the proportion of the classes in the basin and in the APPs; for the evaluation of the hydrological behavior the average monthly flow and the quarters of higher and lower flow were analyzed, besides the spatialization and the behavior of the precipitation in the period from 1983 to 2014. The results indicate a reduction in the forest class for the Capim river basin , and an increase in the pasture and agriculture classes, but in the APPs an increase of the forest class was identified in the period from 2004 to 2014. There was a high correlation, both for the uses and coverages of the whole basin and for only the APPs of the resources between the forest and pasture classes with the flows of the Capim river. The analysis of the basin landscape showed an increase in forest fragmentation, and the metrics with the highest correlation with the flow behavior were total forest edge (TE) metrics, pasture aggregation index (AI) and intercalation index, and juxtaposition (IJI) and AI of agriculture; indicating that the fragmentation of the forest cover of the basin and expansion of the areas destined to pasture has been reflected in the behavior of the flow.

**Keywords:** Landscape study. Flow rate. Permanent preservation areas.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Espacialização das regiões homogêneas (RH) de chuva e histogramas da distribuição temporal da chuva por regiões homogêneas na Amazônia Oriental.....	20
Figura 2 - Localização da bacia do rio Capim no Estado do Pará.....	25
Figura 3 - Sub-bacias da bacia do rio Capim .....	26
Figura 4 - Uso e cobertura da terra na bacia do rio Capim até a estação Badajós.....	38
Figura 5 - Uso e cobertura da terra na bacia do rio Capim até a estação Fazenda Maringá.....	39
Figura 6 - Proporção das áreas de uso e cobertura da terra nos anos de 2004, 2008, 2010 e 2014, para o EF Badajós.....	41
Figura 7 - Proporção das áreas de uso e cobertura da terra nos anos de 2004, 2008, 2010 e 2014, para o EF Maringá. ....	42
Figura 8 - APP's dos recursos hídricos das regiões EF Badajós e EF Maringá.....	46
Figura 9 - Proporção das áreas de uso e cobertura da terra das APP's nos anos de 2004, 2008, 2010 e 2014, para a região EF Badajós. ....	47
Figura 10 - Proporção das áreas de uso e cobertura da terra das APP's nos anos de 2004, 2008, 2010 e 2014, para a região EF Maringá.....	47
Figura 11 - Extração de minério no rio Ararandeua.....	51
Figura 12 - Métricas de paisagem para a região EF Badajós: Número de fragmentos (NP); Índice de maior fragmento (LPI); Total de bordas (TE); Densidade de bordas (ED); Índice de intercalação e justaposição (IJI); Índice de Agregação (AI).....	53
Figura 13 - Métricas de paisagem para a região EF Maringá: Número de fragmentos (NP); Índice de maior fragmento (LPI); Total de bordas (TE); Densidade de bordas (ED); Índice de intercalação e justaposição (IJI); Índice de Agregação (AI).....	54
Figura 14 - Média mensal acumulada da precipitação para bacia do rio Capim: período 1983 a 2014. ....	59
Figura 15 - Anomalia de precipitação para bacia do rio Capim.....	61
Figura 16 - Distribuição espacial da média anual acumulada da precipitação.....	63
Figura 17 - Distribuição espacial da média mensal acumulada da precipitação de janeiro, fevereiro, março e abril.....	64
Figura 18 - Distribuição espacial da média mensal acumulada da precipitação pluviométrica de maio, junho, julho e agosto.....	65
Figura 19 - Distribuição espacial da média mensal acumulada da precipitação de setembro, outubro, novembro e dezembro. ....	66

Figura 20 - Vazão média mensal das estações Badajós e Fazenda Maringá (série histórica de 1983-2014).....	67
Figura 21 - Vazão média anual das estações Badajós e Fazenda Maringá.....	68
Figura 22 - Vazão média dos trimestres de maior e menor vazão das estações Badajós e Fazenda Maringá.....	69
Figura 23 - Precipitação e vazão média na bacia do rio Capim. ....	70
Figura 24 - Regressão linear entre o trimestre de maior vazão e o de menor vazão e a floresta da bacia do rio Capim. a) Trimestre de maior vazão e a cobertura de floresta b) Trimestre de menor vazão e a cobertura de floresta.....	72
Figura 25 - Regressão linear entre o trimestre de maior vazão e o de menor vazão e a floresta das APP's dos recursos hídricos da bacia do rio Capim. a) Trimestre de maior vazão e a cobertura de floresta b) Trimestre de menor vazão e a cobertura de floresta. .	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classes, descrição e reclassificação do TerraClass. ....	27
Tabela 2 - Dimensões mínimas de faixa marginal a serem preservadas .....	28
Tabela 3 - Métricas de paisagem utilizadas no estudo. ....	29
Tabela 4 - Classificação dos ENOS no período de 1983 a 2014. ....	32
Tabela 5 - Estações fluviométricas utilizadas no estudo. ....	34
Tabela 6 - Áreas do uso cobertura da terra na bacia do rio Capim até a estação Badajós. ....	40
Tabela 7 - Áreas do uso cobertura da terra na bacia do rio Capim até a estação Fazenda Maringá. .....	41
Tabela 8 - Áreas do uso cobertura da terra das APP's dos recursos hídricos na bacia do rio Capim até a estação Badajós.....	48
Tabela 9 - Áreas do uso cobertura da terra das APP's dos recursos hídricos na bacia do rio Capim até a estação Fazenda Maringá.....	48
Tabela 10 - Matriz de correlação entre as áreas das classes de uso e cobertura da bacia e a média anual e médias dos trimestres de maior e menor vazão.....	71
Tabela 11 - Matriz de correlação entre o uso e cobertura das APP's dos recursos hídricos e a média anual e médias dos trimestres de maior e menor vazão. ....	73
Tabela 12 - Matriz de correlação entre as métricas de paisagem da bacia e a média anual e médias dos trimestres de maior e menor vazão. Número de fragmentos (NP); Índice de maior fragmento (LPI); Total de bordas (TE); Densidade de bordas (ED); Índice de intercalação e justaposição (IJI); Índice de Agregação (AI).....	75

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AI – Índice de Agregação

ANA – Agência Nacional de Águas

APP's – Áreas de Preservação Permanente

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

ED – Densidade de bordas

ENOS – El Niño-Oscilação Sul

GPPC – Global Precipitation Climatology Centre

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IJI – Índice de intercalação e justaposição

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

ION – Índice Oceânico do Niño

LANDSAT – Land Remote Sensing Satellite

LPI – Índice de maior fragmento

NOOA – National Oceanic and Atmospheric Administration

NP – Número de fragmentos

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

SIG – Sistemas de Informações Geográficas

SNIRH – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

TE – Total de bordas

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1	<b>Problema</b> .....	16
1.2	<b>Hipótese</b> .....	16
1.3	<b>Objetivo</b> .....	16
1.3.1	Objetivo geral .....	16
1.3.2	Objetivos específicos .....	17
1.4	<b>Contexto interdisciplinar da pesquisa</b> .....	17
2	<b>Referencial teórico</b> .....	18
2.1.1	Bacias hidrográficas e o ciclo hidrológico .....	18
2.1.2	Os ENOS e o comportamento chuva - vazão .....	19
2.1.3	Uso e cobertura da terra e análise da paisagem .....	21
3	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	25
3.1	<b>Área de estudo</b> .....	25
3.2	<b>Caracterização do uso e cobertura da terra da bacia</b> .....	27
3.2.1	Delimitação das Áreas de Preservação Permanente (APP's) .....	28
3.3	<b>Métricas de paisagem</b> .....	29
3.4	<b>Análise do comportamento hidrológico</b> .....	31
3.4.1	Caracterização pluviométrica da bacia do rio Capim .....	31
3.4.2	Análise dos eventos El Niño e La Niña .....	32
3.4.3	Caracterização fluviométrica .....	34
3.5	<b>Associação entre o uso e cobertura da terra e a vazão do rio Capim</b> .....	35
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	37
4.1	<b>Evolução temporal do uso e cobertura da terra nas sub-bacias do rio Capim</b> .....	37
4.2	<b>Evolução temporal do uso e cobertura da terra nas APP's das sub-bacias do rio Capim</b> .....	45
4.3	<b>Análise das métricas da paisagem para as sub-bacias bacias</b> .....	52
4.4	<b>Análise da precipitação</b> .....	59
4.5	<b>Análise da vazão</b> .....	67
4.6	<b>Relação entre o uso e cobertura da terra e a vazão</b> .....	71
4.7	<b>Relação entre o uso e cobertura das APP's dos recursos hídricos e a vazão</b> .....	73
4.8	<b>Relação entre as métricas de paisagem e a vazão</b> .....	74
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	77

<b>6</b>	<b>FONTES DE FINANCIAMENTO .....</b>	<b>79</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>80</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Meirelles Filho (2014) afirma que caso o número médio de hectares desmatados nos últimos 50 anos na Amazônia fossem divididos pela população brasileira, obter-se-ia a cifra de 0,396 ha/capita (3.960 m<sup>2</sup>). Apesar disso, os índices de desmatamento monitorados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) vêm diminuindo consideravelmente a partir de 2004, nesse ano foi detectado cerca de 27.772 km<sup>2</sup>, já no ano de 2014 a taxa de desmatamento foi de 5.012 km<sup>2</sup>, a menor taxa de desmatamento nesse período foi no ano de 2012 cerca de 4.571 km<sup>2</sup> (INPE, 2018).

Segundo Rivero et al. (2009) e Oliveira et al. (2011) o recente aumento do desmatamento na Amazônia é ocasionado principalmente pelas atividades agropecuárias, criação de gado e plantação de soja, que se expandem seguindo à lógica da econômica privada. Fearnside e Graça (2009) e Matricardi et al. (2010) afirmam que podem estar relacionados a supressão vegetal na Amazônia são a extração madeireira e a criação e distância de rodovias. Esse cenário de alterações antropogênicas tem ocasionado uma grande fragmentação florestal e ocupação irregular das áreas de preservação permanente (APP's) dos recursos hídricos da região amazônica (BIZZO; FARIAS, 2017). De acordo com Davidson et al. (2012) e Brienen et al. (2015) o desmatamento além de reduzir a flora amazônica prejudica a sua capacidade de atuar como sumidouro de carbono e afeta a manutenção do ciclo hidrológico.

Diversos estudos (TUCCI; CLARKE, 1997; COSTA et al., 2003; FOLEY et al., 2005; COE et al., 2009; VANZELA et al., 2010; SANTOS et al., 2010; DIAS et al., 2015; ARAÚJO; PONTE, 2016; SOUZA-FILHO et al., 2016; SOUZA et al., 2017b) já comprovaram a relação entre o uso e cobertura da terra e o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas, esses identificaram que mudanças na cobertura vegetal influenciam diretamente na evapotranspiração, infiltração, escoamento superficial e qualidade da água. Logo, a troca de uma cobertura por outra certamente alterará o comportamento hidrológico das bacias, influenciando diretamente no comportamento das vazões.

Outro problema relacionado as mudanças no uso e cobertura da terra é que os usos agrícolas e de pastagem vem crescendo muito, a exemplo da região do nordeste paraense, e essas atividades começaram a se estabelecer em área próximas aos cursos d'água. Logo, estas e outras atividades exercem pressão sobre áreas de vegetação ciliar ou ripária, as quais são fundamentais para a proteção dos recursos hídricos (ABRÃO; KUERTEN, 2016). Com a supressão da vegetação ciliar essas áreas ficam mais sujeitas aos processos erosivos, perda de solos, assoreamento de canais e redução da biodiversidade (BOTELHO; SILVA, 2011).

Logo, visando identificar possíveis modificações no uso e cobertura da terra e as suas dinâmicas no nordeste paraense, este estudo tomou como base a bacia hidrográfica do rio Capim. Esta apresenta aproximadamente 37.485 km<sup>2</sup>, abrangendo principalmente os municípios de Paragominas, Rondon do Pará, Ipixuna do Pará, Goianésia do Pará e São Domingos do Capim. A bacia do rio Capim foi escolhida como área de estudo pois: a) alguns municípios inseridos na bacia apresentam altos níveis de desmatamento (INPE, 2018), principalmente em virtude de pastagens e agricultura; b) constantes mudanças na paisagem; c) elevada importância econômica, social e ambiental para a região do nordeste paraense; d) os recursos hídricos da bacia são muito importantes para os municípios que a compõem.

A água presente na região abastece os centros urbanos e também é utilizada para outras atividades como agricultura e pecuária. Dessa forma, tendo em vista a importância da bacia do rio Capim para o Estado do Pará buscou-se compreender como as mudanças no uso e cobertura da bacia se relacionam as vazões.

## **1.1 Problema**

O comportamento da vazão da bacia do rio Capim sofre os reflexos das variações das classes de uso e cobertura da terra predominantes na área da bacia e na faixa de preservação permanente relacionadas as áreas de florestas ripárias?

## **1.2 Hipótese**

A supressão da vegetação oriunda das ações antropogênicas tem influenciado no escoamento superficial dos cursos d'água na região.

## **1.3 Objetivo**

### **1.3.1 Objetivo geral**

Correlacionar a dinâmica da paisagem da bacia do rio Capim e seu comportamento hidrológico, avaliando seu grau de integração.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- a) Analisar o mapeamento multitemporal dos anos de 2004, 2008, 2010 e 2014 analisando as classes de uso da terra na bacia do rio Capim, as áreas de preservação permanente relacionadas as florestas ripárias e o grau de fragmentação da paisagem.
- b) Analisar o comportamento da precipitação pluviométrica da bacia do rio Capim e sua relação com o ENOS, associado as vazões existentes.
- c) Relacionar as classes de uso e cobertura da terra e as áreas de preservação permanente relacionadas as florestas ripárias, por meio de métricas de paisagem, com a vazão do rio Capim.

## 1.4 Contexto interdisciplinar da pesquisa

A interdisciplinaridade da pesquisa está direcionada para a relação entre as análises do uso e cobertura da terra e suas implicações no comportamento hidrológico em bacias hidrográficas.

Neste contexto, o estudo esteve direcionado para a bacia hidrográfica como área de verificação dos impactos produzidos pelas mudanças na paisagem. Dessa forma, é fundamental compreender como as mudanças nos usos da terra afetam a disponibilidade hídrica nessas áreas. Tendo em vista que essas alterações na paisagem podem ocasionar problemas ambientais como a diminuição da quantidade e qualidade dos recursos hídricos.

A problemática da pesquisa identifica as mudanças na paisagem em relação ao uso e cobertura da bacia, as APP's e a fragmentação florestal, a fim de correlacionar essas alterações à vazão dos rios. Destaca-se que os cursos de água da área estudada são muito importantes para o desenvolvimento econômico regional, tendo em vista os seus diversos usos desde o consumo humano ao transporte hidroviário.

Assim, é necessário promover estudos interdisciplinares acerca das mudanças no uso e cobertura da terra e seus impactos no escoamento dos rios, considerando as atividades antropogênicas associadas aos múltiplos usos da água. A compreensão das modificações da paisagem é fundamental para o uso sustentável dos recursos naturais, pois, se tornou imprescindível para a sociedade o entendimento de como as atividades antrópicas afetam o meio ambiente e a sua biodiversidade.

## 2 Referencial teórico

### 2.1.1 Bacias hidrográficas e o ciclo hidrológico

A bacia hidrográfica é considerada uma área de captação natural, onde se realizam os balanços de entrada proveniente do volume de água precipitado e o de saída correspondente ao volume de água escoado pelo exutório (ROCHA, 2010). Segundo Porto e Porto (2008) a bacia hidrográfica é considerada a unidade hidrológica principal de uma região, sendo esta delimitada por divisores de água que definem a área de drenagem da bacia, a qual pode ser dividida em pequenos ou grandes conjuntos de canais de drenagem, dependendo da área da bacia estudada. O sistema de drenagem da bacia é composto de nascentes dos cursos de água, principais e secundários, denominados afluentes e subafluentes (TARGA et al., 2012). Assim, toda a bacia é dividida em várias unidades menores, sub-bacias hidrográficas (VITTALA et al., 2008).

Segundo Silva (2014b) a Lei nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997, inovou a gestão dos recursos hídricos no país e concretizou a gestão administrativa por bacias hidrográficas, seja em corpos hídricos de titularidade da União ou dos Estados. Essa lei baseia-se nos fundamentos da água ser um bem de domínio público, dotado de valor econômico, cujos usos prioritários em situações de escassez são o consumo humano e a dessedentação de animais (BRASIL, 1997).

Em função de suas características naturais, as bacias hidrográficas tornaram-se importantes unidades espaciais para o gerenciamento de atividades de uso e conservação dos recursos naturais, em função do aumento das pressões das atividades antrópicas (CALIL et al., 2012). De acordo com Santos et al. (2015) a realização de estudos hidrológicos em bacias hidrográficas tornou-se fundamental para o entendimento do ciclo hidrológico e os impactos que as mudanças do uso da terra exercem sobre a disponibilidade e qualidade da água.

Segundo Tucci e Clarke (1997) os processos hidrológicos atuantes nas bacias hidrográficas possuem duas direções predominantes de fluxo: vertical, representado pelos processos de precipitação, evapotranspiração, evaporação e fluxo no solo; e longitudinal, representado pelo escoamento na direção dos gradientes da superfície e do subsolo.

O ciclo hidrológico da bacia Amazônica apresenta grandes diferenças nas características do balanço hídrico entre as regiões norte e sul da bacia; essas são marcadas por um efeito sazonal a sul, com uma maior diferença entre as parcelas de evapotranspiração (ET) e precipitação (P) na estação menos chuvosa, indicando que a evapotranspiração é relativamente mais importante na estação menos chuvosa do que na estação mais chuvosa (GONÇALVES et al., 2016).

Segundo Sousa et al. (2015) a precipitação é um dos principais elementos climáticos na Amazônia, pois influencia no comportamento de outros elementos atmosféricos como: temperatura e umidade relativa do ar, além disso é muito importante para caracterização das variabilidades climáticas da região amazônica. Para Marengo (2008) e Capazzoli et al. (2017) o ciclo anual das chuvas na região amazônica tem ligação com os fenômenos El Niño e La Niña; e a vazão de alguns rios, como o Rio Solimões e Negro, da região apresenta alta correlação com os campos de anomalias de temperatura de superfície do mar nos oceanos Pacífico e Atlântico Tropical.

Os processos como interceptação, evaporação e transpiração são fortemente influenciados pelo tipo de cobertura da terra; na interceptação ocorre significativa influência da vegetação, pois uma parcela da água é retida nas folhas, caules e troncos das florestas; a vegetação, lagos, rios, pavimentos, solos funcionam como superfície evaporativa, permitindo que à água retorne a atmosfera por meio da evaporação (BAYER, 2014).

De acordo com Tucci e Clarke (1997), a capacidade de infiltração está diretamente ligada a cobertura e uso da terra, solos cobertos por florestas normalmente apresentam alta capacidade de infiltração, o que diminui consideravelmente o escoamento superficial; porém, solos com baixa cobertura vegetal e que sofreram compactação, apresentam a sua capacidade de infiltração consideravelmente reduzida, resultando em um maior escoamento superficial. Segundo Booth et al. (2004), a maior impermeabilidade devido a compactação do solo influencia diretamente na vazão dos rios, porém ela não pode ser analisada isoladamente, como única causa do aumento ou diminuição da vazão.

Assim, o conhecimento sobre a dinâmica do ciclo hidrológico é fundamental para a gestão e o manejo dos recursos hídricos e ambientais em uma região, sendo a precipitação e a vazão as variáveis mais estudadas, por representarem as formas de entrada e saída de água dentro de uma bacia hidrográfica (SOUZA et al., 2017b).

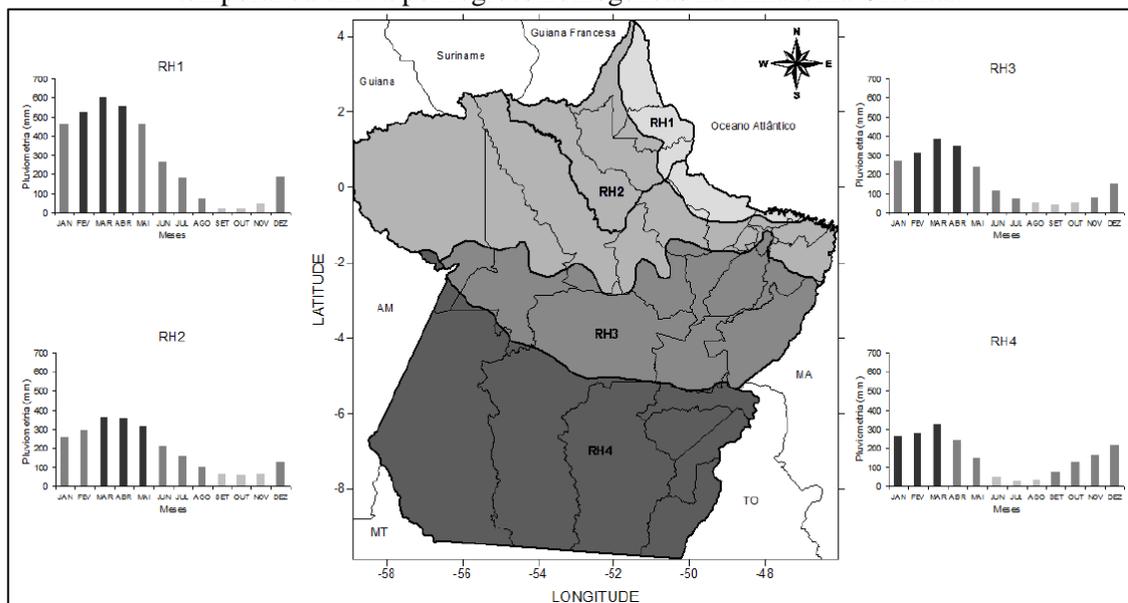
### 2.1.2 Os ENOS e o comportamento chuva - vazão

Os estudos hidrológicos voltados para utilização dos recursos hídricos, tem sido empregados para preservação do meio ambiente e avaliação das consequências das mudanças no uso e cobertura nas bacias hidrográficas (SILVA, 2014). Porém para que ocorra uma real avaliação tanto do comportamento das chuvas quanto das vazões, é indispensável o monitoramento a partir de uma rede de estações, cuja função é proporcionar uma densidade e

distribuição de estações em uma região, a fim de se obter precisão nas características básicas das grandezas hidrológicas em qualquer local do estudo (SOUZA et al., 2017b).

O estudo da espacialização da precipitação e de seus meses de maior e menor incidência são muito importantes para determinar a sua influência no ciclo hidrológico, na agricultura, geração de energia, dentre outras atividades (WANDERLEY et al., 2012). Segundo Amanajás e Braga (2012) a precipitação não é homogênea sobre a superfície terrestre, pois fatores regionais e locais como a topografia e direção do vento influenciam o comportamento da chuva nas diversas regiões do planeta; em seu estudo para identificar regiões homogêneas de precipitação na Amazônia oriental, verificaram a existência de 4 regiões com padrões pluviométricos distintos, quanto a variabilidade sazonal e interanual da precipitação (Figura 1).

Figura 1 - Espacialização das regiões homogêneas (RH) de chuva e histogramas da distribuição temporal da chuva por regiões homogêneas na Amazônia Oriental.



Fonte: Amanajás e Braga (2012).

Segundo Amanajás e Braga (2012), a bacia do rio Capim encontra-se localizada na região homogênea 3 (Figura 17), a qual é considerada a terceira porção mais chuvosa da região, com total anual em torno de 2100 mm, tendo o trimestre de fevereiro a abril, como o mais chuvoso (1052,7 mm).

As séries temporais de vazão são a resposta das relações dos componentes do ciclo hidrológico e, conseqüentemente, das influências naturais e antrópicas numa determinada região (MORTATTI et al., 2014). O estudo da vazão média durante o ano ou nos períodos de menor ou maior vazão permite caracterizar a disponibilidade hídrica de uma bacia, o seu potencial energético e possíveis mudanças oriundas das ações antrópicas. Já a vazão média de

longo período consiste na média das vazões médias anuais, sendo a maior vazão possível de ser regularizada no curso de água (PRUSKI et al., 2006).

Souza et al. (2000) concluiu que evento El Niño (La Niña) ocasiona o retardamento (adiantamento) do mês de menor (maior) vazão na bacia do rio Negro. De acordo com Sousa et al. (2015) essas mudanças no regime das bacias oriundas dos fenômenos El Niño e La Niña interferem significativamente nas atividades econômicas da região Norte do Brasil.

O fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno de interação oceano-atmosfera, que ocorre no oceano Pacífico Equatorial, e é considerado como a principal causa da variabilidade climática em diversas regiões do globo. Esse fenômeno apresenta duas fases extremas: uma fase quente, denominada El Niño, e uma fase fria, a La Niña (ANDREOLI; KAYANO, 2005). Na Amazônia os eventos extremos de El Niño (La Niña) estão associados ao aquecimento (resfriamento) superficial das águas do Pacífico Equatorial (MARCUSO; ROMERO, 2013).

Segundo Sousa et al. (2015) a partir da análise da variabilidade climática na bacia amazônica nos anos de 1982/83 (El Niño) predominaram condições de seca; já durante os anos de 1984/85 (La Niña) essas anomalias climáticas praticamente se inverteram, em virtude das mudanças das características de circulação tropical. Sousa et al. (2015) destacam que a intensidade das variações relacionadas a precipitação e a vazão dos rios na bacia do Guamá-Capim (Nordeste Paraense) são diferentes nas suas regiões de norte a sul; isso ocorre pelo fato do evento El Niño (La Niña) diminuir (aumentar) a convecção na bacia ocasionando a diminuição (aumento) do regime pluviométrico.

As variações do regime pluviométrico regional tornam a população vulnerável ao comportamento e variabilidades climáticas, logo, estudos envolvendo as causas e consequências da variabilidade de chuva, são imprescindíveis para gerar informações e produtos climatológicos úteis ao benefício da sociedade (SOUZA et al., 2009).

### 2.1.3 Uso e cobertura da terra e análise da paisagem

A Amazônia brasileira tem passado por sucessivas modificações ao longo das décadas, a sua taxa de desmatamento é considerada a maior da região tropical, o principal agente causador desse quadro foi o modo como a região foi ocupada, esta sempre esteve associada às atividades socioeconômicas como exploração madeireira, agricultura e pastagem (LAURANCE, 2008). Logo, o histórico das modificações do uso da terra na Amazônia, tem

levado a conversão de florestas em áreas agrícolas ou pastagem ocasionando a fragmentação florestal na região e alterando de forma significativa a paisagem (KUHN, 2005).

O uso da terra descreve como os seres humanos utilizam a terra, as suas práticas e manejo; alguns exemplos de uso são as áreas urbanas, agricultura e pastagens; junto as mudanças no uso da terra podem ocorrer intensificações na forma de utilização da terra como: aumento na utilização das pastagens sem adotar práticas de manejo visando a conservação da matéria orgânica e fertilização do solo (OLIVEIRA et al., 2016).

As mudanças no uso e cobertura da terra possuem localização e dinâmica; logo, produtos sobre análises multitemporais permitem observar as dinâmicas das modificações no uso e cobertura da terra, possibilitando, um maior entendimento e predição em relação a evolução da paisagem em uma dada região (DA SILVA, 2004).

Segundo Cabacinha et al. (2010) e Silva et al. (2015) as análises das mudanças temporais e espaciais da paisagem são muito importantes, estas buscam resgatar a evolução histórica da fragmentação e seus possíveis causadores. Por meio de indicadores também conhecidos como métricas de paisagem é possível realizar diagnósticos relacionados as alterações ocorridas na paisagem e condições da fragmentação florestal, visando identificar quais as medidas que podem ser tomadas para contornar esse problema (JESUS et al., 2015).

A fim de estudar a paisagem e os processos ecológicos, foram desenvolvidos diversos índices relacionados as métricas de paisagem para analisar as modificações na espacialização da paisagem (MCGARIGAL; MARKS, 1995). Assim, a ecologia da paisagem (METZGER, 2006) tem sido utilizada como ferramenta para o planejamento da paisagem levando em com os fatores naturais e antrópicos (TURNER, 2005).

Segundo McGarigal (2012) as métricas de paisagem são utilizadas para analisar dois componentes básicos da estrutura da paisagem a sua composição e configuração; a composição é identificada pela variedade e quantidade dos tipos de manchas, não levando em consideração o seu ordenamento espacial; já a configuração identifica a espacialidade dos fragmentos sua posição, forma e localização na paisagem.

De acordo com Lang (2009) a utilização dos índices quantitativos da paisagem poderá ser estabelecida em três níveis distintos: nível de manchas, as quais descrevem as características geométricas de manchas individuais; nível de classe, as quais fazem um resumo de todas as manchas de uma determinada classe e a sua configuração; e nível de paisagem para análises que incluirão todas as manchas componentes da paisagem.

Segundo Volotão (1998), McGarigal e Marks (1995) e Jesus (2013) há diversas métricas de paisagem, estas podem ser calculadas a partir dos índices de área, fragmentos, borda, forma,

área núcleo, isolamento e contágio e intercalação os quais são definidos, segundo os autores citados, como:

1. Métricas de área: apresentam a extensão de área de fragmentos, classes e paisagem. São muito úteis e importantes para os estudos ecológicos sobre riqueza e abundância de espécies e fragmentação da paisagem. Exemplos: área da classe (CA), área total da paisagem (TA), Índice de maior fragmento (LPI) e entre outros. De acordo com Rezende (2011), entre as diversas métricas existentes as de área e tamanho se destacam como importantes ferramentas para compreensão da paisagem, visto que as espécies são relacionadas com a área em que vivem.
2. Métricas de fragmentos: As informações desta categoria são importantes para caracterização dos fragmentos. Estas métricas possibilitam a análise por grau de fragmentação, heterogeneidade de fragmentos e entre outros aspectos importantes para o estudo envolvendo a fragmentação. Exemplos: (NP) número de fragmentos, (PD) densidade de fragmento e entre outros.
3. Métricas de borda: possibilitam a verificação de formação de áreas de borda (ecótonos), o que pode ser considerado um importante aspecto sobre alterações nos fragmentos. A importância destas métricas está no quanto a população do fragmento está em contato com as áreas externas. Exemplos: TE (total de bordas na área); ED (densidade de bordas na área) e entre outros.
4. Métricas de forma: relacionam-se também com a presença de efeito de borda, pois, verifica a tendência dos fragmentos em apresentar formas regulares (semelhante a um círculo) ou formas mais complexas, onde nesse caso, aumentam as chances dos fragmentos apresentarem maior área de borda. Exemplo: MSI (índice de forma médio); AWMSI (índice de forma médio ponderado de acordo com o tamanho das manchas). As métricas de formas mais circulares são consideradas ideais, pois o centro do fragmento fica mais protegido dos efeitos externos por estar mais distante da borda quando comparado os fragmentos com formato alongado (FAHRIG, 2003).
5. Métricas de área núcleo: referem-se à área central do fragmento separada da borda por uma distância estabelecida. Pode ser relacionada com as condições da área na manutenção de espécies mais sensíveis, vulneráveis às transformações da área de borda. Exemplos: TCA (área central total); TCAI (porcentagem da área núcleo em relação à área total da paisagem).
6. Métricas de isolamento: baseiam-se na distância de fragmentos mais próximos (vizinhos), nos níveis de mancha, classe e paisagem. Como a distância entre os fragmentos influencia as probabilidades de deslocamento e dispersão, esse tipo de métrica é associado ao grau de

isolamento da área. Exemplos: MNN (distância média do vizinho mais próximo); MPI (índice de proximidade média).

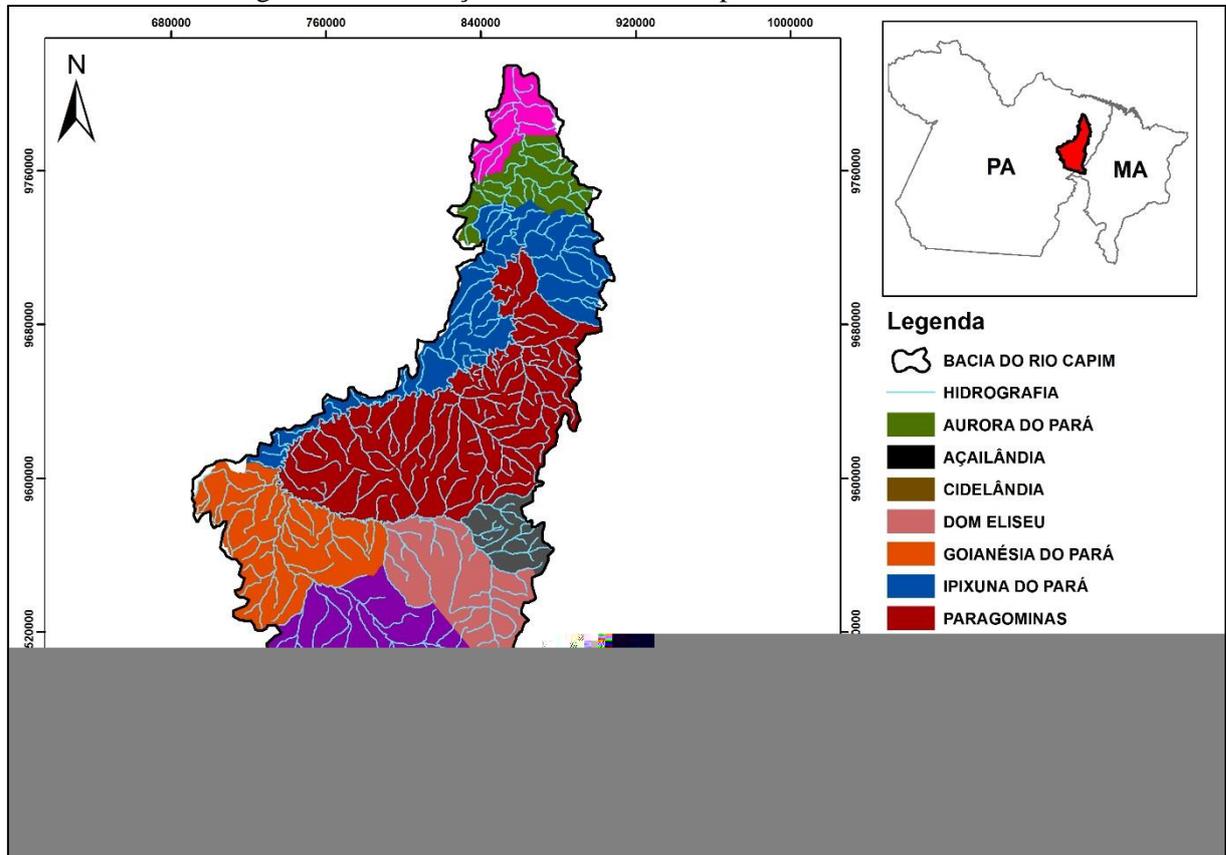
7. Métricas de contágio e intercalação: São métricas que quantificam a configuração da paisagem relacionadas à disposição das classes na paisagem. O índice de contágio é a probabilidade de uma célula pertencer a uma classe e as suas células vizinhas pertencerem a outra classe. O índice de intercalação refere-se ao nível de intercalação dos fragmentos e analisa quais as classes dos fragmentos mais próximos. Exemplos: IJI (índice de intercalação e justaposição); CONTAG (índice de contágio).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

A bacia do rio Capim está localizada no nordeste do Estado do Pará (Figura 2), compondo o eixo de maior circulação econômica do Estado direcionado ao longo da Rodovia Belém-Brasília (BR 010). Destaca-se por concentrar ações de infraestrutura voltadas ao desenvolvimento econômico local, tais como: a hidrovía Guamá-Capim, os projetos industriais e mineiros e a expansão das atividades extrativista e agropecuárias, nos municípios da região (LIMA; PONTE, 2012).

Figura 2 - Localização da bacia do rio Capim no Estado do Pará.



Fonte: O autor.

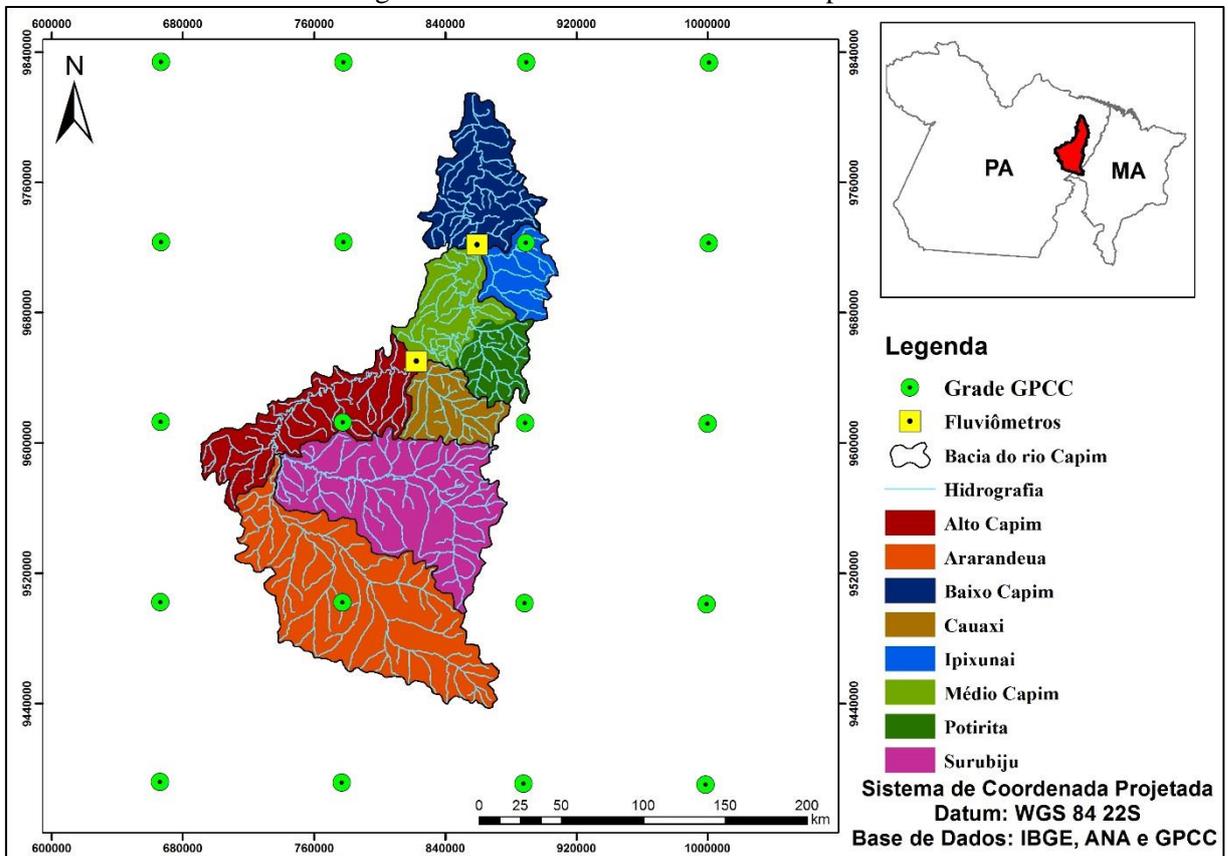
Um fato marcante da hidrografia da bacia do Capim é o seu aspecto fisiográfico, onde seus terrenos vão desde o Pré-Cambriano, passando pelo Cretáceo Inferior, Terciário e Quaternário, esses diferentes tipos de rochas são responsáveis pela geomorfologia da região que é comandada pelo Planalto Setentrional do Pará-Maranhão e pelo Planalto Rebaixado da Amazônia (da Zona Bragantina), dando um conjunto de relevos tabulares rebaixado, fortemente

dissecados na formação sedimentar do Grupo Barreiras, com rebordos erosivos e que se inclinam para o Norte e para Nordeste pelo entalhamento dos vales do rio Capim e seus afluentes, que se orientam na direção de Norte a Sul e que ora se torna mais acidentada, ora mais suave (SILVA, 2014b).

A bacia do rio Capim apresenta uma área total de 37.485,75 km<sup>2</sup>, da qual 95,22% pertence ao Estado do Pará e 4,78% ao Estado do Maranhão (LIMA, 2007). Entre os municípios localizados no Estado do Pará estão São Domingos do Capim, Aurora do Pará, Ipixuna do Pará, Paragominas, Ulianópolis, Goianésia do Pará, Dom Eliseu e Rondon do Pará. Já no Estado do Maranhão estão localizados apenas os municípios de Açailândia, Cidelândia e Vila dos Marítimos. Além desses municípios citados existem os municípios de borda que apresentam apenas uma pequena área dentro da bacia.

Adotou-se no estudo os limites definidos pelo Sistema Ottobacias (Resolução n. 30/2002 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos), na “Ordem 4”. No qual a bacia do rio Capim apresenta 8 sub-bacias (Figura 3), entre elas estão a do Baixo Capim, Médio Capim, Alto Capim, Potirita, Cauaxi, Ipixunai, Ararandeuá e Surubiju.

Figura 3 - Sub-bacias da bacia do rio Capim



Fonte: O autor.

### 3.2 Caracterização do uso e cobertura da terra da bacia

Para caracterização do uso e cobertura da bacia do rio Capim foram utilizados dados do Projeto TerraClass (INPE, 2017), referentes aos anos de 2004, 2008, 2010 e 2014, com escala de mapeamento de 1:100.000 (ALMEIDA et al., 2016) (Tabela 1). Os dados do projeto TerraClass estão disponíveis em órbitas-ponto, tendo por base o satélite Landsat 5 (sensor TM) no Sistema de Projeção Lat/Long e Sistema Geodésico de Referência SAD 69 (NASCIMENTO; FERNANDES, 2017).

Tabela 1- Classes, descrição e reclassificação do TerraClass.

Classe temáticas adotadas no TerraClass	Descrição	Classes temáticas utilizadas no estudo
<b>Agricultura anual</b>	Áreas extensas com predomínio de culturas de ciclo anual, sobretudo de grãos.	Agricultura
<b>Mosaico de ocupações</b>	Áreas representadas por uma associação de diversas modalidades de uso e cobertura da terra, não sendo possível discriminar os componentes da paisagem	Mosaico de ocupações
<b>Área urbana</b>	Manchas urbanas decorrentes da concentração populacional formadora de lugarejos, vilas ou cidades que apresentam infraestrutura diferenciada da área rural	Mosaico de ocupações
<b>Mineração</b>	Áreas de extração mineral em clareiras abertas envolvendo desflorestamento	Mineração
<b>Pasto limpo</b>	Áreas de pastagem em processo produtivo, com predomínio de vegetação herbácea	Pastagem
<b>Pasto sujo</b>	Áreas de pastagem em processo produtivo, com predomínio da vegetação herbácea e com a presença de vegetação arbustiva esparsa, apresentando diferentes estágios de degradação	Pastagem
<b>Regeneração com pasto</b>	Áreas que, após o corte raso da vegetação natural e o desenvolvimento de alguma atividade agropastoril, encontram-se no início do processo de regeneração da vegetação nativa	Pastagem
<b>Pasto com solo exposto</b>	Áreas que, após o corte raso da vegetação natural e o desenvolvimento de alguma atividade agropastoril, apresentam o solo exposto ou com baixíssima cobertura vegetal	Pastagem
<b>Não floresta</b>	Vegetação pertencente a diferentes fitossomias de vegetação não florestal	Pastagem
<b>Vegetação secundária</b>	Áreas que, após a supressão total da vegetação encontravam-se em processo avançado de regeneração natural da vegetação arbustiva e arbórea nativa	Floresta
<b>Reflorestamento</b>	Áreas que após o corte raso foram reflorestadas com espécies exóticas ou nativas	Floresta
<b>Floresta</b>	Vegetação arbórea pouco alterada ou inalterada, com formação de dossel contínuo, composta por espécies nativas	Floresta
<b>Desflorestamento</b>	Áreas em que ocorreu supressão total da vegetação florestal, ou corte raso.	Desmatamento
<b>Hidrografia</b>	Classe referente as águas da superficiais	Hidrografia
<b>Área não observada</b>	Áreas que não puderam ser identificadas em função da presença de nuvens e de suas sombras	Área não observada
<b>Outros</b>	Classe temática que reúne distintos objetos presentes na superfície, os quais não se enquadram nas demais classificações	Outros

Fonte: Adaptado de TerraClass (2013).

O projeto TerraClass mapeia 16 classes de uso e cobertura da terra, sendo que 4 classes foram compiladas diretamente do banco de dados do PRODES (SOUSA et al., 2017): Agricultura Anual, Área Não Observada, Desflorestamento, Floresta, Hidrografia, Mosaico de Ocupações, Não floresta, Outros, Mineração, Pasto com Solo Exposto, Pasto Limpo, Pasto Sujo, Regeneração com pasto, Reflorestamento, Área Urbana e Vegetação Secundária, sendo que as classes Floresta, Desmatamento, Hidrografia e Não floresta.

Foram também utilizadas as bases cartográficas contendo: limites municipais, hidrografia e bacias, além de outras bases do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Agência Nacional de Águas (ANA). Para a delimitação da bacia do rio Capim, foi utilizado um arquivo em formato digital *shapefile* obtido por meio da base cartográfica digital da ANA. Os dados vetoriais provenientes do projeto TerraClass foram sistematizados e reprojados para o Sistema de Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM WGS 84 Zona 22S, para a área de estudo. Para a bacia do Capim utilizou-se os dados das órbitas/ponto do Pará 223/061, 223/062, 223/063, 222/062 e 222/063 e do Maranhão as órbitas/ponto 223/063 e 222/063.

### 3.2.1 Delimitação das Áreas de Preservação Permanente (APP's)

Para a análise do uso e cobertura das APP's dos recursos hídricos da bacia do rio Capim utilizou-se as imagens geradas por meio do programa TerraClass (2004, 2008, 2010 e 2014), foram consideradas as florestas e vegetação secundária como sendo apenas floresta. Em relação a espacialização das APP's utilizou-se os requisitos mínimos impostos para enquadramento em áreas não consolidadas da Lei Federal n. 12.651/2012 (BRASIL, 2012) (Tabela 2).

Tabela 2 - Dimensões mínimas de faixa marginal a serem preservadas

<b>Cursos de água (largura), nascentes, reservatórios artificiais, lagos e lagoas</b>	<b>Faixa mínima a ser preservada</b>
Até 10 metros	30 m em cada margem
Entre 10 e 50 metros	50 m em cada margem
Entre 50 e 200 metros	100 m em cada margem
Entre 200 e 600 metros	200 m em cada margem
Superior a 600 metros	500 m em cada margem
Nascentes	50 m no entorno da nascente
Reservatórios artificiais (em zona rural)	15 m no entorno do reservatório
Lagos e lagoas em zonas rurais acima de 20 ha	100 m em torno das lagoas ou lagos naturais
Lagos e lagoas em zonas rurais até 20 ha	50 m em torno das lagoas ou lagos naturais
Lagos e lagoas em zonas urbanas	30 m em torno das lagoas ou lagos naturais

Fonte: Adaptado de (BRASIL, 2012).

As APP's ao longo dos cursos d'água foram dimensionadas utilizando-se como base a rede hidrográfica da Agência Nacional de Águas na escala de 1:250.000. Os cursos de água foram medidos por meio da ferramenta “*measure*” (largura dos rios), em seguida utilizou-se o comando “*buffer*”, para delimitar a largura das APP's em função das exigências previstas no Código Florestal.

O mapeamento das APP's ao redor das nascentes foi obtido de forma semelhante ao dos cursos d'água. Na delimitação das APP's das nascentes executou-se novamente o comando “*buffer*”, delimitando-se um raio de preservação de 50 metros no seu entorno (MOREIRA et al., 2015).

### 3.3 Métricas de paisagem

Para a análise das métricas de paisagem foram utilizadas as imagens de uso da terra geradas a partir dos dados do projeto TerraClass, a Tabela 3 ilustra as métricas adotadas.

Tabela 3 - Métricas de paisagem utilizadas no estudo.

Grupo	Métrica	Fórmula	Descrição	Intervalo
	Número de fragmentos (NP)	$NP = n_i$ $n_i =$ número de fragmentos na paisagem do tipo de classe $i$ .	O número de fragmentos mede a quantidade de manchas para cada tipo de classe.	$NP \geq 1$ (unidade)
Área e densidade	Índice de maior fragmento (LPI)	$LPI = \frac{\max_{j=1}^n(a_{ij})}{A} (100)$ $n =$ número de fragmentos na paisagem do tipo de classe $i$ . $j = 1, \dots, n$ fragmentos. $i = 1, \dots, m$ ou $m'$ tipos de classes. $a_{ij} =$ área ( $m^2$ ) do fragmento $ij$ . $A =$ área total da paisagem ( $m^2$ ).	Porcentagem da área total recoberta pela maior mancha da classe	$0 < LPI \leq 100$ (%)

(continua)

(conclusão)				
Grupo	Métrica	Fórmula	Descrição	Intervalo
Borda	Total de bordas (TE)	$TE = \sum_{k=1}^m e_{ik}$ <p><math>m</math> = número de classes presentes na paisagem, excluindo a borda da paisagem, se presente.  <math>m'</math> = número de tipos de classes presentes na paisagem, incluindo a borda da paisagem, se presente.  <math>e_{ik}</math> = comprimento total (m) de borda em paisagem envolvendo o tipo de classe <math>i</math>; inclui limites de paisagem e segmentos de segundo plano envolvendo o tipo de fragmento <math>i</math>.  <math>k = 1 = m</math> ou <math>m'</math> tipos de classes.</p>	Soma de todas as bordas da classe	$TE \geq 0$ (m)
	Densidade de bordas (ED)	$ED = \frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{A} (10.000)$ <p><math>e_{ik}</math> = comprimento total (m) de borda em paisagem envolvendo o tipo de classe <math>i</math>; inclui limites de paisagem e segmentos de segundo plano envolvendo o tipo de fragmento <math>i</math>.  <math>m</math> = número de classes presentes na paisagem, excluindo a borda da paisagem, se presente.  <math>k = 1 = m</math> ou <math>m'</math> tipos de classes.  <math>A</math> = área total da paisagem (m<sup>2</sup>).</p>	Soma de todas as bordas da classe dividido pela área total em hectares	$ED \geq 0$ (m.ha <sup>-1</sup> )
Agregação	Índice de intercalação e justaposição (IJI)	$IJI = \frac{-\sum_{k=1}^m \left[ \left( \frac{e_{ik}}{m} \right) \ln \left( \frac{e_{ik}}{m} \right) \right]}{\ln(m-1)} (100)$ <p><math>e_{ik}</math> = comprimento total da borda na paisagem entre tipos de classes <math>i</math> e <math>k</math>.  <math>m</math> = número de classes presentes na paisagem, incluindo a borda da paisagem.  <math>k = 1 = m</math> ou <math>m'</math> tipos de classes.</p>	É a intercalação observada sobre a máxima intercalação possível para um dado número de tipos de classes	$0 < IJI \leq 100$ (%)
	Índice de Agregação (AI)	$AI = \left[ \frac{g_{ii}}{\max \rightarrow g_{ii}} \right] (100)$ <p><math>g_{ii}</math> = número de adjacências semelhantes entre pixels de mesma classe.  <math>i</math> = método de contagem única.  <math>\max \rightarrow g_{ii}</math> = número máximo de adjacências semelhantes entre pixels de mesma classe.</p>	Mede o grau de agregação de determinada classe, baseando-se na porcentagem de adjacências idênticas em relação ao total de adjacências	$0 \leq AI \leq 100$ (%)

Fonte: Adaptado de Volotão (1998); Mcgarigal e Marks (1995).

Foi utilizado o programa FRAGSTATS 4.2.1, o qual quantifica por meio de índices espaciais estatísticos métricas de fragmentos que compõem determinada matriz; métricas de

classes referentes a cada uso e cobertura; métricas de paisagem que analisam a paisagem como um todo (REZENDE et al., 2010; VIDOLIN et al., 2011), para isso as imagens tiveram de ser convertidas para o formato *raster*.

De acordo com os estudos realizados por Lin et al. (2007) e Zhang et al. (2013), algumas das métricas mais importantes para caracterizar a relação entre as mudanças na paisagem e os processos hidrológicos em bacias são número de fragmentos, índice de maior fragmento, total de bordas, densidade de bordas, índice de intercalação e justaposição e índice de agregação. Essas métricas foram utilizadas no estudo para o nível de classe, para as métricas de borda adotou-se uma borda de 100 metros (CABACINHA et al., 2010; PIROVANI et al., 2014).

### **3.4 Análise do comportamento hidrológico**

#### **3.4.1 Caracterização pluviométrica da bacia do rio Capim**

Para a análise da precipitação da bacia do rio Capim foram utilizados os dados de precipitação do Global Precipitation Climatology Centre (GPCC)<sup>1</sup>. Foram adquiridos os dados mensais de 1983 a 2014 referentes ao quadrante que cobre todo o limite da bacia do rio Capim, o qual compreende as latitudes entre 6°S a 1°S e as longitudes entre 50°W a 46°W (Figura 3).

Para o estudo temporal da precipitação na bacia do rio Capim foram produzidos gráficos com as médias das precipitações mensais e anuais para o período em estudo. A fim de analisar a distribuição espacial da precipitação na bacia do rio Capim foram construídos mapas utilizando a técnica de interpolação de krigagem. Segundo Lundgren et al. (2016), a krigagem permite estimar o valor de um atributo em um local qualquer, apenas tomando o valor do atributo em alguns locais conhecidos e próximos ao local em que o atributo será estimado. A krigagem é um método geoestatístico utilizado para interpolação, o qual se baseia na teoria das Variáveis Regionalizadas, a qual afirma que a variação espacial de um fenômeno é estatisticamente homogênea em uma área, por tentar expressar tendências sugeridas pelos dados (MARCUIZZO et al., 2011; MEDEIROS et al., 2017).

---

<sup>1</sup> Disponibilizados gratuitamente em: <https://kunden.dwd.de/GPCC/Visualizer> com resolução de 1° x 1°

### 3.4.2 Análise dos eventos El Niño e La Niña

Foi realizada a análise dos anos em estudo, 1983-2014, para identificar se o aquecimento e o resfriamento das águas do oceano pacífico correspondiam a eventos de maior e menor precipitação na região da bacia do rio Capim (Tabela 4).

A *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOOA, 2017) realiza o monitoramento do Índice Oceânico do Niño<sup>2</sup> (ION), o ION é um índice que identifica as anomalias da superfície do mar na região do Niño (5°N, -5°S) e (170°, -120°W) no oceano Pacífico. Quando o índice for maior que +0,5°C por no mínimo cinco meses consecutivos será caracterizado um El Niño (cor vermelha); quando menor que -0,5°C em cinco meses consecutivos, será caracterizado uma La Niña (cor azul). Também foram utilizadas as séries de dados dos eventos de ENOS, disponibilizadas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE)<sup>3</sup>.

Tabela 4 - Classificação dos ENOS no período de 1983 a 2014.

(continua)

ANO	MESES											
	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1983	<b>2.2</b>	<b>1.9</b>	<b>1.5</b>	<b>1.3</b>	<b>1.1</b>	<b>0.7</b>	0.3	-0.1	<b>-0.5</b>	<b>-0.8</b>	<b>-1.0</b>	<b>-0.9</b>
1984	<b>-0.6</b>	-0.4	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	<b>-0.6</b>	<b>-0.9</b>	<b>-1.1</b>
1985	<b>-1.0</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.6</b>	<b>-0.5</b>	<b>-0.5</b>	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4
1986	-0.5	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.2	0.4	<b>0.7</b>	<b>0.9</b>	<b>1.1</b>	<b>1.2</b>
1987	<b>1.2</b>	<b>1.2</b>	<b>1.1</b>	<b>0.9</b>	<b>1.0</b>	<b>1.2</b>	<b>1.5</b>	<b>1.7</b>	<b>1.6</b>	<b>1.5</b>	<b>1.3</b>	<b>1.1</b>
1988	<b>0.8</b>	<b>0.5</b>	0.1	-0.3	<b>-0.9</b>	<b>-1.3</b>	<b>-1.3</b>	<b>-1.1</b>	<b>-1.2</b>	<b>-1.5</b>	<b>-1.8</b>	<b>-1.8</b>
1989	<b>-1.7</b>	<b>-1.4</b>	<b>-1.1</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.6</b>	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1
1990	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.3	<b>0.5</b>	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>	<b>0.6</b>	<b>0.6</b>	<b>0.8</b>	<b>1.2</b>	<b>1.5</b>
1992	<b>1.7</b>	<b>1.6</b>	<b>1.5</b>	<b>1.3</b>	<b>1.1</b>	<b>0.7</b>	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1
1993	0.1	0.3	0.5	0.7	0.7	0.6	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>	<b>1.0</b>	<b>1.1</b>
1995	<b>1.0</b>	<b>0.7</b>	<b>0.5</b>	0.3	0.1	0.0	-0.2	<b>-0.5</b>	<b>-0.8</b>	<b>-1.0</b>	<b>-1.0</b>	<b>-1.0</b>
1996	<b>-0.9</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.6</b>	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.3	<b>0.8</b>	<b>1.2</b>	<b>1.6</b>	<b>1.9</b>	<b>2.1</b>	<b>2.3</b>	<b>2.4</b>	<b>2.4</b>
1998	<b>2.2</b>	<b>1.9</b>	<b>1.4</b>	<b>1.0</b>	<b>0.5</b>	-0.1	<b>-0.8</b>	<b>-1.1</b>	<b>-1.3</b>	<b>-1.4</b>	<b>-1.5</b>	<b>-1.6</b>
1999	<b>-1.5</b>	<b>-1.3</b>	<b>-1.1</b>	<b>-1.0</b>	<b>-1.0</b>	<b>-1.0</b>	<b>-1.1</b>	<b>-1.1</b>	<b>-1.2</b>	<b>-1.3</b>	<b>-1.5</b>	<b>-1.7</b>
2000	<b>-1.7</b>	<b>-1.4</b>	<b>-1.1</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.6</b>	<b>-0.6</b>	<b>-0.5</b>	<b>-0.5</b>	<b>-0.6</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.7</b>
2001	<b>-0.7</b>	<b>-0.5</b>	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2002	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	<b>1.0</b>	<b>1.2</b>	<b>1.3</b>	<b>1.1</b>

<sup>2</sup> Disponível em [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)

<sup>3</sup> No site: <http://enos.cptec.inpe.br/>

(conclusão)

ANO	MESES											
	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2003	<b>0.9</b>	<b>0.6</b>	0.4	0.0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	<b>0.5</b>	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>
2005	<b>0.6</b>	<b>0.6</b>	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	<b>-0.6</b>	<b>-0.8</b>
2006	<b>-0.8</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.5</b>	-0.3	0.0	0.0	0.1	0.3	<b>0.5</b>	<b>0.7</b>	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>
2007	<b>0.7</b>	0.3	0.0	-0.2	-0.3	-0.4	<b>-0.5</b>	<b>-0.8</b>	<b>-1.1</b>	<b>-1.4</b>	<b>-1.5</b>	<b>-1.6</b>
2008	<b>-1.6</b>	<b>-1.4</b>	<b>-1.2</b>	<b>-0.9</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.5</b>	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	<b>-0.6</b>	<b>-0.7</b>
2009	<b>-0.8</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.5</b>	-0.2	0.1	0.4	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	<b>0.7</b>	<b>1.0</b>	<b>1.3</b>	<b>1.6</b>
2010	<b>1.5</b>	<b>1.3</b>	<b>0.9</b>	0.4	-0.1	<b>-0.6</b>	<b>-1.0</b>	<b>-1.4</b>	<b>-1.6</b>	<b>-1.7</b>	<b>-1.7</b>	<b>-1.6</b>
2011	<b>-1.4</b>	<b>-1.1</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.6</b>	<b>-0.5</b>	-0.4	<b>-0.5</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.9</b>	<b>-1.1</b>	<b>-1.1</b>	<b>-1.0</b>
2012	<b>-0.8</b>	<b>-0.6</b>	<b>-0.5</b>	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.2
2013	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0.0	0.2	0.4	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>

Fonte: NOAA (2018).

A análise da anomalia de precipitação na bacia do rio Capim foi realizada a partir da precipitação acumulada anual obtida a partir da soma dos meses de cada ano obtidos do GPCC para os anos de 1983 a 2014. A partir desses dados calculou-se as médias aritméticas e o desvio padrão da precipitação para bacia do rio Capim, para determinar a anomalia de precipitação por meio das equações abaixo (SOUSA et al., 2015):

$$AP = Pobs - (Pmed + DP), \text{ se } Pobs > Pmed + DP \quad (1)$$

$$AN = (Pmed - DP) - Pobs, \text{ se } Pobs < Pmed - DP \quad (2)$$

Onde: AP é a anomalia positiva; AN é a anomalia negativa; Pobs é a precipitação observada; Pmed é a precipitação média e DP é o desvio padrão do período.

Segundo Sousa et al. (2015), a anomalia positiva (negativa) é definida quando a precipitação é maior (menor) do que o valor da precipitação média menos o desvio padrão do período, respectivamente. Portanto, analisou-se a bacia do rio Capim, considerando anomalias negativas de precipitação (valores menores que -1), caracterizando o fenômeno El Niño; e anomalias positivas (valores maiores que 1), caracterizando a componente La Niña.

De acordo com Ishihara et al. (2014), por meio da análise da precipitação na região estudada, pode-se avaliar a dinâmica da precipitação no período. Além disso, a partir dos valores médios de precipitação e dos dados de El Niño e La Niña pode-se analisar a relação do aumento ou diminuição da precipitação na região sendo influenciada por esses fenômenos climáticos.

### 3.4.3 Caracterização fluviométrica

O levantamento dos dados sobre séries históricas foi feito a partir de consultas às estações fluviométricas mantidas pela Agência Nacional de Águas, disponibilizadas em seu portal HidroWeb. Os dados referentes as vazões foram agrupados em banco de dados, de forma a permitir a manipulação em uma planilha eletrônica. Para cada uma das duas estações fluviométricas estudadas da bacia do rio Capim (Tabela 5), serão obtidos os dados mensais, para os anos de 1983 a 2014. A fim de se analisar a vazão anual, trimestre de maior vazão e o trimestre de menor vazão.

Tabela 5 - Estações fluviométricas utilizadas no estudo.

<b>Estações</b>	<b>Código</b>	<b>Rio</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
<b>Fazenda Maringá</b>	31680000	Capim	-03°08'14"	-48°05'05"
<b>Badajós</b>	31700000	Capim	-02°30'46"	-47°46'05"

A estação Fazenda Maringá abrange as sub-bacias Ararandeu, Surubiju, Cauaxi e Alto Capim. Já a estação Badajós abrange as sub-bacias Ararandeu, Surubiju, Cauaxi, Alto Capim, Médio Capim, Potirita e Ipixunai (Figura 3). A única sub-bacia da bacia do rio Capim que não foi abrangida pelos fluviômetros foi a do baixo Capim.

Utilizou-se a curva chave para realizar o preenchimento de falhas de vazão mensais do rio Capim nas duas estações, Fazenda Maringá e Badajós, por intermédio do software Hidro 1.2 da ANA. Para isso, foram utilizados 43 valores da curva de descarga para ambas estações, correspondentes a relação cota-vazão numa determinada seção do rio, para a construção da curva chave tendo obtido o coeficiente de correlação ( $R^2= 0,99$ ) para Fazenda Maringá e ( $R^2= 0,98$ ) para Badajós. Os dados de resumo de descarga são do ano de 1983 a 2014 para ambas estações.

Para o preenchimento de falhas também se analisou os dados diários, meses com mais de 25 dias de dados foram utilizados, a partir da média dos seus dias (COSTA et al., 2003). Quando esses dois métodos não foram suficientes para o preenchimento total das falhas mensais utilizou-se o método linear, o qual consiste na média das vazões do mesmo mês na série histórica de 1983 a 2014, o qual não altera a estatística da série (SOUZA et al., 2017b).

Para a análise do uso e cobertura da bacia do rio Capim procedeu-se duas divisões, uma até a estação fluviométrica Badajós (EF Badajós), a qual abrange as sub-bacias Ararandeu, Surubiju, Cauaxi, Alto Capim, Médio Capim, Potirita e Ipixunai e a outra até a estação

fluviométrica Fazenda Maringá (EF Maringá), a qual abrange as sub-bacias Ararandeu, Surubiju, Cauaxi e Alto Capim.

Em relação aos municípios ambas sub-divisões abrangem Ipixuna do Pará, Paragominas, Ulianópolis, Goianésia do Pará, Dom Eliseu, Rondon do Pará, Açailândia, Cidelândia e Vila dos Marítimos. Porém na região EF Maringá a área dos municípios Ipixuna do Pará e Paragominas é menor, cerca de 6.400 km<sup>2</sup> no total.

### **3.5 Associação entre o uso e cobertura da terra e a vazão do rio Capim**

Todas as informações foram tabuladas e analisadas em planilhas do tipo Excel® e posteriormente as análises estatísticas foram realizadas por meio do software STATISTICA versão 7.0. O conjunto de dados passou por análises estatísticas utilizando-se os métodos da análise de correlação e de regressão linear simples.

A análise de correlação mede a relação entre duas variáveis, logo para se medir o grau de associação entre as variáveis do estudo empregou-se esta análise. O coeficiente de Pearson e o p-valor serviram para validar as hipóteses decorrentes das correlações (GUAJARATI, 2011). Realizou-se as correlações entre as variáveis, testando seu nível de significância a 5% ( $p < 5\%$ ) de probabilidade.

Segundo Vasconcelos (2015), o valor de  $r$  está sempre entre  $-1$  e  $+1$ , com  $r = 0$  correspondendo à não associação linear. Valores de  $r$  menor que  $0$  ( $r < 0$ ) indicam uma associação negativa, ou seja, à medida que  $x$  cresce,  $y$  decresce (inversamente proporcionais). Porém, quando o valor de  $r$  for maior que  $0$  ( $r > 0$ ), temos uma correlação positiva e à medida que  $x$  cresce,  $y$  também cresce (diretamente proporcionais). Quanto maior o valor de  $r$  (positivo ou negativo), mais forte será a associação entre as variáveis. Adotou-se os seguintes intervalos de grau de correlação (valores em módulo) – abaixo de  $0,05$ : muito fraca;  $0,05$  a  $0,20$ : fraca; de  $0,20$  a  $0,30$ : fraca a moderada; de  $0,30$  a  $0,70$ : moderada; de  $0,70$  a  $0,80$ : moderada a forte; de  $0,80$  a  $0,95$ : forte; acima de  $0,95$ : muito forte (MENEZES et al., 2014).

O coeficiente de determinação ( $r^2$ ) indica o quanto da variância da variável dependente foi explicado pela variável independente, onde sua amplitude apresenta um intervalo de  $0$  a  $1$ , valores próximos a  $1$  possibilitam que uma parcela maior da variância seja explicada pelo modelo de regressão, sendo como o  $r$  um coeficiente adimensional (SOUSA, 2016).

Esta análise permitiu verificar a correlação das métricas associadas as variáveis independentes (uso e cobertura da terra, o equivalente as áreas de APP's); com as variáveis

dependentes (vazão média mensal, média do trimestre de maior vazão e média do trimestre de menor vazão), possibilitando uma visão global do relacionamento entre todos os determinantes.

As correlações foram realizadas com base nas duas estações fluviométricas (Fazenda Maringá e Badajós) para obter as vazões referentes aos anos 1983-2004, 1983-2008, 1983-2010 e 1983-2014. Esses anos de vazões foram correlacionados com os dados envolvendo o uso e cobertura da terra, referentes aos anos de 2004, 2008, 2010 e 2014.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 Evolução temporal do uso e cobertura da terra nas sub-bacias do rio Capim**

Visando identificar mudanças no uso e cobertura da terra das regiões EF Badajós (Figura 6) e EF Maringá (Figura 7), foi realizado o mapeamento das regiões a partir dos dados do projeto TerraClass, para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2014.

Observou-se, para as duas áreas no período estudado de 2004-2014, uma grande redução da classe desmatamento. Outra classe que sofreu redução de área foi a floresta. Já em relação ao aumento de área, algumas classes como mosaico de ocupações, agricultura e pastagem tiveram incremento no período estudado.

Figura 4 - Uso e cobertura da terra na bacia do rio Capim até a estação Badajós.

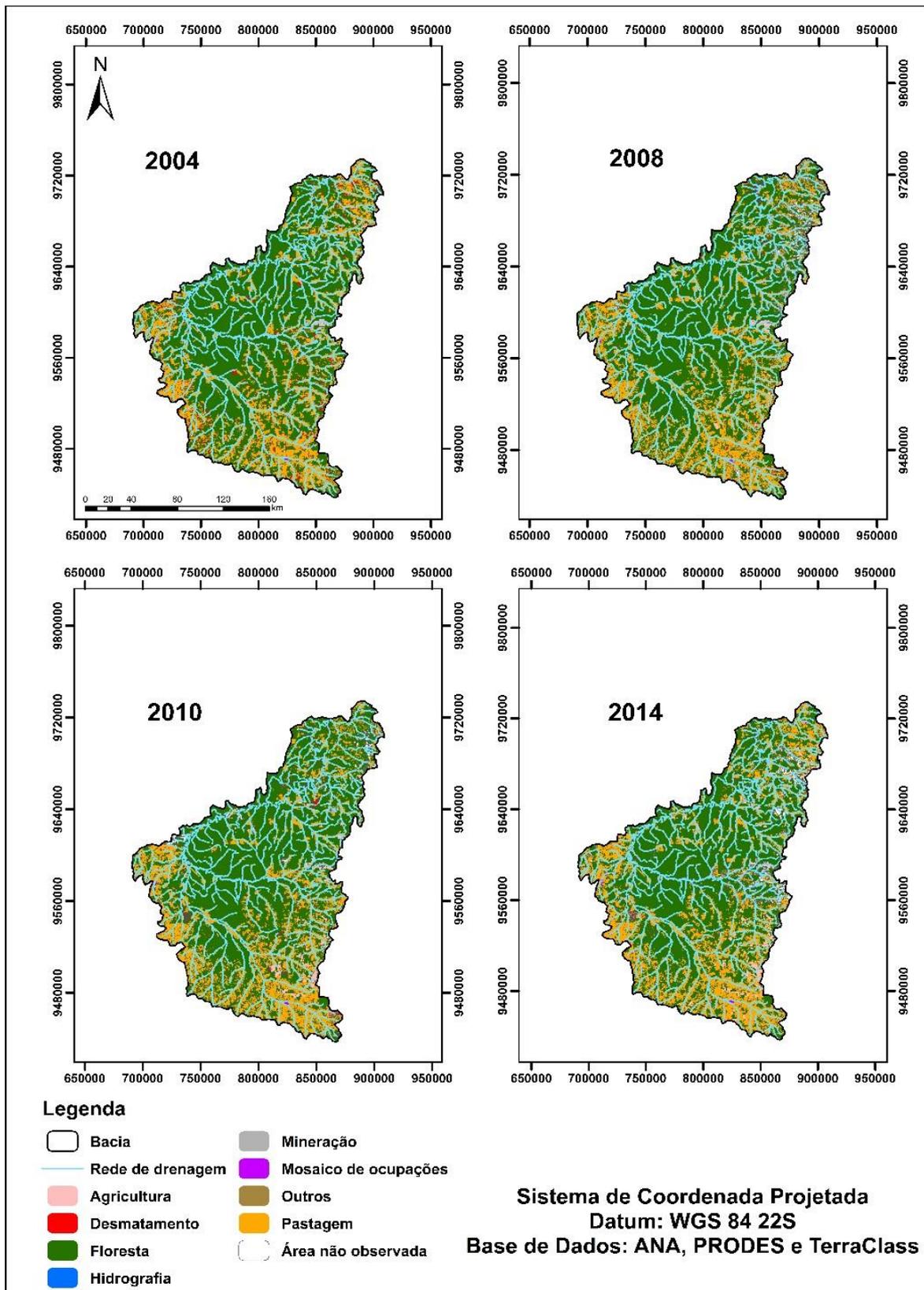
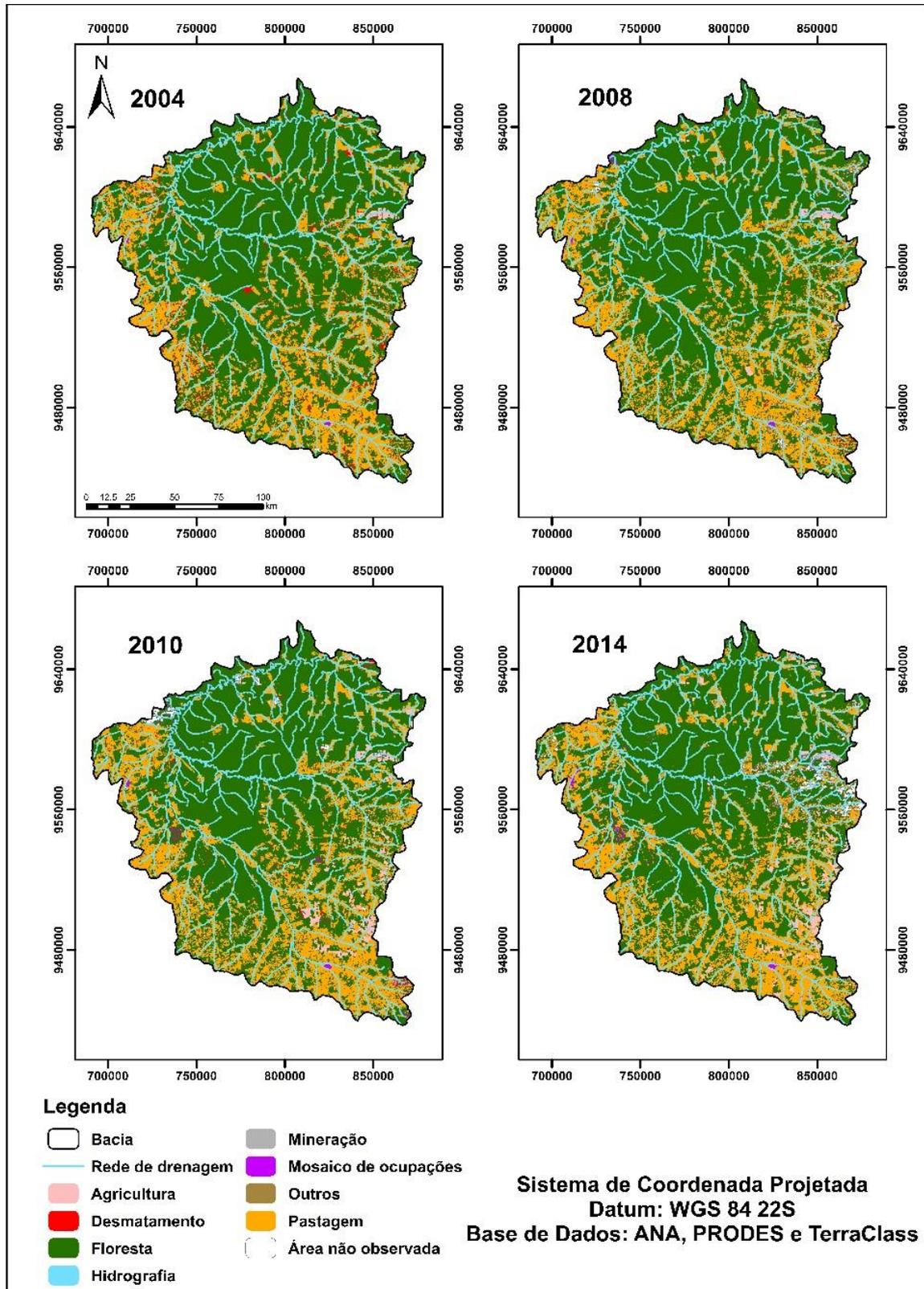


Figura 5 - Uso e cobertura da terra na bacia do rio Capim até a estação Fazenda Maringá.



Na região EF Badajós ocorreu uma diminuição da classe floresta, que passou de 21.457,32 km<sup>2</sup> em 2004 (64,88%) para 21.039,64 km<sup>2</sup> em 2014 (63,61%) e da classe desmatamento que passou de 1.827,92 km<sup>2</sup> (5,53%) em 2004 para 48,48 km<sup>2</sup> (0,15%) em 2014. Já as classes pastagem, agricultura e mosaico de ocupações aumentaram no período estudado, o uso pastagem passou de 8.667,24 km<sup>2</sup> em 2004 (26,21%) para 9.077,59 km<sup>2</sup> em 2014 (27,45%). O aumento mais expressivo foi na classe agricultura que foi de 112,71 km<sup>2</sup> (0,34%) em 2004 para 744,33 km<sup>2</sup> (2,25%) em 2014, aumentando aproximadamente seis vezes (Tabela 6).

Tabela 6 - Áreas do uso cobertura da terra na bacia do rio Capim até a estação Badajós.

Classes	2004		2008		2010		2014	
	Km <sup>2</sup>	%						
<b>Agricultura</b>	112,71	0,34%	221,49	0,67%	616,22	1,86%	744,33	2,25%
<b>Área não observada</b>	761,40	2,30%	3.098,81	9,37%	510,84	1,54%	1.509,31	4,56%
<b>Desmatamento</b>	1.827,92	5,53%	228,18	0,69%	220,79	0,67%	48,48	0,15%
<b>Floresta</b>	21.457,32	64,88%	20.631,54	62,38%	22.131,88	66,92%	21.039,64	63,61%
<b>Hidrografia</b>	87,55	0,26%	87,29	0,26%	87,49	0,26%	87,47	0,26%
<b>Mineração</b>	4,51	0,01%	9,58	0,03%	21,41	0,06%	7,28	0,02%
<b>Mosaico de ocupações</b>	90,01	0,27%	66,64	0,20%	103,94	0,31%	526,40	1,59%
<b>Outros</b>	64,89	0,20%	10,21	0,03%	21,35	0,06%	33,04	0,10%
<b>Pastagem</b>	8.667,24	26,21%	8.719,78	26,36%	9.359,64	28,30%	9.077,59	27,45%
<b>Total</b>	33.073,55	100%	33.073,53	100%	33.073,56	100%	33.073,54	100%

Em relação a região EF Maringá, observou-se que a classe floresta passou de 17.375,28 km<sup>2</sup> em 2004 (65,19%) para 17.127,67 km<sup>2</sup> em 2014 (64,26%) e a classe desmatamento passou de 1.560,52 km<sup>2</sup> (5,86%) para 42,51 km<sup>2</sup> em 2014 (0,16%). Já as classes pastagem, agricultura e mosaico de ocupações aumentaram no período estudado, o uso pastagem passou de 6.819,12 km<sup>2</sup> em 2004 (25,59%) para 7.347,84 km<sup>2</sup> em 2014 (27,57%). No entanto, diferente da região EF Badajós o aumento mais expressivo na região EF Maringá foi na classe mosaico de ocupações que foi de 52,26 km<sup>2</sup> (0,20%) em 2004 para 438,05 km<sup>2</sup> (1,64%) em 2014, aumentando aproximadamente oito vezes (Tabela 7).

Tabela 7 - Áreas do uso cobertura da terra na bacia do rio Capim até a estação Fazenda Maringá.

Classes	2004		2008		2010		2014	
	Km <sup>2</sup>	%						
<b>Agricultura</b>	82,66	0,31%	204,87	0,77%	524,12	1,97%	570,75	2,14%
<b>Área não observada</b>	662,17	2,48%	1.832,39	6,88%	297,36	1,12%	1.036,88	3,89%
<b>Desmatamento</b>	1.560,52	5,86%	167,16	0,63%	154,53	0,58%	42,51	0,16%
<b>Floresta</b>	17.375,28	65,19%	16.986,21	63,73%	17.463,46	65,52%	17.127,67	64,26%
<b>Hidrografia</b>	58,61	0,22%	58,52	0,22%	58,74	0,22%	58,52	0,22%
<b>Mineração</b>	0,05	0,00%	0,00	0,00%	0,94	0,00%	2,99	0,01%
<b>Mosaico de ocupações</b>	52,26	0,20%	25,32	0,10%	64,10	0,24%	438,05	1,64%
<b>Outros</b>	41,29	0,15%	7,62	0,03%	12,07	0,05%	26,72	0,10%
<b>Pastagem</b>	6.819,12	25,59%	7.369,84	27,65%	8.076,59	30,30%	7.347,84	27,57%
<b>Total</b>	26.651,95	100%	26.651,93	100%	26.651,94	100%	26.651,93	100%

Analisando a proporção das classes de uso e cobertura da terra para a região EF Badajós (Figura 8) e EF Maringá (Figura 9), identifica-se que as classes mais presentes na região para os anos estudados foram: Floresta e Pastagem. Nos estudos realizados por Pereira et al. (2012); Sousa et al. (2017) e Oliveira et al. (2016), para regiões do Estado do Pará, também se identificou como uso e cobertura da terra preponderante a Floresta.

Figura 6 - Proporção das áreas de uso e cobertura da terra nos anos de 2004, 2008, 2010 e 2014, para o EF Badajós.

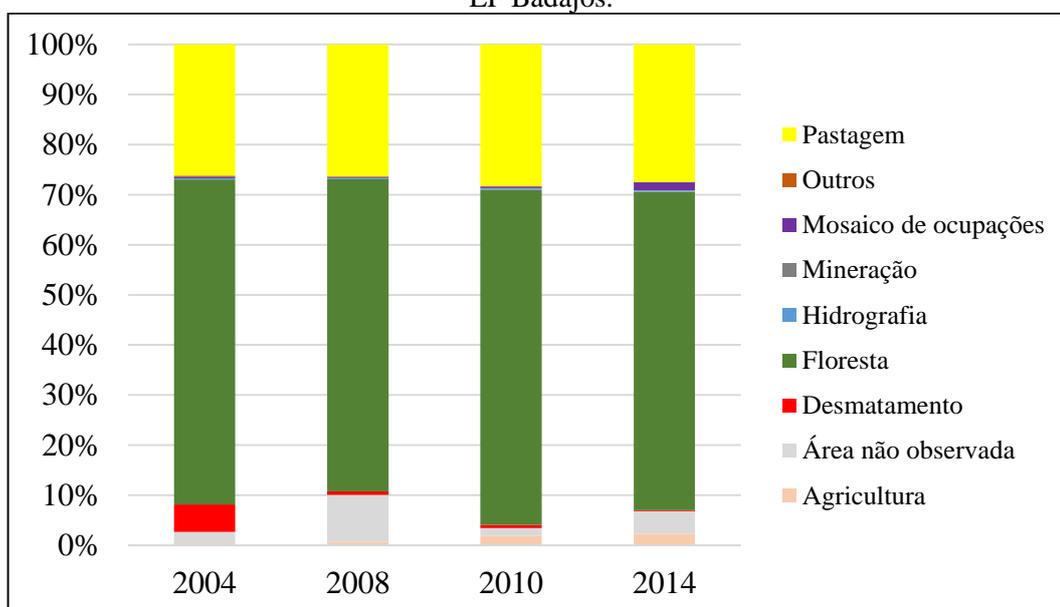
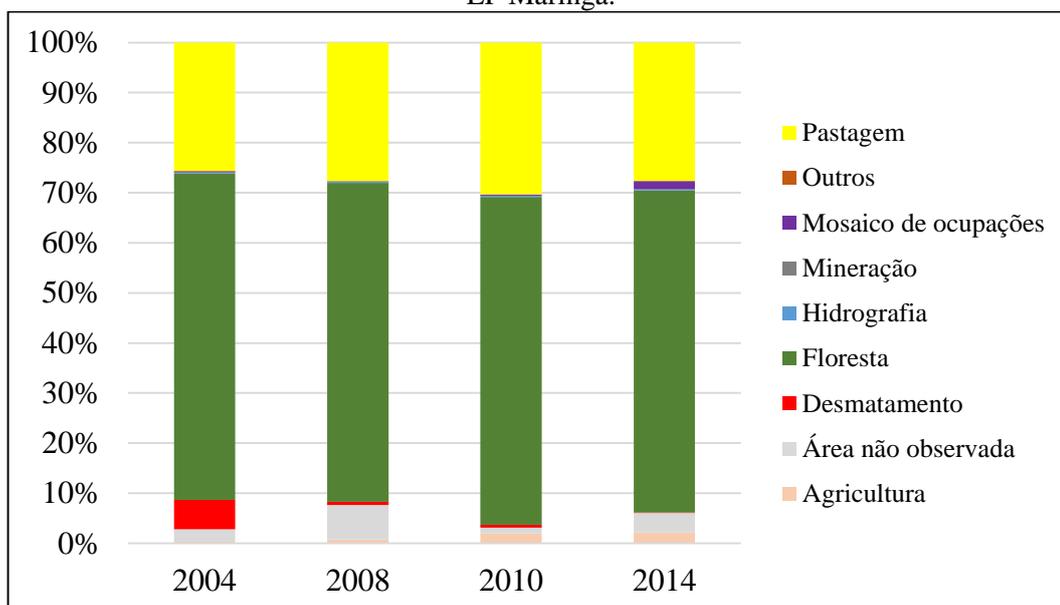


Figura 7 - Proporção das áreas de uso e cobertura da terra nos anos de 2004, 2008, 2010 e 2014, para o EF Maringá.



A partir das Figuras 8 e 9, identifica-se que as classes florestas e pastagem apresentaram uma pequena variação em porcentagem, sendo que a cobertura florestal teve uma diminuição no período estudado, podendo ter sido ocasionada pelo aumento das pastagens para criação de gado. As florestas foram ao longo do período a classe mais representativa da bacia, correspondendo aproximadamente 62% a 67% na região EF Badajós e cerca de 63% a 65% na região EF Maringá.

O aumento da classe pastagem nas duas regiões, para o período estudado, foi de cerca de 1.800 km<sup>2</sup>. Riveiro et al. (2009) e Bizzo e Farias (2017), apontam como os principais fatores historicamente indutores do desmatamento na Amazônia, a pecuária e a agricultura. Sousa et al. (2017), a partir dos dados do projeto TerraClass, identificaram que quanto ao desmatamento ocorrido de 2008 até 2012 no estado do Pará, 63% tornaram-se pastagem (17.515 km<sup>2</sup>), 19% vegetação secundária (5.424 km<sup>2</sup>) e 2% agricultura (513 km<sup>2</sup>), porém na região de Paragominas a agricultura foi a que mais ocupou as áreas anteriormente desmatadas. Neves et al. (2014), afirmam que o desmatamento no município de Paragominas não teve forte correlação com o aumento da pecuária na região, tendo sido ocasionado pela inserção de outras atividades econômicas como o plantio de grãos, principalmente, soja e a extração de madeira para geração de energia térmica (carvão vegetal).

Destaca-se que a região da bacia do rio Capim foi inserida na “*Lista dos municípios amazônicos prioritários para ações de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento ilegal*”, na qual estavam presentes os municípios Paragominas, Dom Eliseu, Ulianópolis e

Rondon do Pará o seu maior efeito foi restringir o acesso dos produtores dos municípios ao crédito bancário oficial (CARNEIRO; ASSIS, 2015); os municípios Paragominas, Dom Eliseu, Ulianópolis são considerados Municípios Verdes, porém Rondon do Pará continua na lista de municípios prioritários no combate ao desmatamento.

Ao se analisar a região estudada identifica-se que a bacia do rio Ararandeua é uma das bacias hidrográficas mais desmatadas de toda região do bioma amazônico. Para Magalhães e Barp (2014) o desmatamento vinculado a pecuária na região estão associados a redução do número de madeiras, este modelo de desenvolvimento provocou grandes problemas socioambientais, entre os quais se destaca a degradação das nascentes e assoreamento dos córregos.

Cabe mencionar que além dos passivos ambientais ocasionados pela intensificação da pecuária na região de estudos outros passivos identificados são os sociais. Segundo Mathis et al. (2006), na região de Rondon do Pará com o aumento da pecuária também ocorreu o aumento do trabalho escravo na região, esse município foi o que teve o maior número de resgates efetuados pelo Ministério do Trabalho, cerca de 32, na região do Nordeste Paraense.

Nota-se nas áreas EF Badajós e EF Maringá o aumento da classe mosaico de ocupações (áreas onde a agricultura familiar é realizada de forma conjugada ao subsistema de pastagens para criação tradicional de gado), cabe ressaltar que devido a metodologia de reclassificação do uso e cobertura do TerraClass, a classe mosaico de ocupações foi associada a área urbana. A área do mosaico de ocupações teve um incremento significativo no período tendo sua área em porcentagem aumentada 2004 (0,27%) para 2014 (1,59%) na EF Badajós e 2004 (0,20%) para 2014 (1,64%) na EF Maringá.

Identifica-se a partir do uso e cobertura da bacia que esses aumentos ocorreram principalmente próximo as sedes municipais de Ipixuna do Pará, Goianésia do Pará e Rondon do Pará. Segundo Castelo e Almeida (2015) o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf) tem fomentado o desenvolvimento dos agricultores familiares por meio de crédito rural para as suas atividades ligadas a agricultura e pecuária, na região do Nordeste Paraense, o que tem promovido a diversificação dos sistemas de produção com a regularização fundiária e o incremento de renda. Dessa forma, programas como o PRONAF tem promovido o desenvolvimento dos pequenos agricultores na região do Capim, podendo ter ocasionado o incremento da classe mosaico de ocupações das áreas EF Badajós e EF Maringá.

Em relação as culturas tradicionais a que mais se destacou em termos de produção na bacia do rio Capim na década de 90 foi a mandioca, porém na última década essa produção reduziu acima de 50%, tendo apenas no município de Ipixuna do Pará ocorrido aumento da sua

produção no período de 2000-2011 (ALVES et al., 2014; GUSMÃO et al., 2016). Segundo Rebello et al. (2011) esse aumento na produção de mandioca em Ipixuna do Pará pode estar ligado ao investimento em assistência técnica na região, uma vez que apresenta cerca de 35% das propriedades rurais com acesso aos serviços de assistência técnica e extensão rural (ATER).

Em relação a mineração na região do Capim o minério de maior importância para a região é o Caulim, explorado pela empresa Imerys Rio Capim Caulim S/A na mina Ipixuna localizada no município de Ipixuna do Pará. A Amazônia Oriental tem importantes jazidas de caulim e a região do rio Capim é considerada como a maior reserva mundial de caulim atualmente em produção (SABEDOT et al., 2014).

Em termos de porcentagem a mineração nas regiões de estudo oscilou entre aumentos e diminuições cerca de (0,01%, 0,03%, 0,06% e 0,02%) nos anos estudados para a região EF Badajós e cerca de (0,05%, 0,00%, 0,00% e 0,01%) para a região EF Maringá. A partir da análise multitemporal das regiões identifica-se que a região da empresa Imerys aumentou constantemente no período, porém pequenas áreas espalhadas pela bacia oriundas principalmente da exploração de areia e seixo para a construção civil perderam lugar para outros usos.

Segundo Barbosa e Marin (2010), a extração do caulim na região do Alto Capim é apontada pela população como a principal causa da contaminação dos recursos hídricos. De acordo com a comunidade, a exploração mineral na região tornou a água imprópria para o consumo, como também, para a reprodução da fauna aquática. Nascimento et al. (2015) afirmam que a expansão de grandes projetos mineradores na região do Capim, em virtude do fomento governamental, tem atingido negativamente as populações ribeirinhas, indígenas, tradicionais e extrativistas. Essas populações ficam dessa forma a mercê de políticas públicas, tendo como principal destino as áreas periféricas das cidades presentes na bacia e os bolsões de pobreza próximos aos grandes projetos.

Em relação a agricultura na região temos um incremento contínuo em termos de porcentagem, correspondente aos valores de 0,34% (2004), 0,67% (2008), 1,86 (2010) e 2,25 (2014). Nas regiões em estudo os municípios que sofreram aumento da classe agricultura foram Paragominas, Ulianópolis, Dom Eliseu e Rondon do Pará, o avanço do agronegócio sobre a região ocasionou o aumento das áreas de terra para a cultura da soja, a qual é a mais expressiva atualmente na região.

Um dos principais municípios produtores de soja no Pará são Paragominas e Ulianópolis, essa cultura normalmente é plantada nas áreas de pastagem velha, porém também tem impacto direto sobre o desmatamento, a sua expansão no Pará tem sido realizada de maneira

intensa (CASTELO; ALMEIDA, 2015). Segundo Sousa et al. (2017), o avanço da agricultura foi maior no município de Ulianópolis, devido a economia do município ser baseada no extrativismo (vegetal e mineral). A partir dos dados do IBGE, identifica-se que a plantação de soja apresenta um crescimento contínuo a partir de 2001 para o Pará (IBGE, 2018).

Vale mencionar que nos quatro anos estudados, observou-se uma pequena porcentagem de nuvens; essa “ausência” do uso e cobertura não prejudicou a avaliação realizada. A área não observada apresentou os percentuais de 2,30% (2004), 9,37% (2008), 1,54% (2010) e 4,56% (2014) para a região EF Badajós, já para a região EF Maringá a porcentagem foi de 2,48% (2004), 6,88% (2008), 1,12% (2010) e 3,89% (2014). No estudo realizado por Sousa et al. (2017), o qual também utilizou os dados do projeto TerraClass, a classe área não observada não foi analisada separadamente, mas sim em conjunto com outras classes.

Em relação a classe outros ela apresentou um percentual bem baixo no decorrer do período estudado, tendo a sua área diminuída no período 2004-2014, na região EF Badajós essa cobertura foi reduziu de 64 km<sup>2</sup> (0,20%) em 2004 para 33,04 (0,10%) em 2014, na região EF Maringá também ocorreu a sua redução de 41,29 km<sup>2</sup> (0,15%) em 2004 para 26,72 km<sup>2</sup> (0,10%) em 2014. Essa classe é definida pela presença de afloramentos rochosos, bancos de areia, praias fluviais, dentre outros.

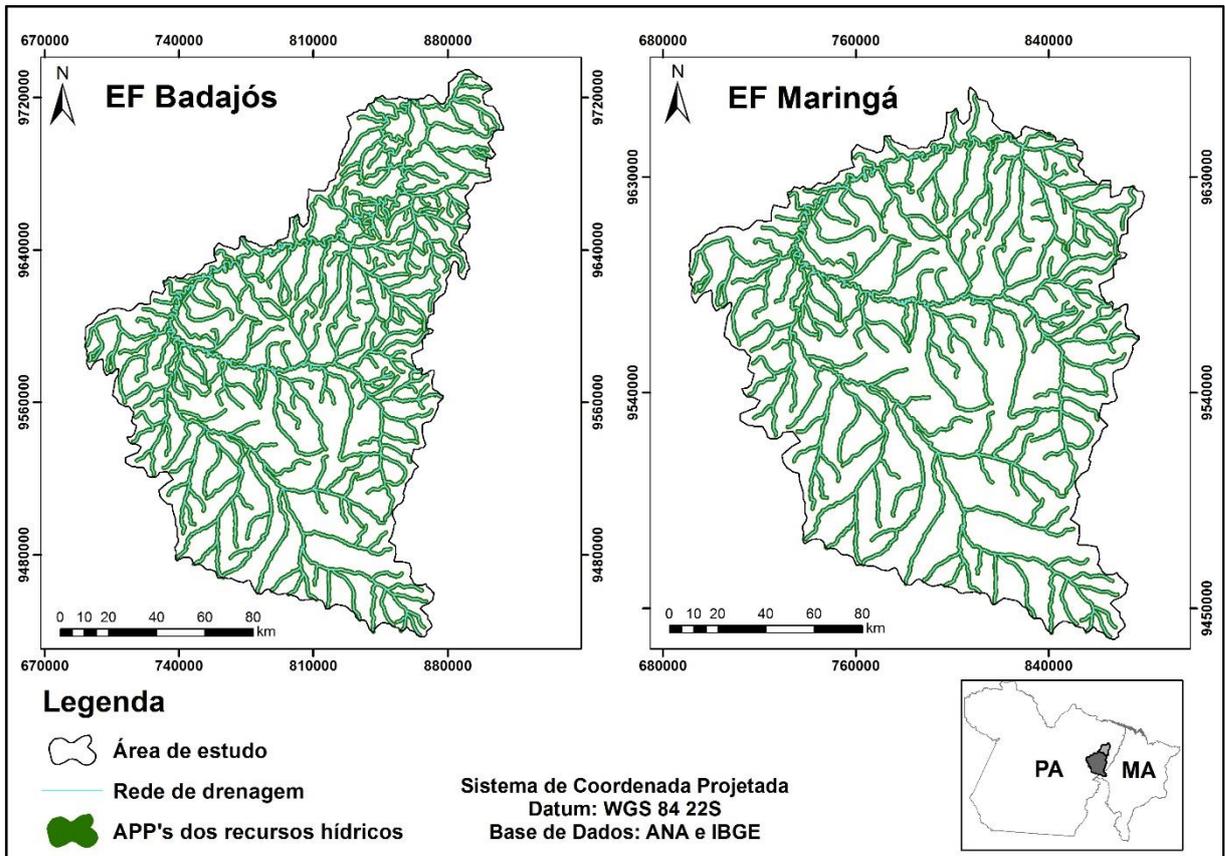
A principal contribuição da identificação dos usos e coberturas das áreas EF Badajós e EF Maringá é evidenciar a situação ambiental dessas e fornecer informações ao poder público sobre as mudanças nos usos e coberturas dessas regiões importantes tanto economicamente como ambientalmente por meio dos seus recursos hídricos. Somente a partir de uma maior governança ambiental e que se pode reduzir os prejuízos ocasionados até o momento nessas regiões.

A partir disso, deve-se aplicar uma visão estratégica em relação as conversões nos usos e coberturas das regiões visando à gestão dos recursos hídricos, pois uma postura antecipatória em relação à gestão da água e do meio ambiente trará grandes benefícios a população como uma melhor qualidade da água para consumo e estabilidade no regime de vazões (MAGALHÃES; BARP, 2014; DING et al., 2015).

#### **4.2 Evolução temporal do uso e cobertura da terra nas APP's das sub-bacias do rio Capim**

Á área destinada as APP's nas áreas EF Badajós e EF Maringá (Figura 10) é da ordem de 594,29 km<sup>2</sup> e 444,44 km<sup>2</sup>, respectivamente, o que representa, 1,79% e 1,66% das áreas estudadas.

Figura 8 - APP's dos recursos hídricos das regiões EF Badajós e EF Maringá.



Fonte: O autor.

Contudo, APP's com vegetação natural representam em média no período estudado 65% nas duas regiões (Figura 11 e 12), logo o desmatamento nas APP's da região do Capim ainda não tomou grandes proporções, porém se o desmatamento avançar sobre essas áreas de preservação nos próximos anos futuramente poderá ser um grande problema para região. Segundo Macfarlane et al. (2016), as condições da variação das áreas vegetativas próximas aos rios, por menor que sejam, tendem a criar instabilidade nas zonas ripárias, levando em consideração o encadeamento da estrutura hídrica em si.

Cardoso e Aquino (2013) identificaram valores próximos de cobertura vegetal nas APP's para uma bacia hidrográfica no Maranhão, cerca de 72%, o principal uso em desacordo com a legislação nas APP's foi a classe pastagem, também se identificou esse uso como o principal em conflito com a legislação nas APP's das regiões EF Badajós e EF Maringá, o que demonstra que o problema da pecuária em APP é recorrente em outras bacias. Almeida e Vieira (2014) afirmam que no município de Moju as APP's com uso irregular estão ocupadas principalmente por pastagens, essas áreas de preservação são muito importantes para os

recursos hídricos, pois quando existente atendem às principais funções ecológicas para a preservação dos mananciais e nascentes de rios.

Figura 9 - Proporção das áreas de uso e cobertura da terra das APP's nos anos de 2004, 2008, 2010 e 2014, para a região EF Badajós.

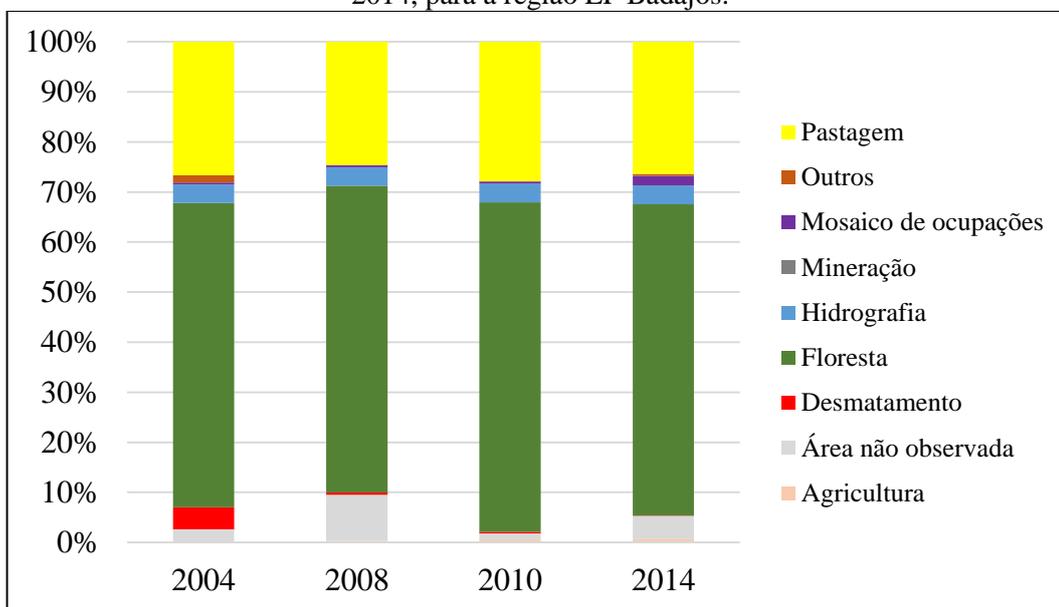
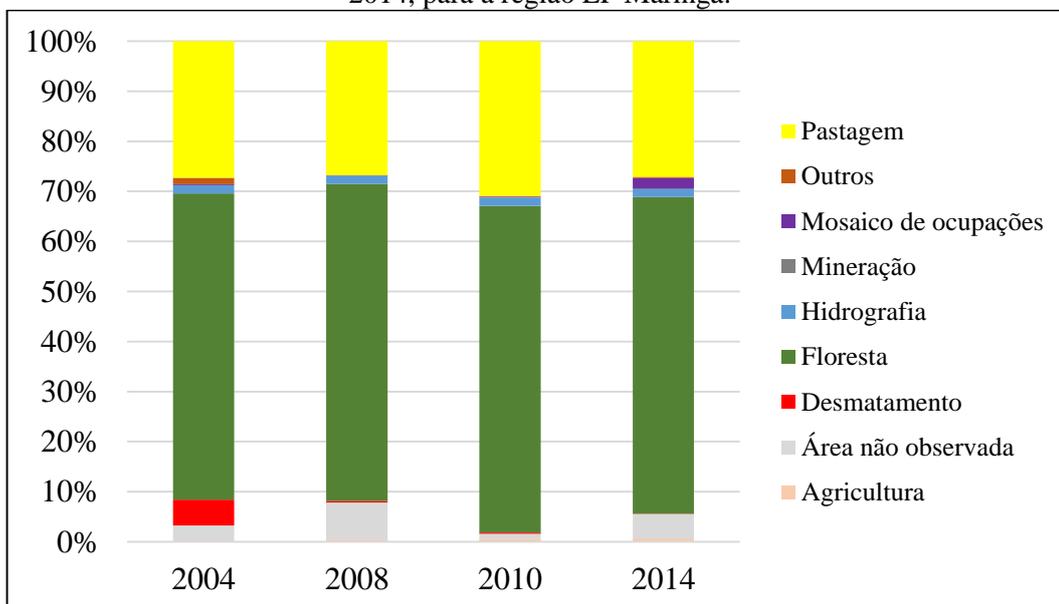


Figura 10 - Proporção das áreas de uso e cobertura da terra das APP's nos anos de 2004, 2008, 2010 e 2014, para a região EF Maringá.



Em um estudo realizado por Venturieri et al. (2005) para a região de Paragominas, identificou-se grandes perdas de vegetação natural nas APP's, no ano de 1996 havia cerca de 20,7 km<sup>2</sup> de vegetação natural no raio de 1000 m dos recursos hídricos, porém em 2004 esse valor foi reduzido para somente 1,2 km<sup>2</sup>.

O aumento da classe floresta nas APP's no período estudado é justificado pelo fato de Paragominas, Dom Eliseu, Ulianópolis e Rondon do Pará terem aderido ao plano “Municípios Verdes”, os quais tiveram que adotar algumas medidas como promover a redução do desmatamento, se adequar a legislação ambiental, manejar adequadamente a floresta, entre outras especificações (COSTA; FLEURY, 2015; SOUSA et al., 2017). Além disso, as ações ilegais de acordo com o Código Florestal Brasileiro, em relação as áreas ripárias, provocaram uma governança florestal mais forte no Estado do Pará a partir de 2007, com a exigência da recomposição florestal de APP's e reservas legais por decretos e leis estaduais (ALMEIDA; VIEIRA, 2014).

O nível de desmatamento sofreu uma redução de 26,16 km<sup>2</sup> (4,40%) em 2004 para 0,53 km<sup>2</sup> (0,09%) em 2014 na área EF Badajós e também sofreu redução de 22,73 km<sup>2</sup> (5,11%) em 2004 para 0,42 km<sup>2</sup> (0,09%) em 2014 na área EF Maringá. Também com uma redução na sua área encontra-se a classe pastagem que em 2004 tinha 158,30 km<sup>2</sup> (26,64%) e em 2014 apresentou 157,03 km<sup>2</sup> (26,42%) na região EF Badajós e na EF Maringá para o ano de 2004 apresentou 121,40 km<sup>2</sup> (27,32%) e em 2014 diminuiu para 120,40 km<sup>2</sup> (27,09%) ambas nas APP's dos recursos hídricos das respectivas regiões (Tabela 8 e 9).

Tabela 8 - Áreas do uso cobertura da terra das APP's dos recursos hídricos na bacia do rio Capim até a estação Badajós.

Classes	2004		2008		2010		2014	
	Km <sup>2</sup>	%						
<b>Agricultura</b>	1,14	0,19%	2,02	0,34%	3,34	0,56%	3,83	0,64%
<b>Área não observada</b>	14,61	2,46%	54,66	9,20%	7,27	1,22%	27,67	4,66%
<b>Desmatamento</b>	26,16	4,40%	2,49	0,42%	2,11	0,35%	0,53	0,09%
<b>Floresta</b>	360,89	60,73%	364,09	61,27%	390,98	65,79%	369,39	62,16%
<b>Hidrografia</b>	22,27	3,75%	22,25	3,74%	22,35	3,76%	22,25	3,74%
<b>Mineração</b>	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,08	0,01%	0,04	0,01%
<b>Mosaico de ocupações</b>	2,23	0,38%	2,21	0,37%	2,32	0,39%	11,53	1,94%
<b>Outros</b>	8,68	1,46%	0,16	0,03%	0,80	0,13%	2,01	0,34%
<b>Pastagem</b>	158,30	26,64%	146,42	24,64%	165,04	27,77%	157,03	26,42%
<b>Total</b>	594,29	100%	594,29	100%	594,29	100%	594,29	100%

Tabela 9 - Áreas do uso cobertura da terra das APP's dos recursos hídricos na bacia do rio Capim até a estação Fazenda Maringá.

Classes	2004		2008		2010		2014	
	Km <sup>2</sup>	%						
<b>Agricultura</b>	1,12	0,25%	1,96	0,44%	2,92	0,66%	3,23	0,73%
<b>Área não observada</b>	13,47	3,03%	32,99	7,42%	4,22	0,95%	21,31	4,79%
<b>Desmatamento</b>	22,73	5,11%	1,31	0,29%	1,24	0,28%	0,42	0,09%
<b>Floresta</b>	271,94	61,19%	281,35	63,30%	289,89	65,23%	281,25	63,28%

<b>Hidrografia</b>	7,37	1,66%	7,35	1,65%	7,38	1,66%	7,35	1,65%
<b>Mineração</b>	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,08	0,02%	0,04	0,01%
<b>Mosaico de ocupações</b>	0,94	0,21%	0,31	0,07%	0,79	0,18%	9,17	2,06%
<b>Outros</b>	5,46	1,23%	0,15	0,03%	0,32	0,07%	1,29	0,29%
<b>Pastagem</b>	121,40	27,32%	119,03	26,78%	137,61	30,96%	120,40	27,09%
<b>Total</b>	444,44	100%	444,44	100%	444,44	100%	444,44	100%

No mesmo sentido dessa análise, Sousa et al. (2017) expõem que para o município de Paragominas, a classe pastagem teve redução de sua área total, durante o período estudado. No estudo realizado por Adami et al. (2015), também se identificou uma redução na classe pastagem para o Estado do Pará.

Da área total de APP presente na EF Badajós e EF Maringá, cerca de 594,29 km<sup>2</sup> e 444,44 Km<sup>2</sup>, respectivamente, foram identificados como em desacordo com a legislação ambiental cerca de 196,51 km<sup>2</sup> (35,25%) na EF Badajós e 151,66 km<sup>2</sup> (35,80%) na EF Maringá. Esse levantamento acerca dos conflitos no uso e cobertura da terra nas APP's das regiões EF Badajós e EF Maringá é muito importante para a conservação ambiental, pois as APP são fundamentais para a preservação dos recursos hídricos. O percentual de APP em conflito com a cobertura florestal está coerente com os valores encontrados por outros autores (CAMPAGNOLO et al., 2017; CARDOSO; AQUINO, 2013; PINHEIRO et al., 2011) em diversos estudos a respeito da caracterização dos usos e coberturas da terra em APP.

Os dados das Tabela 8 e 9 apontam para as regiões EF Badajós e EF Maringá como tendo, respectivamente, 64,75% e 64,20% de sua área de APP preservadas ou de acordo com as recomendações da legislação ambiental. Segundo Cardoso e Aquino (2013), ao estudar microbacia do riacho do Roncador, Maranhão, consideraram o percentual de 72,1% do total da área de APP preservada de acordo com a legislação ambiental como sendo uma situação “confortável”, levando em consideração o panorama crescente de degradação ambiental pelas atividades antrópicas.

Foi observado que do total das áreas em conflito de uso, a classe pastagem é responsável pela maior área em desacordo com a legislação ambiental, ocupando em média 26% e 28% para as regiões EF Badajós e EF Maringá, respectivamente, no período de 2004-2014. Resultados próximos aos obtidos por Pereira et al. (2016) para a bacia hidrográfica de Peixe-Boi, Pará, a qual carece segundo os autores de um planejamento para o uso e cobertura da terra das APP's dos recursos hídricos.

A presença de pastagem em APP também foi evidenciada no estudo desenvolvido por Souza et al. (2012), o qual identificou o aumento do risco de compactação do solo ocasionado

pelo pisoteamento do gado, dificultando assim a regeneração natural, essa compactação diminui sensivelmente o poder de infiltração da água em regiões mais profundas, desencadeando processos erosivos e fluxos maiores de vazão.

Esse aumento das áreas de pastagem nas APP's dos recursos hídricos ocasiona diversos problemas, entre eles o acesso do gado ao leito do rio ocasionando danos nas margens e contaminando as águas pelas fezes dos animais (ALMEIDA; VIEIRA, 2014). Nos estudos realizados por Souza et al. (2012) e Pereira et al. (2016), identificou-se a situação alarmante com relação aos conflitos de uso da terra, em que se encontram as APP's do nordeste paraense.

Nesse sentido, a vegetação que recobriria a rede de drenagem contribuiria para a regularização do fluxo hídrico, tanto na manutenção dos aspectos de porosidade da superfície do solo como na viabilização da evapotranspiração das plantas, favorecendo também o aumento da umidade atmosférica e, conseqüentemente, a manutenção das chuvas (SOUZA et al., 2012).

Em relação a classe agricultura identificou-se que do total das áreas em conflito de uso, essa classe é responsável por uma pequena porcentagem 2004 (0,20%), 2008 (0,39%), 2010 (0,59%) e 2014 (0,70%) na região EF Badajós e 2004 (0,27%), 2008 (0,48%), 2010 (0,67%) e 2014 (0,78%) na região EF Maringá. Resultados próximos aos obtidos por Pereira et al. (2016), para a bacia hidrográfica de Peixe-Boi, a qual apresenta um sistema de agricultura tradicional de baixa sustentabilidade, mesmo a área de conflito da agricultura correspondendo a somente 4% identificou-se interferência na qualidade dos recursos hídricos por essa classe.

Diversos estudos (ALMEIDA; VIEIRA, 2014; GARCIA et al., 2015; MOREIRA et al., 2015; CAMPAGNOLO et al., 2017) tem constatado a classe agricultura em APP em diversas regiões do país, por mais que a legislação não permita. Além da agricultura em larga escala a pequena agricultura, também, é favorecida pela proximidade dos recursos hídricos, justificando porcentagens elevadas dessa classe em APP, como a identificada por Cardoso e Aquino (2013), os quais identificaram cerca de 24,3% desse uso nas APP's de uma microbacia do Maranhão.

Para Nardini et al. (2015), a gravidade do desflorestamento é função do tipo de cobertura substituída, que em muitos casos ocorrem pelas classes agricultura e pastagem, atividades produtivas que desvalorizam a cobertura vegetal, principalmente nas regiões de APP; como já visto as florestas são de extrema importância para a estabilidade dos recursos hídricos e para regularização do seu fluxo, uma vez que contribuem para a infiltração da água no solo, na qualidade da água, na minimização dos processos erosivos, atenuam a lixiviação e servem de abrigo e alimento para fauna.

Em relação a classe mosaico de ocupações também se identificou incrementos na área de APP, acompanhando o crescimento desse uso nas duas regiões estudadas, nas APP's da

região EF Badajós esse uso subiu de 2,23 km<sup>2</sup> (0,38%) em 2004 para 11,53 km<sup>2</sup> (1,94%) e na região EF Maringá esse uso também teve um acréscimo tendo passado de 0,94 km<sup>2</sup> (0,38%) no ano 2004 para 9,17 km<sup>2</sup> (2,06%) em 2014. Na região de Rondon do Pará a presença dos mosaicos de ocupações, nas APP's, próximo ao rio Pebas é muito preocupante, pois além de construções comuns, foi identificado por Rego et al. (2011) e Rego et al. (2013), a presença de matadouros e laticínios nessas áreas, os quais despejam os seus efluentes no curso d'água sem o tratamento adequado.

Outro uso que merece atenção é o da classe mineração, a qual vem se desenvolvendo nas duas áreas no período 2004-2014 da mesma forma, aumentando de 0 km<sup>2</sup> em 2004 para 0,04 km<sup>2</sup> em 2014, como mencionado anteriormente a região apresenta grandes reservas de Caulim, podendo ser a extração desse mineral a causa do aumento da mineração nas regiões de APP. Porém em estudos realizados por Rego et al. (2011) e Rego et al. (2013), foi identificado que o principal mineral explorado nas APP's dos recursos hídricos do rio Ararandeuá, localizado nas regiões estudadas, é a areia. Segundo Rego et al. (2011), a existência da extração de minérios na APP (Figura 13), ocasiona sérios prejuízos para o rio Ararandeuá.

Figura 11 - Extração de minério no rio Ararandeuá.



Fonte: Rego et al. (2011).

Em relação a área não observada nas APP's, obteve-se os percentuais de 2,46% (2004), 9,20% (2008), 1,22% (2010) e 4,66% (2014) para a região EF Badajós, já para a região EF Maringá a percentagem foi de 3,03% (2004), 7,42% (2008), 0,95% (2010) e 4,79% (2014), percentuais semelhantes aos obtidos para o uso e cobertura da área total das duas regiões.

Em relação a classe outros ela apresentou um percentual bem baixo no decorrer do período estudado, tendo a sua área diminuída no período 2004-2014, na região EF Badajós esse uso reduziu de 8,68 km<sup>2</sup> (1,46%) em 2004 para 2,01 (0,34%) em 2014, na região EF Maringá

esse uso também sofreu redução de 5,46 km<sup>2</sup> (1,23%) em 2004 para 1,29 km<sup>2</sup> (0,29%) em 2014. Essa classe é definida pela presença de afloramentos rochosos, bancos de areia, praias fluviais, dentre outros.

De acordo com diversos autores Carmo et al. (2014), Moreira et al. (2015) e Luppi et al. (2015), a preservação da vegetação no entorno das nascentes, sistemas ambientais naturais, é muito importante para a disponibilidade da água nos rios por ela abastecidos, pois sem a proteção adequada nessas áreas nota-se um processo de degradação dos recursos hídricos. Logo, a falta de vegetação ao redor das nascentes da área de estudo, podem resultar no seu assoreamento, devido ao carreamento das partículas contidas na superfície do solo. Esse processo ocasiona a diminuição da vazão nas nascentes e promove a contaminação desses recursos, além disso, pode ocasionar doenças nos seres humanos e animais (SILVEIRA; OLIVEIRA, 2016).

Como já identificado a supressão da vegetação ripária nas áreas de estudo pode ocasionar modificações na quantidade e qualidade da água dos recursos hídricos, em diversos estudos realizados sobre a qualidade da água: Cunha e Calijuri (2010), Dechen et al. (2015), Souza e Gastaldini (2014) e Pereira et al. (2016); identificaram que a presença ou ausência da mata ciliar afeta as suas características físico-químicas e que a distância das áreas antropizadas é inversamente proporcional à melhores níveis de qualidade da água. Além disso, notou-se uma considerável relação entre a preservação da vegetação natural nas APP e a melhor qualidade da água em bacias hidrográficas, isso ocorre em decorrência da cobertura pela vegetação arbórea reduzir o escoamento superficial, o que irá diminuir os processos erosivos e a lixiviação do solo para os cursos d'água (DECHEN et al., 2015; PEREIRA et al., 2016).

### **4.3 Análise das métricas da paisagem para as sub-bacias bacias**

Os resultados das análises ao nível de classe para as métricas NP, LPI, TE, ED, IJI e AI para as regiões EF Badajós e EF Maringá estão presentes nas Figuras 14 e 15, respectivamente.

Figura 12 - Métricas de paisagem para a região EF Badajós: Número de fragmentos (NP); Índice de maior fragmento (LPI); Total de bordas (TE); Densidade de bordas (ED); Índice de intercalação e justaposição (IJI); Índice de Agregação (AI).

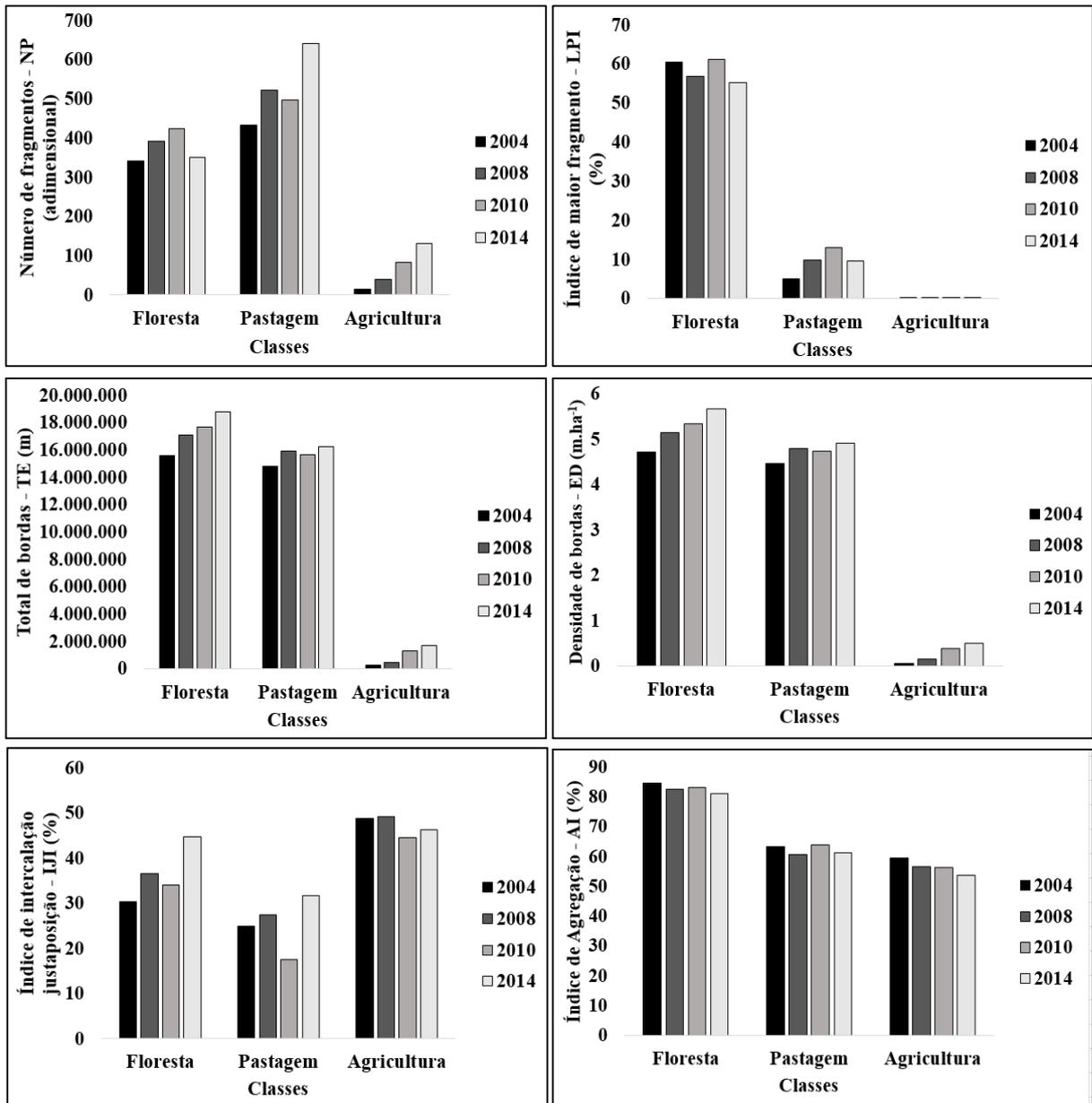
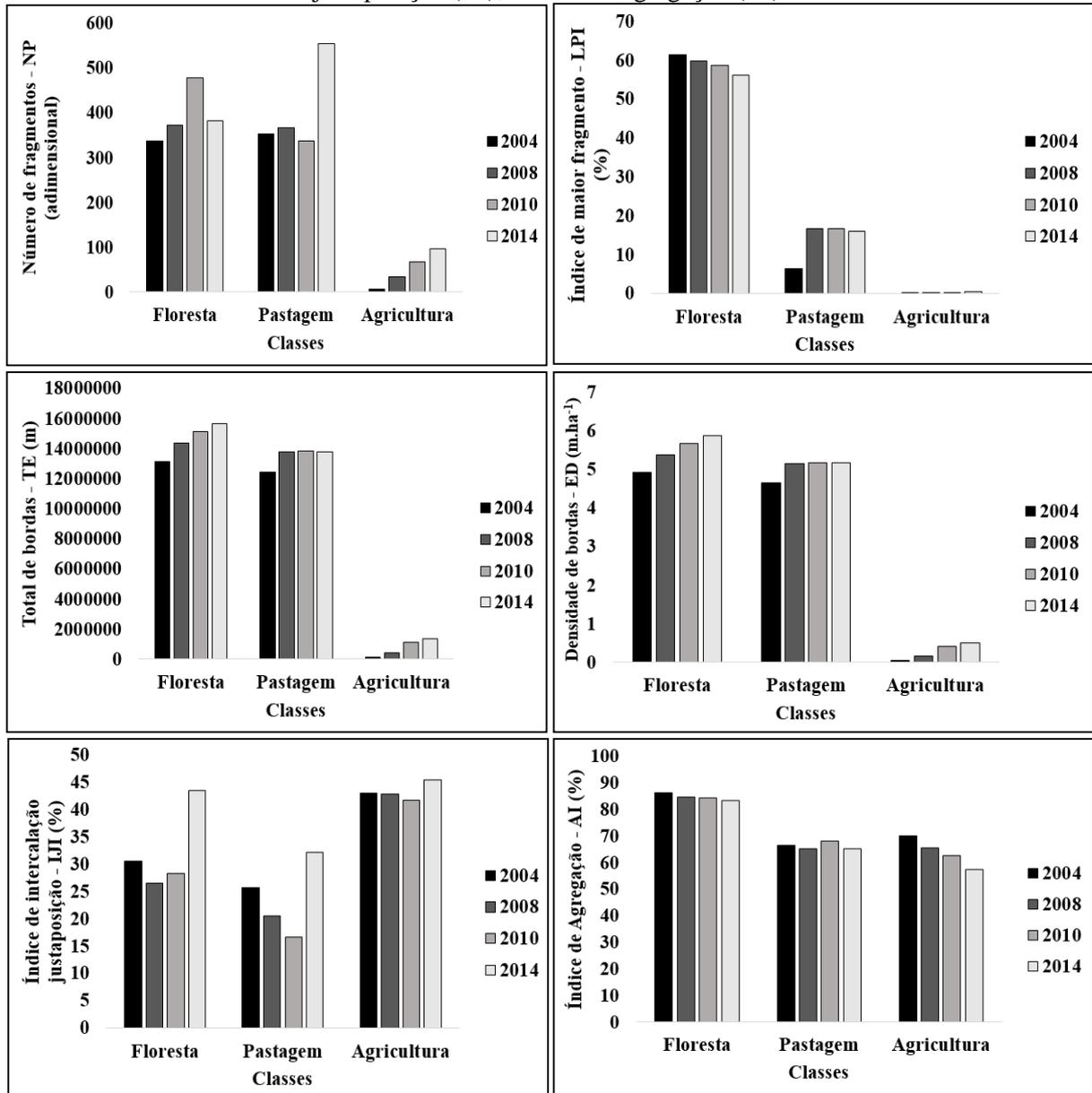


Figura 13 - Métricas de paisagem para a região EF Maringá: Número de fragmentos (NP); Índice de maior fragmento (LPI); Total de bordas (TE); Densidade de bordas (ED); Índice de intercalação e justaposição (IJI); Índice de Agregação (AI).



Segundo Fernandes et al. (2017), o aumento do número de fragmentos (NP) indica uma maior fragmentação da classe e menores valores correspondem a uma maior união ou a extinção de fragmentos dessa classe. A pastagem apresenta dentre as classes estudadas, os maiores valores de NP para as duas regiões no período estudado, essa classe teve um aumento de 433 fragmentos em 2004 para 641 em 2014 na região EF Badajós e de 353 em 2004 para 554 em 2014 na região EF Maringá, observa-se que o alto NP está associado a um aumento dessa classe na bacia, podendo ter sido ocasionado pelo aumento do fomento governamental a pecuária nos anos estudados (MEIRELLES FILHO, 2014).

No estudo realizado por Cabacinha et al. (2010) identificou um aumento da área de agricultura para a região da bacia do rio Araguaia, porém esse aumento de área foi acompanhado de uma redução do NP, segundo os autores isso aconteceu, pois, as áreas de monocultura aumentaram e se conectaram mais, devido ao forte aumento da produção de grãos, em especial da soja.

Segundo Carneiro et al. (2011), a mata ciliar é uma componente da paisagem muito importante, pois a sua conexão diminui o número de fragmentos, podendo ser responsável pela diminuição do NP junto a um aumento da sua área. As áreas de APP das regiões EF Badajós e EF Maringá tiveram um incremento de floresta no período 2004-2014, porém ele foi muito pequeno para a afirmar que esse foi o motivo da diminuição do NP das duas regiões estudadas.

Em relação ao índice de maior fragmento (LPI), denominado matriz, ocorreu uma redução constante da matriz florestal para as duas regiões estudadas, na região EF Badajós reduziu de 60,51 (2004) para 55,16 (2014), o mesmo processo ocorreu na região EF Maringá a qual sofreu a redução do maior fragmento de 61,42 (2004) para 56,07 (2014).

A classe floresta apresenta o maior percentual da área do maior fragmento (LPI), isso significa que essa classe nas regiões de estudo está interconectada, formando uma grande mancha composta por vegetação natural que cobre mais de 60% da bacia.

Segundo Costa et al. (2015), quanto menor o tamanho do remanescente florestal, maior será a influência de fatores externos nesse fragmento, o que diminui a qualidade ambiental considerando a biodiversidade; além disso, grandes fragmentos florestais podem conter diversos habitats presentes em uma região, diferente de fragmentos menores, que abrigam poucos habitats. De acordo com Laurence et al. (2011), o tamanho dos fragmentos é muito importante para ecologia de paisagem, pois quanto maior o fragmento maior será a riqueza de espécies nessa região.

O segundo maior LPI nas regiões foi o da classe pastagem, na região EF Badajós esse índice aumentou no período de 4,88 (2004) para 9,58 (2014), já na região EF Maringá esse índice subiu de 6,38 (2004) para 15,97 (2014). A partir desses resultados identifica-se que a matriz da pastagem pode ter aumentando no período pela conversão de áreas de floresta em pastagem, pois, à medida que o LPI da floresta diminuiu o da pastagem aumentou e também pelo aumento da conexão dessa classe nas regiões. Essa conversão no uso também foi verificada por Sousa et al. (2017) para os municípios de Paragominas e Ulianópolis.

A agricultura apresentou valores muito baixos de LPI, não superando o índice de 0,36 nas duas regiões, essa matriz agrícola está localizada entre os municípios de Paragominas e Ulianópolis. Segundo Vasconcellos et al. (2016), a soja nessa região está se desenvolvendo

devido as vantagens no escoamento da produção e pelos incentivos fiscais do Governo do Estado.

Segundo Etto et al. (2013), as mudanças nos usos e coberturas da terra provocam a fragmentação dos remanescentes florestais gerando ecossistemas fragilizados por fenômenos como o efeito de borda, ou seja, alterações localizadas nas áreas de contato entre a matriz antropizada e o remanescente florestal. A densidade de bordas apresenta o mesmo sentido do total de bordas, porém sendo visto em termos de porcentagem (COSTA et al., 2015). De acordo com Pirovani et al. (2014), essa diferença entre TE e ED, é devida ao valor de área ocupado pela classe, sendo a densidade de bordas inversamente proporcional a essa área.

Em relação as áreas de estudo identificaram-se os maiores valores de TE e ED para a floresta e pastagem, ambas as classes apresentaram aumento contínuo da sua área de borda no período 2004-2014. A classe floresta teve um aumento constante de TE 15.607.239,90 (2004), 17.057.563,50 (2008), 17.683.400,11 (2010) e 18.746.970,75 (2014) para a região EF Badajós, na região EF Maringá também ocorreu aumento 13.132.651,52 (2004), 14.374.663,61 (2008), 15.138.629,63 (2010) e 15.672.649,44 (2014). Dessa forma, essa classe apresenta os maiores efeitos de borda, dentre as classes estudadas, considerando que apresenta os maiores valores de TE e ED.

Pereira et al. (2001) ao analisarem a região leste do Pará, também observaram aumento da ED para as classes floresta e pastagem, segundo os autores isso ocorreu pelo aumento do NP das duas classes no período, o que ocasionou maior degradação desse ambiente, pelos efeitos de borda. Segundo Siqueira et al. (2004), a conversão de habitats contínuos para habitats remanescentes aumenta a TE da classe, ocasionando mudanças no microclima desses fragmentos impactados. Além de mudanças microclimáticas ocasionadas nesses fragmentos, tem-se alterações bióticas e abióticas que ocorrem principalmente nas áreas de borda, as quais influenciam diretamente a estrutura da vegetação e fauna regional (SCHAADT; VIBRANS, 2015).

Em relação a métrica TE para a classe pastagem, ocorreu o aumento desses índices no período 2004-2014 nas duas regiões, tendo evoluído de 14.766.931,20 (2004) para 16.227.802,61 (2014) na região EF Badajós, já na região EF Maringá evoluiu de 12.406.505,60 (2004) a 13.790.721,26 (2014). Possivelmente esse aumento ocorreu pelo incremento de novas áreas de pastagem na região, principalmente, nos municípios de Paragominas, Ulianópolis e Rondon do Pará. Esse aumento da classe pastagem na região foi ocasionado pelo incentivo governamental para a atividade da pecuária (CASTELO; ALMEIDA, 2015), porém identifica-se a diminuição brusca do desmatamento a partir de 2004, logo o pasto está sendo implantado em áreas

tidas como menos produtivas, pois os incentivos governamentais estão atrelados ao combate ao desmatamento na região (MEIRELLES FILHO, 2014).

A agricultura também apresentou crescimento no índice de TE nas duas regiões, passando de 210.956,16 (2004) para 1.656.005,86 (2014) na região EF Badajós e de 155.818,81 (2004) para 1.361.523,60 (2014) na região EF Maringá. O aumento do fomento governamental tanto por incentivos diretos, crédito rural, como pelos indiretos, melhoria da infraestrutura para o escoamento da produção, influenciou no aumento da soja na região (CASTELO; ALMEIDA, 2015).

Em relação ao desmatamento nas regiões estudadas identificou-se a geometria do tipo “espinha de peixe”, município de Dom Eliseu, também identificada por Costa et al. (2015), para o município de Corumbiara, Rondônia. Esse desmatamento é ocasionado pela abertura de áreas próximas as rodovias, normalmente para mosaicos de ocupações ou pastagem, ocasionando a fragmentação florestal na área (BATISTELLA; MORAN, 2005). Na região de estudo ocorreu grande supressão vegetal para a criação dos assentamentos ortogonais (CARNEIRO; ASSIS, 2015), essa modificação na estrutura da paisagem ocasionou o aumento do efeito de borda nas regiões de estudo pela abertura de novas áreas.

Segundo Vidolin et al. (2011) o índice de intercalação e justaposição (IJI) identifica o grau de agregação dos fragmentos componentes das classes na paisagem considerando as suas adjacências. Segundo os autores, esse índice varia de 0 a 100, os valores próximos a 0 indicam que o fragmento tem menos contato com outro de sua classe, já valores próximos a 100 indicam maiores adjacências entre os fragmentos da mesma classe.

O IJI foi avaliado nas classes floresta, pastagem e agricultura. A classe que apresentou os maiores índices dessa métrica no período estudado para as duas regiões foi a agricultura, na região EF Badajós apresentou valores entre 44,56 e 49,25, já na EF Maringá teve valores entre 41,66 e 45,5. Na bacia do rio Capim a principal cultura inserida na região é a soja, tendo como os municípios de Paragominas e Ulianópolis os seus principais produtores (SOUSA et al. 2017) Em contraste a essa classe, tem-se a classe pastagem a qual apresenta os menores valores para a área de estudo alcançando o seu maior valor em 2014 (31,72) na região EF Badajós e em 2014 (32,22) na região EF Maringá.

A classe floresta teve um aumento do IJI nas duas regiões estudadas, subiu de 30,36 (2004) para 44,70 (2014) na área EF Badajós e de 30,52 (2004) para 43,51 (2014) na região EF Maringá. Esses índices encontrados são considerados baixos para a classe floresta, indicando que na paisagem os fragmentos florestais estão mais concentrados (CEMIN et al. 2009). Segundo Moraes et al. (2015b), a diminuição constante do IJI é muito prejudicial para os

fragmentos florestais, pois ela diminui a conexão e a proximidade entre eles, prejudicando a flora e o fluxo da fauna, a diminuição desse índice afeta também os “trampolins ecológicos”, os quais servem de abrigo para os animais durante os seus grandes deslocamentos. Quanto menor a distância entre os fragmentos, maior será a possibilidade de dispersão das espécies na região (FERNANDES et al., 2017).

Segundo Calegari et al. (2010), a formação de ilhas e corredores de vegetação unindo fragmentos, é fundamental para o aumento da proximidade e conectividade entre fragmentos. Por isso deve ser realizada a restauração florestal, principalmente, nas APP's. De acordo com Pereira et al. (2012), a maior parte dos fragmentos está localizada junto aos recursos hídricos e, por isso, esses fragmentos são muito importantes para os corredores, pelo seu formato alongado ao invés de formatos mais simples, os quais não são muito vantajosos para o fluxo gênico.

Segundo Vidolin et al. (2011), em relação ao índice de agregação (AI) este identifica como os fragmentos ou classes estão agregados ou dispersos na paisagem, permitindo identificar o maior isolamento ou agregação das classes. Esse índice varia de 0 a 100, os valores próximos a 0 indicam que os fragmentos da classe estão dispersos na paisagem, ou seja, há maior desagregação entre eles, já os valores próximos a 100 indicam alta agregação entre os fragmentos da classe. Logo, o AI aumenta à medida que os fragmentos da classe apresentam maior agregação.

Dessa forma a partir da análise das classes, identifica-se que a classe floresta apresenta os maiores valores de AI para as duas regiões estudadas. Na região EF Badajós os valores desse índice decresceram no período 84,57 (2004), 82,36 (2008), 82,97 (2010) e 80,95 (2014), esse processo também ocorreu na EF Maringá 86,23 (2004), 84,53 (2008), 84,14 (2010) e 83,21 (2014).

As classes que possuem menor agregação de seus fragmentos são pastagem e agricultura para ambas as regiões estudadas, em relação a pastagem na região EF Badajós esse índice correspondeu a 63,06 em 2004 e 61,29 em 2014, já para a agricultura esse índice foi menor apresentando 59,41 em 2004 e 53,57 em 2014. Na região EF Maringá esses valores também diminuíram para ambas as classes, a pastagem sofreu redução de 66,32 (2004) para 65,17 (2014), já a classe agricultura reduziu de 70,08 (2004) para 57,43 (2014).

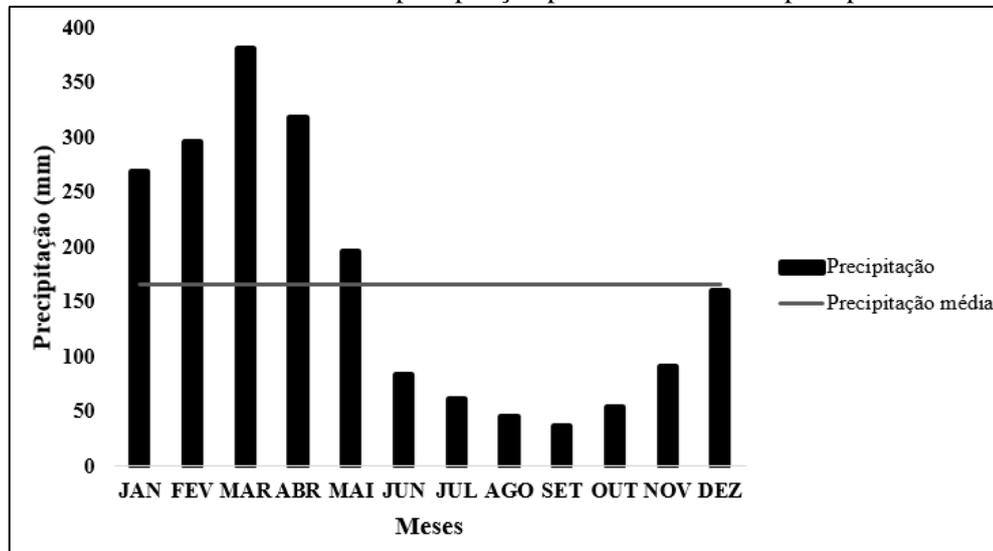
Logo, a partir da análise da classe floresta nesse período, a qual caracteriza a matriz, identifica-se que corresponde a classe que se encontra mais bem concentrada na paisagem nas duas regiões, EF Badajós (IJI = 30,36 a 44,70) e EF Maringá (IJI = 26,56 a 43,51) e também a classe mais agregada na paisagem nas duas regiões, EF Badajós (AI = 80,95 a 84,57) e EF Maringá (AI = 83,21 a 86,23).

#### 4.4 Análise da precipitação

Durante o período analisado (1983-2014) na região da bacia do rio Capim, a média da precipitação anual foi de 1993 mm, tendo o mês de março como o de maior quantidade precipitada, cerca de 380 mm, já o mês de menor média precipitada foi setembro, cerca de 37 mm (Figura 16).

Albuquerque et al. (2010) observaram para a região do Capim, uma precipitação anual média de 1837 mm. Já no estudo realizado por Amanajás e Braga (2012), identificaram uma precipitação anual média em torno de 2100 mm. Segundo Moraes et al. (2005), a variação anual da precipitação nessa região está compreendida entre 1800 e 2300 mm.

Figura 14 - Média mensal acumulada da precipitação para bacia do rio Capim: período 1983 a 2014.



Fonte: O autor.

A precipitação apresentou maior volume entre os meses de dezembro e maio (1619 mm), período mais chuvoso. De acordo com Amanajás e Braga (2012) e Moraes et al. (2015a), na região central e norte da Amazônia, o sistema precipitante de maior importância é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), e na região sul, os principais sistemas são a Zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Sistemas Frontais.

Segundo Moraes et al. (2005), a variação sazonal da precipitação no Estado do Pará é caracterizada por uma estação chuvosa, que na maioria das localidades compreende os meses de dezembro a maio, e por uma estação menos chuvosa que corresponde geralmente ao período de junho a novembro. Normalmente o período chuvoso inicia-se em dezembro e tem duração de seis meses, sendo o mês de março o mais chuvoso no Estado do Pará, com exceção do Baixo

Amazonas que ocorre no mês de abril, isso ocorre pela intensificação dos efeitos locais associados à presença da ZCIT (ALBUQUERQUE et al., 2010).

Observa-se que o trimestre mais chuvoso na bacia do rio Capim é fevereiro a abril com um total médio no trimestre de 994 mm, que representa aproximadamente 50% do total médio anual. Segundo Albuquerque et al. (2010), a transição da sazonalidade da precipitação em todas as mesorregiões do Estado do Pará ocorre de maneira muito brusca do período chuvoso para o período menos chuvoso, com diminuição abrupta da precipitação; e em relação ao período menos chuvoso ele ocorre normalmente durante os períodos de inverno e primavera e o mais chuvoso ocorre durante os períodos de verão e outono para o Estado do Pará.

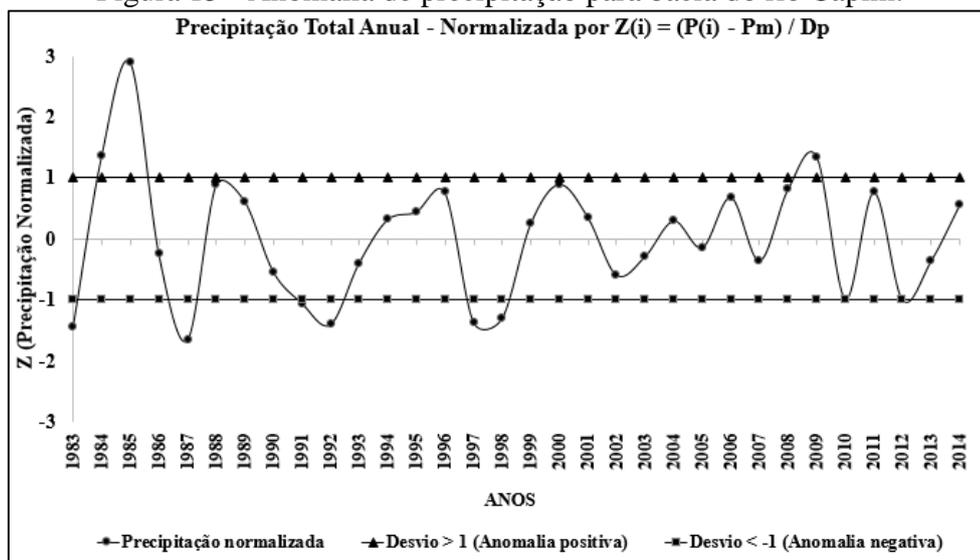
Segundo Amanajás e Braga (2012), a bacia do rio Capim encontra-se localizada na região homogênea 3, a qual é considerada a terceira porção mais chuvosa da região, com total anual em torno de 2100 mm, tendo o trimestre de fevereiro a abril, como o mais chuvoso (1052,7 mm).

Menezes et al. (2015), na região do Capim, o período de estiagem sofre antecipação julho, agosto e setembro indicando a influência da ZCAS nestas regiões, conjuntamente com a ZCIT. Para a região do Capim observa-se uma marcha sazonal, com aumento da precipitação a partir de dezembro e fim da estação chuvosa em maio, com picos em março, a precipitação decresce significativamente nos meses posteriores, com um período menos chuvoso de junho a novembro, isto ocorre porque nesse período a região sofre influência da migração sazonal da ZCIT.

A partir da análise da anomalia de precipitação na bacia do rio Capim dos anos 1983-2014 (Figura 17), identificou-se que normalmente os anos abaixo (acima) do desvio padrão foram anos de ocorrência do fenômeno El Niño (La Niña) de acordo com os dados da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOOA, 2018), a qual realiza o monitoramento do Índice Oceânico do Niño (ION).

Os anos de 1984, 1985, 1988, 1989, 1996, 2000, 2008, 2009 e 2011 tiveram as maiores ocorrências de precipitação (média de 2331,6 mm/ano), já os anos de 1983, 1987, 1992, 1997, 1998, 2010 foram os menos chuvosos (média de 1607,26 mm/ano), estes períodos coincidem respectivamente com as influências dos fenômenos de La Niña e El Niño na região Amazônica. Essas médias são diferentes da média considerando todos os anos estudados (1993 mm/ano). Essa precipitação intermediária confirma a tendência de maior precipitação para os anos de La Niña e tendência de menor precipitação para os anos de El Niño (GONÇALVES et al., 2016).

Figura 15 - Anomalia de precipitação para bacia do rio Capim.



Fonte: O autor.

Segundo Amanajás e Braga (2012), os mínimos de precipitação para o Estado do Pará foram nos anos de 1983, 1992 e 1998, indicando que houve uma redução considerável da precipitação no semestre mais chuvoso, resultados semelhantes aos obtidos para a bacia do rio Capim, a qual teve como anos de menor precipitação 1983, 1987, 1992, 1997 e 1998. De acordo com os autores, esses mínimos observados estão associados aos eventos ENOS e, em menor proporção, aos episódios de Dipolo do Atlântico.

Segundo Albuquerque et al. (2010), nos anos de 1984 a 1986; 1994 a 1996; 1999 a 2000, ocorreram índices de precipitação acima do normal em grande parte do Estado do Pará, estes picos de precipitação estão associados ao fenômeno La Niña, que induzida pela ZCIT favorece a ocorrência de precipitação acima do normal em grande parte do Estado. Quando se analisa a região da bacia do rio Capim, identifica-se que nos anos de 1984 a 1986; 1994 a 1996; 1999 a 2000, também ocorreram índices pluviométricos acima da média, o que demonstra que essa região foi atingida pelo fenômeno La Niña. Já na mesorregião Sudeste do Estado ocorreu menores índices pluviométricos, pelo retraimento dos episódios de ZCAS.

De acordo com Serrão et al. (2017), a diminuição da precipitação em 2010 foi relacionada com a ocorrência dos sistemas acoplados oceano-atmosfera de grande escala (El Niño e Dipolo do Atlântico), estes influenciaram os níveis pluviométricos, desintensificando as chuvas. Além disso, nos períodos do verão e outono de 1982/83 também ocorreu a diminuição da precipitação na região amazônica pela manifestação desses fenômenos, os quais diminuem à ocorrência de chuvas na Amazônia.

Segundo Ávila et al. (2013), na região do Estado do Pará os períodos do verão e outono de 1982/83 foram marcados pela manifestação do El Niño no Pacífico e do Dipolo positivo no Atlântico, os quais são mecanismos desfavoráveis à ocorrência de chuvas na Amazônia. Já os períodos do verão e outono de 1988/89 foram marcados pela ocorrência do La Niña no Pacífico e do Dipolo negativo no Atlântico, os quais são mecanismos favoráveis à ocorrência de chuvas na Amazônia.

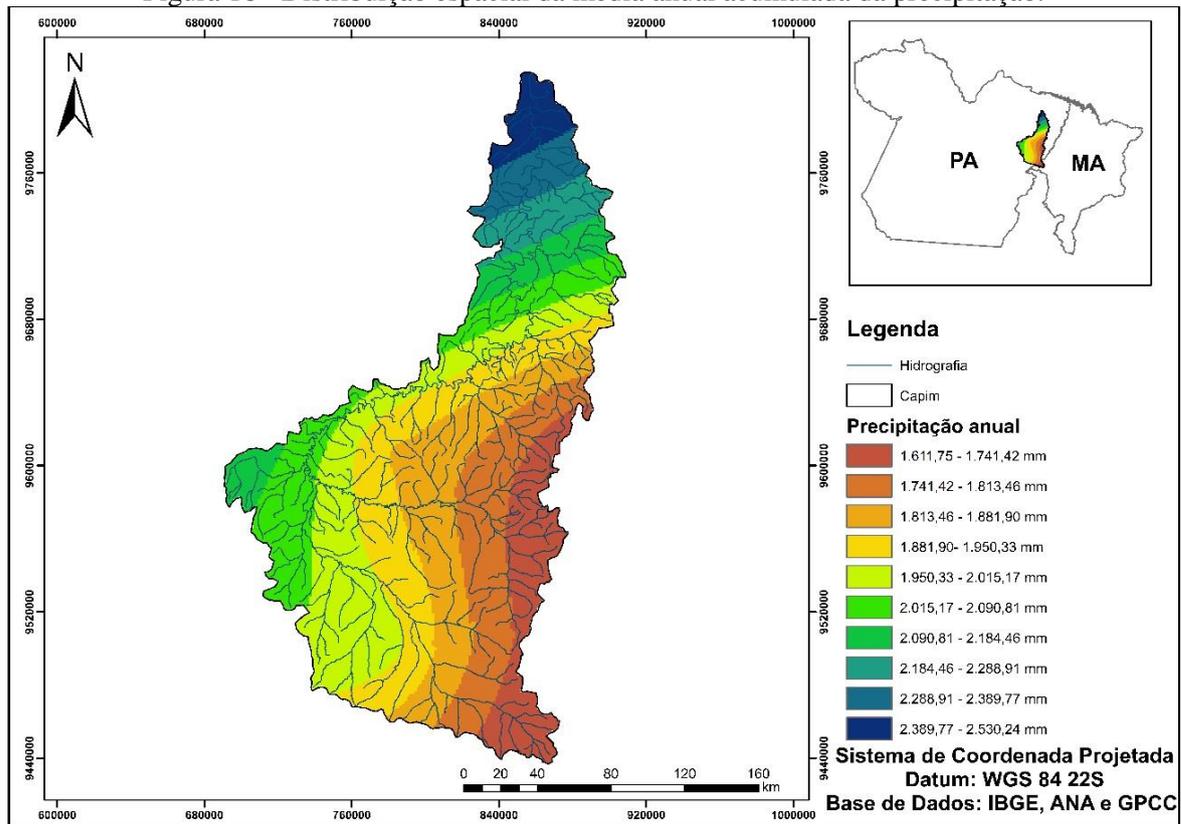
Souza et al. (2017c), identificaram 07 episódios de El Niño (anos 1992, 1995, 1998, 2003, 2005, 2007 e 2010), e 08 episódios La Niña (anos 1996, 1999, 2000, 2001, 2008, 2009, 2011, 2012), para o período de 1990 a 2014 na região rural da metrópole de Belém – Pará. Esses resultados foram próximos aos obtidos para a região do Capim, principalmente, pela proximidade das duas regiões.

Segundo Marengo e Espinoza (2015), o ano de 2005 apresentou precipitação abaixo do normal para a região amazônica, ocasionando seca em diversas áreas da região, devido ao aquecimento das águas do oceano Pacífico. Porém, o ano de 2005 não apresentou uma precipitação muito abaixo da média para a região do Capim, pois, Segundo Araújo e Ponte (2016) a região da bacia do Capim não está localizada dentro da área afetada pelo fenômeno, o qual foi concentrado na porção sudoeste da bacia Amazônica.

Percebe-se que a precipitação na bacia do rio Capim foi mais afetada no ano de 2010 do que em 2005. Segundo Lewis et al. (2011), uma das possíveis explicações para esse efeito é o fato das anomalias de precipitação na região amazônica terem reduzido a chuva em 57% no ano 2010 em comparação a 37% em 2005.

Os resultados para a espacialização da precipitação média anual acumulada (Figura 18) mostraram que a bacia hidrográfica do rio Capim tem a região menos chuvosa na região sudeste da bacia, apresentando valores de precipitação anual em torno de 1.700 mm; a região com registros mais elevados de precipitação situa-se na parte norte da bacia com valores em torno de 2.400 mm. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Santos et al. (2014c), Menezes e Fernandes (2016) e Ishihara et al. (2014).

Figura 16 - Distribuição espacial da média anual acumulada da precipitação.

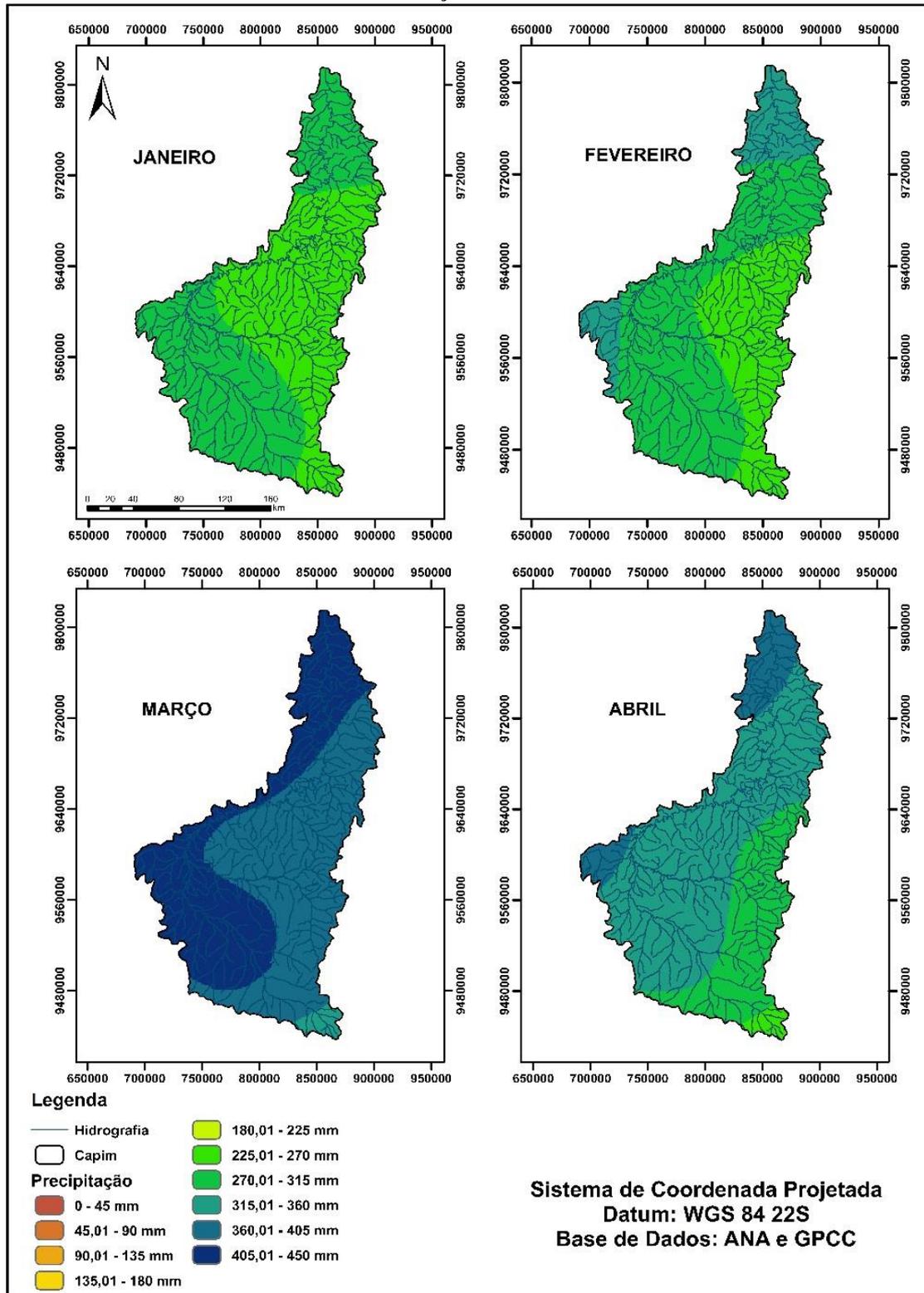


Fonte: O autor.

A sub-bacia do Baixo Capim apresenta o maior índice pluviométrico da região, superior a 2300 mm/ano, caracterizando esta região como a de maior potencial hídrico da bacia; a região com menor índice pluviométrico está localizada no extremo Sudeste da bacia, com índices de aproximadamente 1.600 mm/ano.

Na Figura 19 encontram-se os meses de janeiro a abril, considerados os quatro meses de maior precipitação. A precipitação nesses meses é maior na parte norte e oeste da bacia, chegando ao máximo de 440 mm na região noroeste da bacia no mês de março. O mês com menor índice de precipitação é janeiro, os índices pluviométricos mais baixos ocorreram na parte sul da bacia, chegando a cerca de 170 mm.

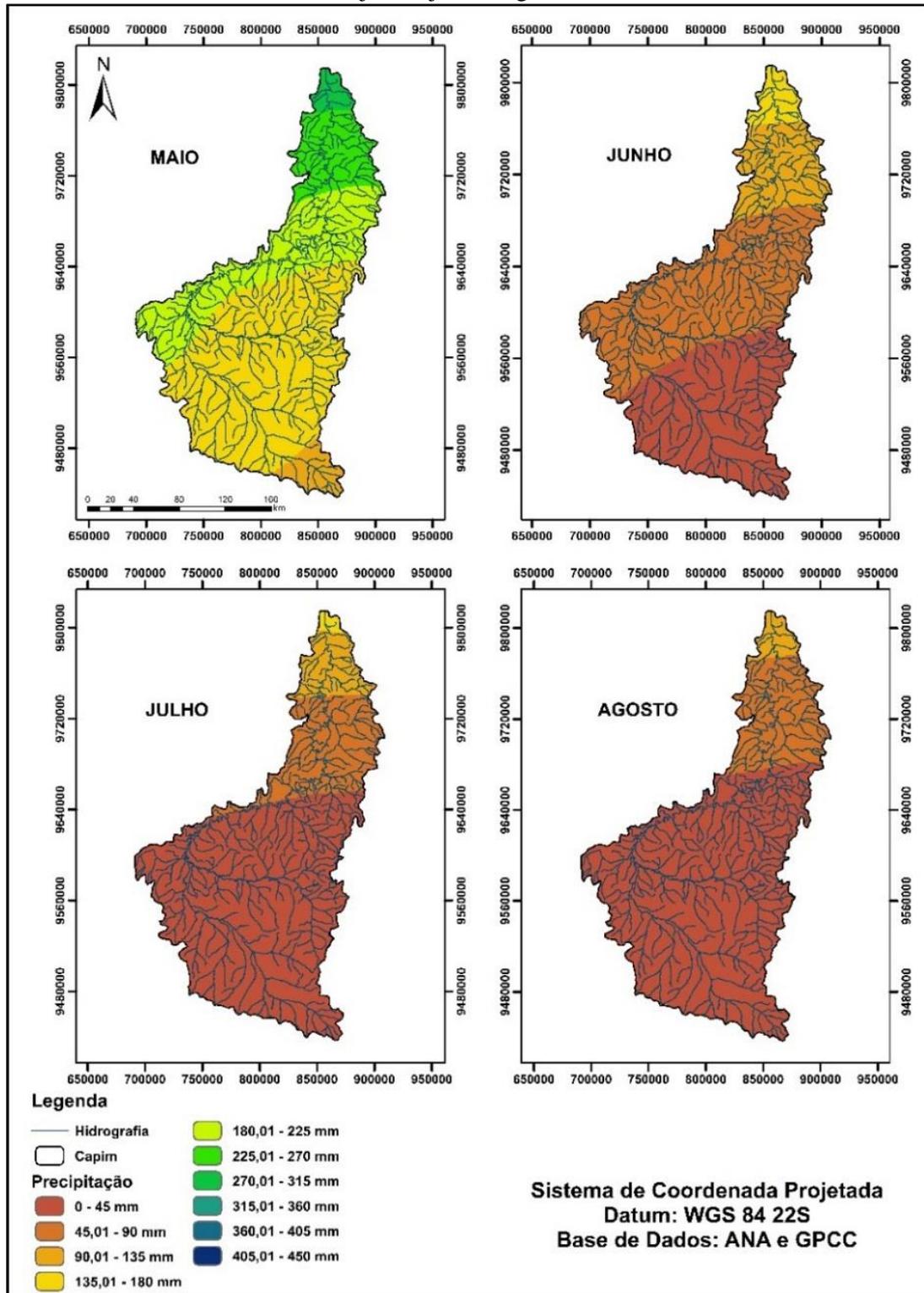
Figura 17 - Distribuição espacial da média mensal acumulada da precipitação de janeiro, fevereiro, março e abril.



Fonte: O autor.

Na Figura 20 consegue-se identificar o começo da diminuição da precipitação na bacia do rio Capim, a qual tem como fim do período chuvoso o mês de maio.

Figura 18 - Distribuição espacial da média mensal acumulada da precipitação pluviométrica de maio, junho, julho e agosto.

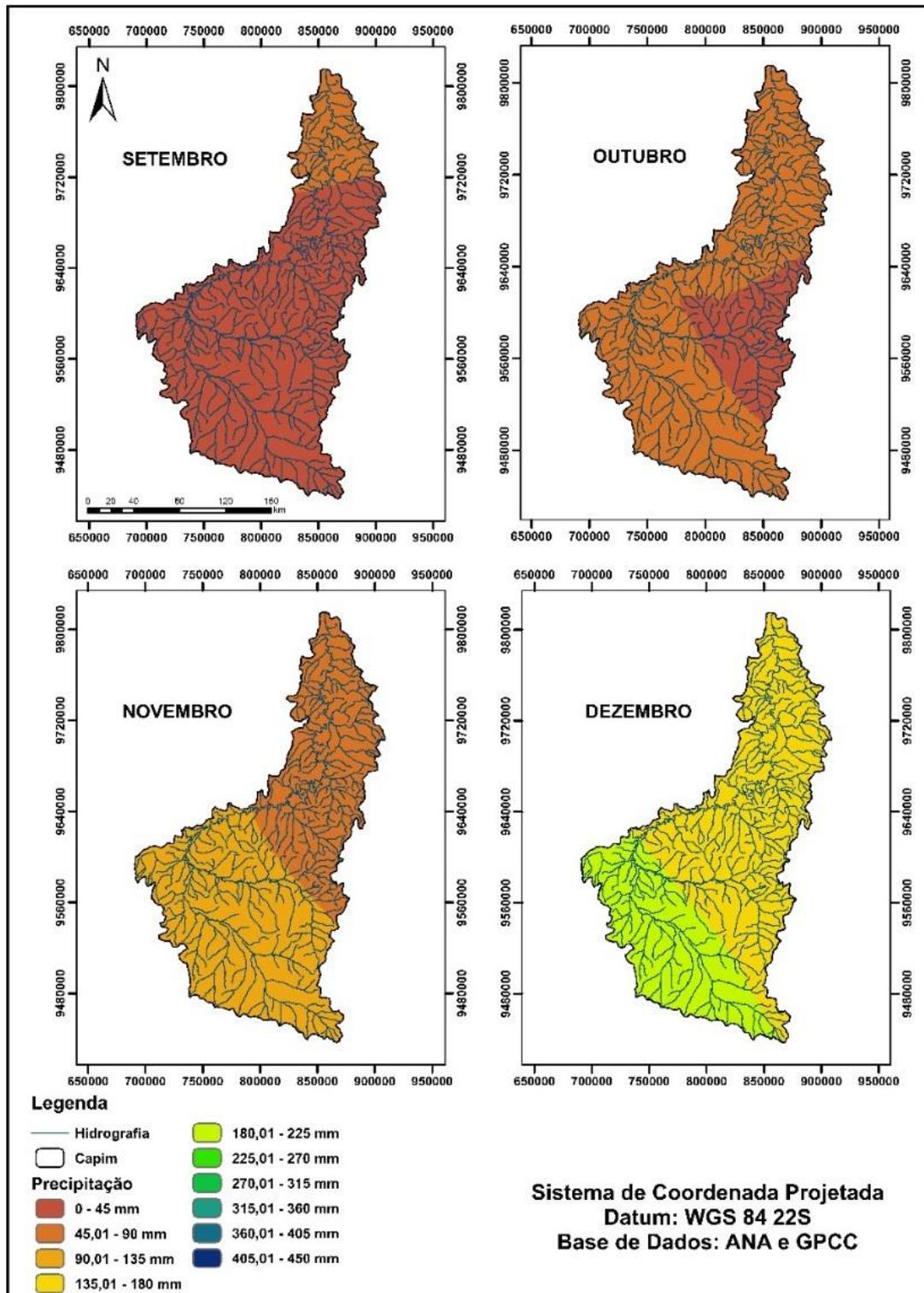


Fonte: O autor.

A diminuição da precipitação é mais perceptível analisando-se a porção sudeste da bacia. De forma geral as chuvas se concentram na porção norte tendo no mês de maio alcançado o máximo de aproximadamente 300 mm (junho-agosto), que corresponde ao período de menor

taxa de precipitação na região. Na Figura 21 encontra-se os meses de setembro a dezembro, o mês de setembro é o de menor precipitação para região estudada, a média da precipitação nesse mês foi de aproximadamente 37 mm.

Figura 19 - Distribuição espacial da média mensal acumulada da precipitação de setembro, outubro, novembro e dezembro.



Fonte: O autor.

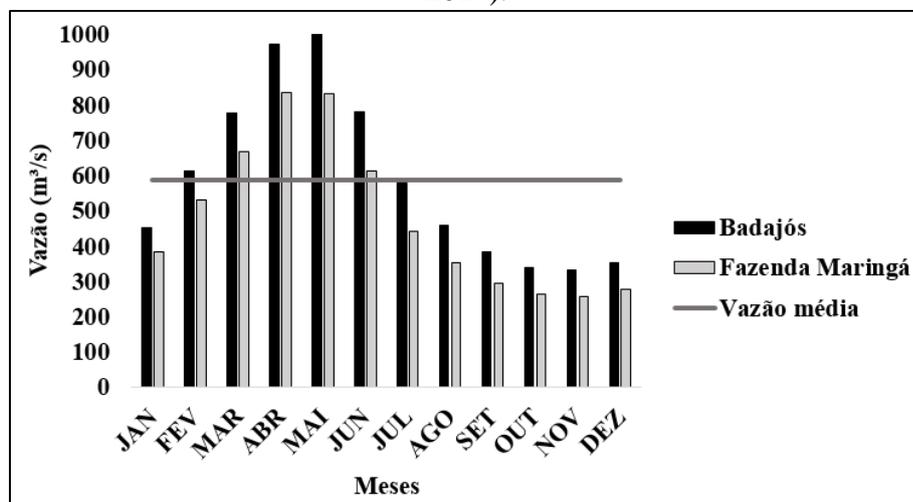
Como todos os meses, apresentam uma redução da precipitação no sentido norte-sul da bacia, chegando a aproximadamente 30 mm na região sudeste da bacia. Já no mês de dezembro inicia-se a estação chuvosa, a bacia do rio Capim entra na fase de recuperação hídrica, onde observa-se que os totais pluviométricos variam de 140 mm, ao sul da bacia, com os valores aumentando até 190 ao norte da bacia.

De acordo com Ishihara et al. (2014), a região sudeste do estado do Pará tem uma média de precipitação entre 1700 e 1900 mm, sendo a região com menor precipitação no Estado do Pará. Os resultados obtidos pela análise da espacialização da precipitação, demonstram que as sub-bacias Ararandeuá e Surubiju representam a zona de maior variação da precipitação ao longo do ano. Análises envolvendo o potencial hídrico da bacia são fundamentais, uma vez que podem identificar mudanças sobre o balanço hídrico local e regional (SANTOS, et al. 2014a).

#### 4.5 Análise da vazão

A Figura 22 ilustra a vazão média mensal para os postos fluviométricos Badajós e Fazenda Maringá (série histórica de 1983-2014). Verificou-se que o mês de maior vazão na estação Fazenda Maringá ocorre em abril (835,03 m<sup>3</sup>/s) e o mês de menor vazão em novembro (258,21 m<sup>3</sup>/s), a sua vazão média no período foi de 586,55 m<sup>3</sup>/s, em termos quantitativos pode-se afirmar que o mês de maior vazão está 42,36% acima da média enquanto o mês de menor vazão está 55,98% abaixo.

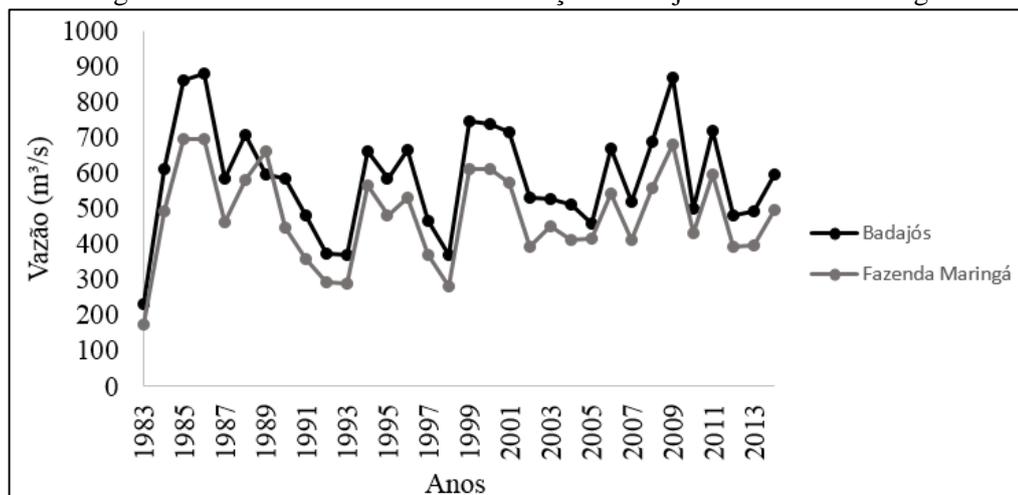
Figura 20 - Vazão média mensal das estações Badajós e Fazenda Maringá (série histórica de 1983-2014).



Fonte: O autor.

Na estação Badajós o mês que apresentou maior vazão foi maio (1004,67 m<sup>3</sup>/s) e o mês de menor vazão novembro (330,87 m<sup>3</sup>/s), a sua vazão média no período foi de 479,11 m<sup>3</sup>/s, em termos quantitativos pode-se afirmar que o mês de maior vazão está 109,69% acima da média enquanto o mês de menor vazão está 46,10% abaixo. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Hachem (2016), a partir da análise de vazão dos anos de 1995-2013, das estações Badajós e Fazenda Maringá. Na Figura 23 estão apresentadas as vazões médias anuais para as estações Badajós e Fazenda Maringá (1985-2013).

Figura 21 - Vazão média anual das estações Badajós e Fazenda Maringá.



Fonte: O autor.

A média fluviométrica para os anos de 1983 a 2014 foi de aproximadamente 585,55 m<sup>3</sup>/s anuais para Badajós e 479,11 m<sup>3</sup>/s para Fazenda Maringá. O ano com maior descarga foi o de 1986 para as duas estações com valores de 880,92 m<sup>3</sup>/s para Badajós e 697,42 m<sup>3</sup>/s para a Fazenda Maringá, já os menores valores de vazão registrados foram no ano de 1983, com 230,67 m<sup>3</sup>/s e 174,79 m<sup>3</sup>/s para as estações Badajós e Fazenda Maringá, respectivamente.

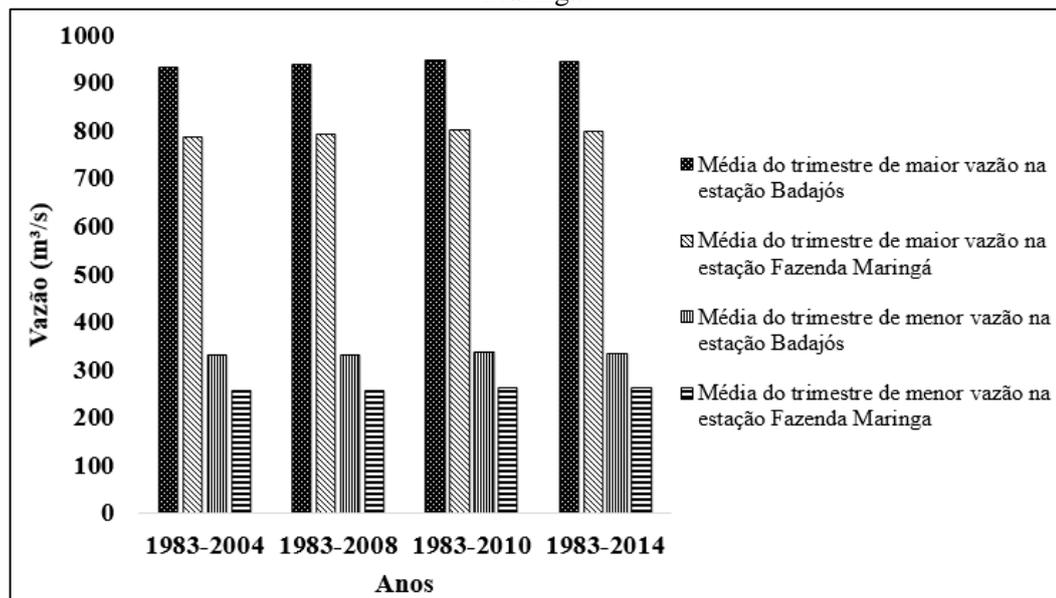
Nos anos em que ocorreram graves fenômenos de vazantes (cheias) na Amazônia, estes foram marcados por intensas anomalias negativas (positivas) de precipitação - El Niño (La Niña) numa escala de tempo interanual (GUEDES et al., 2013). Segundo os autores, isso justifica uma forte diminuição nas vazões durante a seca de 2005, e aumento das vazões durante a cheia de 2009. Essa cheia foi verificada na região do rio Capim, a vazão anual aumentou para 876,58 m<sup>3</sup>/s na estação Badajós e 679,62 m<sup>3</sup>/s na estação Fazenda Maringá, ambos valores bastante acima da média da vazão na região.

De acordo com Macedo et al. (2013), a variação da precipitação na região amazônica causa extremos de vazão dos cursos d'água, entre cheias e vazantes, o que resulta em enchentes em anos de intensa precipitação, como sucedeu de 2008 e 2012, e escassez hídrica em 2005.

Segundo Sena et al. (2012) as mudanças climáticas foram evidentes no ano de 2005, ocasionando preocupação por parte da população sobre a redução permanente da chuva na região. Porém alguns anos depois, ocorreu um evento oposto aumentando extremamente a vazão no último semestre de 2008 até o primeiro semestre de 2009; os boletins do CPRM indicaram que muitas estações de medição apresentaram elevação acima do máximo histórico, de abril a junho de 2009, a principal causa do aumento da vazão nesse período foi atribuída a presença da ZCIT abaixo da sua climatologia.

A fim de verificar a sazonalidade da vazão nas duas estações estudadas foram identificados os trimestres de maior e menor vazão para os períodos 1983-2004, 1983-2008, 1983-2010 e 1983-2014 (Figura 24).

Figura 22 - Vazão média dos trimestres de maior e menor vazão das estações Badajós e Fazenda Maringá.



Fonte: O autor.

No que diz respeito à descarga da bacia para o período 1983 a 2014, a estação Badajós apresentou os meses de maior vazão de abril a junho (943,15 m<sup>3</sup>/s), já a estação Fazenda Maringá ocorreu de março a maio (798,16 m<sup>3</sup>/s) e os meses de menor vazão foram de outubro a dezembro 334,57 m<sup>3</sup>/s e 261,28 m<sup>3</sup>/s, nas estações Badajós e Fazenda Maringá, respectivamente. Os demais períodos apresentaram resultados semelhantes, apresentando variação de no máximo 16 m<sup>3</sup>/s para os trimestres de maior vazão e no máximo 6 m<sup>3</sup>/s nos trimestres de menor vazão.

Observou-se ainda uma redução média de aproximadamente 64,59% e 67,59%, no período de 1983 a 2014, nos valores médios registrados de maior vazão em relação ao período

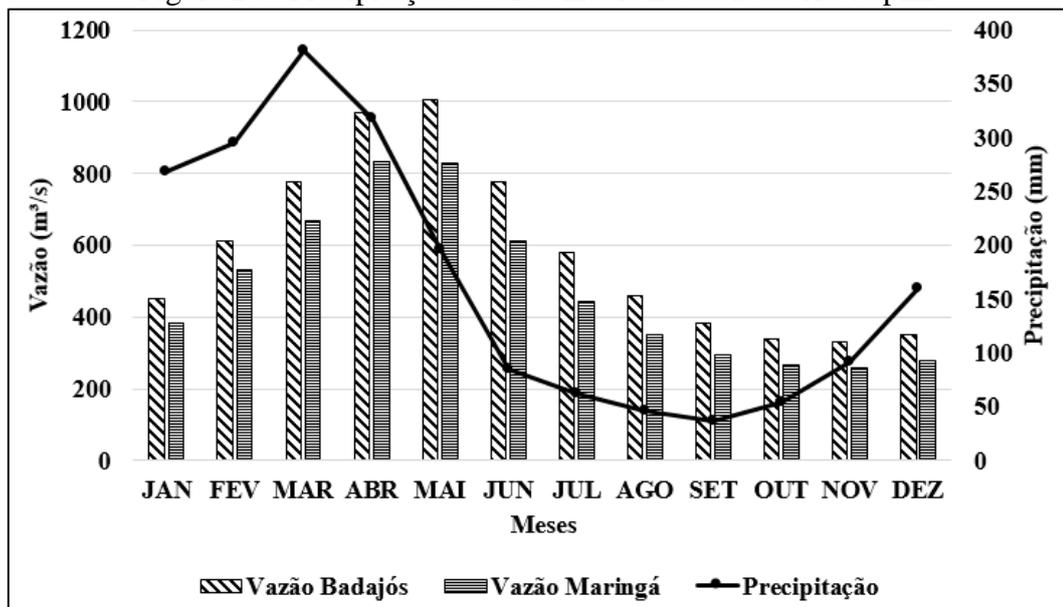
de menor vazão para as estações Badajós e Fazenda Maringá, respectivamente. Esses resultados foram considerados próximos para os demais períodos, apresentando uma redução média de no mínimo 60%.

A partir da comparação entre as precipitações médias mensais e as vazões médias mensais (Figura 25), observa-se que o período de dezembro a maio apresentou os maiores valores de precipitação, porém os maiores valores de vazão corresponderam aos meses de fevereiro a julho, o mês de maior vazão não correspondeu ao mês de maior precipitação, visto que maio apresentou a maior vazão média mensal ( $1004,67 \text{ m}^3/\text{s}$ ) na estação Badajós e abril ( $835,03 \text{ m}^3/\text{s}$ ) na estação Fazenda Maringá, enquanto a maior precipitação média mensal foi registrada para o mês de março (380 mm).

O tempo de concentração da água nas bacias foi menor até a estação Fazenda Maringá, cerca de um mês, possivelmente devido à grande supressão vegetal ocorrida nessa área. Dessa forma, identificou-se que o amortecimento natural do escoamento na bacia tende a ser menor em decorrência da maior impermeabilização, a qual reduz o tempo de concentração nas bacias.

No período menos chuvoso, a vazão mensal reduziu, sendo o mês de novembro o de menor valor ( $330,87 \text{ m}^3/\text{s}$ ), diferente do mês de ocorrência da menor precipitação, que foi o mês de setembro, com 41,13 mm.

Figura 23 - Precipitação e vazão média na bacia do rio Capim.



Fonte: O autor.

#### 4.6 Relação entre o uso e cobertura da terra e a vazão

A Tabela 10 apresenta a matriz de correlação de Pearson entre as três variáveis resposta (vazão anual, média do trimestre de maior e menor vazão) e a variável preditora (uso e cobertura da bacia do rio Capim). Conforme os resultados, foram estatisticamente significativos a 5% de probabilidade e apresentaram um coeficiente de correlação de Pearson, que indica a existência de uma forte correlação positiva, os coeficientes entre as variáveis: floresta e pastagem. Já a classe de mosaico de ocupações apresentou correlação negativa indicando decréscimo dos trimestres de maior e menor vazão com o aumento dessas áreas. Foram excluídos da análise as classes: área não observada, hidrografia e mineração, esta última pelo caráter pontual na bacia.

Tabela 10 - Matriz de correlação entre as áreas das classes de uso e cobertura da bacia e a média anual e médias dos trimestres de maior e menor vazão.

	Anual	Média do trimestre de maior vazão	Média do trimestre de menor vazão
Agricultura	0,22	0,14	0,31
Desmatamento	0,04	0,05	0,03
Floresta	0,98*	0,86*	0,94*
Mosaico de ocupações	0,17	-0,30	-0,01
Outros	0,27	0,07	0,21
Pastagem	0,92*	0,86*	0,94*

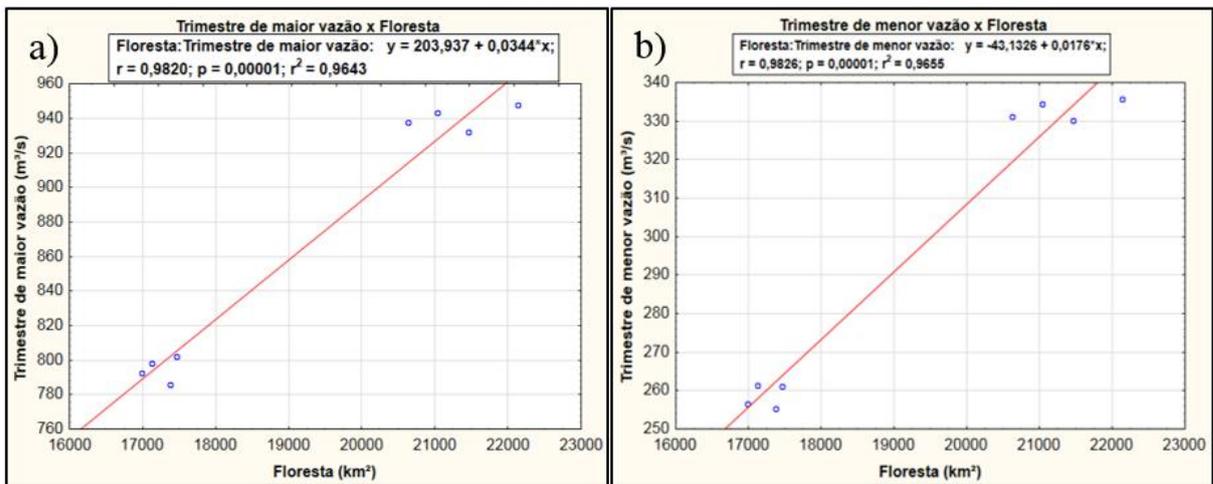
\* valores significativos a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ).

Resultado similar ao obtido nesse estudo foi encontrado por Vanzela et al. (2010) e Aparecido et al. (2016) de acordo com esses autores, as áreas ocupadas por floresta favorecem o aumento da vazão em virtude da maior cobertura, estabilidade e infiltração de água no solo, promovendo a redução do escoamento superficial.

Correlações positivas para a floresta e pastagem foram identificadas para a bacia Ibiá-MG, nessa houve um aumento para a vazão média nos cenários de 100% de cobertura vegetal e 100% de pastagem (SILVA, 2014a). Na pesquisa realizada por Souza Filho et al. (2016), a correlação entre a vazão média anual e as classes floresta e pastagem foram de -0,859 e 0,858, respectivamente. A correlação positiva entre a pastagem e a vazão está associada à exposição contínua do solo nu, à compactação da camada superficial do solo pelo pastoreio e ao desaparecimento da atividade faunística do solo que contribuem para a infiltração de precipitação nas bacias hidrográficas.

Foram aplicados testes utilizando regressão linear simples as variáveis floresta e pastagem (km<sup>2</sup>), associando com os trimestres de maior e menor vazão (m<sup>3</sup>/s), conforme as Figuras 26 e 27.

Figura 24 - Regressão linear entre o trimestre de maior vazão e o de menor vazão e a floresta da bacia do rio Capim. a) Trimestre de maior vazão e a cobertura de floresta b) Trimestre de menor vazão e a cobertura de floresta



Fonte: O autor.

O valor de  $r^2$  indica que aproximadamente 96% da variável média do trimestre de maior e menor vazão são explicadas pela floresta e o valor de  $r^2$  para pastagem explica aproximadamente 85% dos trimestres de maior e menor vazão. Valores altos de  $r^2$  também foram observados em trabalhos como os de Latuf (2007) e Aparecido et al. (2016).

Segundo Costa et al. (2003), os resultados de experiências de captação de 94 bacias permitiram concluir que a remoção da floresta para implantação de pastagem quase invariavelmente leva a maior vazão. Assim como na pesquisa realizada por Beserra et al. (2016), quanto às mudanças das vazões causadas pelas mudanças no uso da terra, também foi constatado que a remoção da cobertura vegetal provoca reduções das vazões nas bacias analisadas.

As mudanças nos usos e coberturas também devem ser priorizadas pelas políticas públicas, pois com a conversão de floresta em pastagem ocorre a redução dos processos de infiltração e interceptação; essas modificações tornam as bacias hidrográficas mais propensas as vazões máximas, inundações e erosão do solo, como a ocorrida em 2012 na cidade de Rio Branco (AC), na qual a inundação resultou em uma perda de 60 milhões de reais para a cidade (LIMA et al., 2014).

#### 4.7 Relação entre o uso e cobertura das APP's dos recursos hídricos e a vazão

Segundo Barbosa e Marin (2010), a mata ciliar da bacia do rio Capim foi muito afetada pelos projetos de colonização que ocorreram nos municípios da região e pelo pasto destinado a atividade da pecuária. Dessa forma, buscou-se identificar as relações entre as classes presentes nas APP's dos recursos hídricos e a vazão na bacia do rio Capim. Apresenta-se na Tabela 11, a matriz de correlação de Pearson entre as três variáveis dependentes (vazão anual e médias dos trimestres de maior e menor vazão) e a variável independente (área de APP's dos recursos hídricos). Conforme os resultados, manteve-se a forte correlação positiva entre as variáveis: floresta e pastagem. Foram excluídos da análise as classes: área não observada, hidrografia e mineração, esta última pelo caráter pontual na bacia.

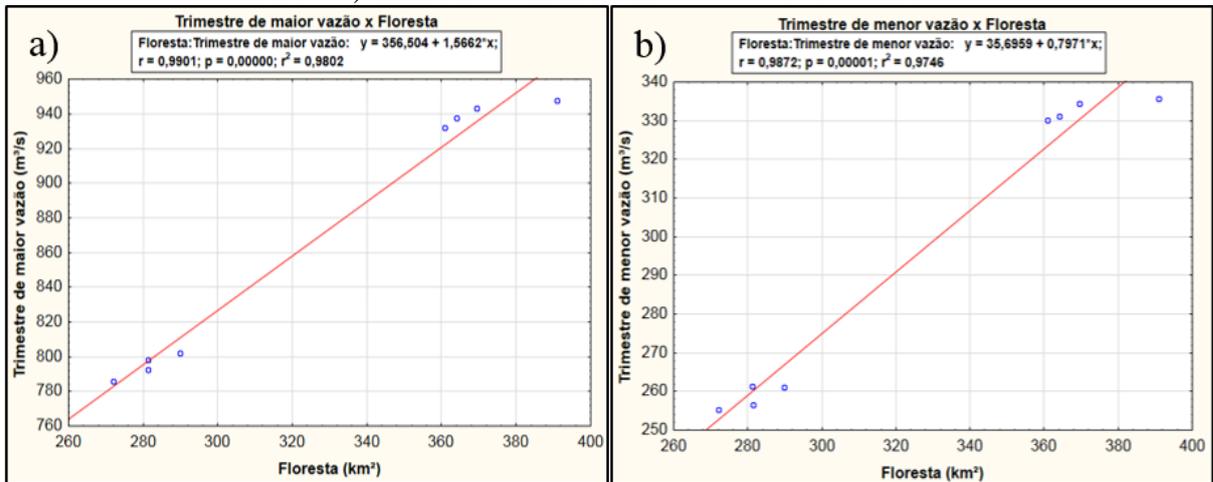
Tabela 11 - Matriz de correlação entre o uso e cobertura das APP's dos recursos hídricos e a média anual e médias dos trimestres de maior e menor vazão.

	Anual	Média do trimestre de maior vazão	Média do trimestre de menor vazão
Agricultura	0,20	0,22	0,21
Desmatamento	0,03	0,00	0,02
Floresta	0,99*	0,99*	0,99*
Mosaico de ocupações	0,25	0,25	0,26
Outros	0,16	0,13	0,15
Pastagem	0,93*	0,93*	0,93*

A forte correlação com a variável floresta pode estar relacionada com a contribuição das matas ciliares para a manutenção do escoamento e aumento da capacidade de armazenamento da água nas bacias hidrográficas (PEREIRA et al., 2016). No estudo realizado por Aparecido et al. (2016), a vazão também apresentou correlação positiva com a floresta das APP's dos recursos hídricos, demonstrando que a presença dessa classe nas APP's pode estar relacionada com a maior disponibilidade hídrica nas bacias.

A partir das altas correlações entre as classes floresta e pastagem e as vazões, realizou-se a regressão linear dessas variáveis com os trimestres de maior e menor vazão (Figura 28 e 29).

Figura 25 - Regressão linear entre o trimestre de maior vazão e o de menor vazão e a floresta das APP's dos recursos hídricos da bacia do rio Capim. a) Trimestre de maior vazão e a cobertura de floresta b) Trimestre de menor vazão e a cobertura de floresta.



Fonte: O autor.

Os resultados positivos entre escoamento (vazão) e as alterações extremas (floresta x pastagem) também foram observadas nos limites das APP's. No estudo realizado por Aparecido et al. (2016), também se identificou  $r^2$  alto e significativo para essa análise.

Logo, os resultados obtidos neste estudo confirmam a importância da cobertura vegetal nas APP's para a manutenção da vazão do rio Capim e subsidiam futuras tomadas de decisões no sentido de conservação das matas ciliares pelo poder público.

#### 4.8 Relação entre as métricas de paisagem e a vazão

A Tabela 12 apresenta a matriz de correlação de Pearson entre as três variáveis dependentes (vazão anual e médias dos trimestres de maior e menor vazão) e a variável independente (métricas de paisagem).

Tabela 12 - Matriz de correlação entre as métricas de paisagem da bacia e a média anual e médias dos trimestres de maior e menor vazão. Número de fragmentos (NP); Índice de maior fragmento (LPI); Total de bordas (TE); Densidade de bordas (ED); Índice de intercalação e justaposição (IJI); Índice de Agregação (AI).

	Anual	Média do trimestre de maior vazão	Média do trimestre de menor vazão
Floresta NP	-0,14	-0,12	-0,14
Pastagem NP	0,61	0,61	0,62
Agricultura NP	0,24	0,26	0,25
Floresta LPI	-0,15	-0,16	-0,16
Pastagem LPI	-0,49	-0,47	-0,49
Agricultura LPI	-0,57	-0,56	-0,57
Floresta TE	0,82*	0,83*	0,82*
Pastagem TE	0,90*	0,91*	0,91*
Agricultura TE	0,17	0,19	0,18
Floresta ED	-0,29	-0,27	-0,28
Pastagem ED	-0,60	-0,58	-0,59
Agricultura ED	0,01	0,03	0,02
Floresta IJI	0,35	0,35	0,36
Pastagem IJI	0,13	0,12	0,14
Agricultura IJI	0,74*	0,74*	0,75*
Floresta AI	-0,63	-0,65	-0,64
Pastagem AI	-0,83*	-0,83*	-0,83*
Agricultura AI	-0,75*	-0,76*	-0,76*

\* valores significativos a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ).

De acordo com Lin et al. (2007) os processos hidrológicos são afetados principalmente pela desagregação da classe floresta. Assim, as manchas de floresta não fragmentadas podem reduzir o escoamento fortalecendo processos hidrológicos, como infiltração e evaporação. As classes pastagem e floresta que já haviam demonstrado forte correlação, quando analisadas isoladamente na forma de métricas tiveram resultados semelhantes para AI e TE, indicando uma relação com integridade e continuidade das manchas. Segundo Vidolin et al. (2011), o IJI tem os seus maiores valores quando o fragmento da classe está em contato com fragmentos de outras classes, já o AI apresenta seus maiores valores quando o fragmento se apresenta mais agregado a fragmentos da mesma classe.

Dentre as classes estudadas, a pastagem foi a que melhor representou a variabilidade entre a métrica e a vazão. Em relação ao índice TE, pode-se observar que com o seu aumento as vazões também tendem a aumentar. Diferente do que ocorre com a métrica AI, que a partir do seu aumento ocorre uma redução das vazões estudadas. No estudo realizado por Zhang et al. (2013), também se identificou uma forte relação entre os índices de paisagem da classe pastagem e o escoamento.

Segundo Bianchi et al. (2011) eventos extremos de vazão são fortemente relacionados a conservação da paisagem, levando em conta a sua conectividade e tamanho na região, bem como a proteção do solo por meio da manutenção da vegetação nativa; além disso, a conservação da paisagem contribui para uma manutenção na vazão em períodos com baixo nível de precipitação. Yang e Tian (2009) e Zhang et al. (2013) identificaram que a atividade humana é o principal fator de redução da vazão, ao invés das mudanças climáticas.

## 5 CONCLUSÃO

Na bacia do rio Capim identificou-se uma redução da classe floresta e aumento nas classes pastagem e agricultura. Nota-se, que as áreas correspondentes a pecuária e culturas agrícolas têm avançado sobre as áreas de floresta. Logo, as alterações nas classes de uso e cobertura da terra estão voltadas para a economia dos municípios da região, principalmente, em relação a pecuária ocasionando a supressão vegetal.

Diante das análises de quantificação e configuração espacial realizadas para a bacia do rio Capim, identificou-se um aumento da fragmentação florestal, possivelmente associado ao desmatamento e a implementação de outros usos e coberturas na região. Observou-se a conversão da floresta em fragmentos pequenos e desconexos, ocasionando diversas mudanças no meio ambiente local, e prejudicando os processos ecológicos e serviços ecossistêmicos ao longo da bacia.

Por meio da espacialização da precipitação na bacia do Rio Capim foram observados maiores valores para a região do baixo-médio Capim e menores valores para o alto Capim. Além da identificação de uma estação chuvosa com início em dezembro e termino em maio. Neste contexto, a vazão do rio Capim apresentou o início do seu período de maior vazão dois meses após o início da estação chuvosa, com os seus maiores valores no período de fevereiro a julho.

As variáveis independentes de uso e cobertura da terra da bacia do Capim e APP's dos recursos hídricos apresentaram um comportamento semelhante quando relacionadas a vazão. Possivelmente, isso ocorreu pela predominância das classes floresta e pastagem, em ambas as áreas se obteve proporcionalidades de usos semelhantes tanto para a bacia do Capim como para as áreas de preservação. Logo, identifica-se que essas classes são as principais condutoras de mudanças nas vazões do rio Capim.

A partir da análise das métricas de paisagem relacionadas com o escoamento foi possível identificar que os índices de total de bordas (TE) e o índice de agregação (AI) são os que melhor se associam as mudanças no regime de vazão da bacia hidrográfica. Dessa maneira, pode-se verificar que a fragmentação das classes possui papel fundamental na alteração hídrica da bacia.

Dentre as possibilidades para estudos futuros, destaca-se a modelagem de cenários futuros para a região da bacia do rio Capim identificando situações de maior e menor desmatamento e as possíveis influências na evapotranspiração e vazão da bacia. Sugere-se também a intensificação de trabalhos de campo a fim de validar as análises associadas aos estudos hidroambientais na região. Neste ínterim, compreender as modificações nos usos e

coberturas da bacia e seus impactos sobre os recursos hídricos é imprescindível para garantir a sustentabilidade dos recursos naturais existentes.

## **6 FONTES DE FINANCIAMENTO**

A pesquisa foi realizada pela concessão da bolsa ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## REFERÊNCIAS

- ABRÃO, C. M. R.; KUERTEN, S. Avaliação da área de preservação permanente do rio Santo Antônio na colônia Santo Antônio em Guia Lopes da Laguna – MS: aplicação do novo código florestal. **Boletim Goiano de Geografia (Online)**. Goiânia, v. 36, n. 2, p. 265-284, mai.-jul. 2016.
- ADAMI, M.; GOMES, A. R.; COUTINHO, A. C.; ESQUERDO, J. C. D. M.; VENTURIERI, A. Dinâmica do uso e cobertura da terra no estado do Pará entre os anos de 2008 e 2012. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., João Pessoa, 2015. **Anais...** João Pessoa: SBSR, 2015. p. 7029-7035.
- ALBUQUERQUE, M. F.; SOUZA, E. B.; OLIVEIRA, M. C. F.; SOUZA JÚNIOR, J. A. Precipitação nas mesorregiões do estado do Pará: climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 6, p. 151-168, 2010.
- ALMEIDA, A. S.; VIEIRA, I. C. G. Conflitos no uso da terra em áreas de preservação permanente em um polo de produção de biodiesel no Estado do Pará. **Revista Ambiente & Água**, v. 9 n. 3, p. 476-487, jul-set. 2014.
- ALMEIDA, C. A.; COUTINHO, A. C.; ESQUERDO, J. C. D. M.; ADAMI, M.; VENTURIERI, A.; DINIZ, C. G.; DESSAY, N.; DURIEUX, L.; GOMES, A. R. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. **Acta Amazonica**, v. 46, p. 291-302, 2016.
- ALVES, J. D. N.; SOUZA, F. C. A.; LIMA, J. V.; CORRÊA, A. S. S.; OKUMARU, R. S. Crescimento da produção de mandioca e pimenta-do-reino na microrregião do Guamá, Estado do Pará, no período de 2000-2011. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 8, p. 1792-1799, 2014.
- AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões Espaço-temporal Pluviométricos na Amazônia Oriental Utilizando Análise Multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, p. 423 - 434, 2012.
- ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. ENSO-related rainfall anomalies in South America and associated circulation features during warm and cold pacific decadal oscillation regimes. **International Journal of Climatology**, v. 25, p. 2017-2030, 2005.
- APARECIDO, C. F. F.; VANZELA, L. S.; VAZQUEZ, G. H.; LIMA, R. C. Manejo de bacias hidrográficas e sua influência sobre os recursos hídricos. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 2, p. 239-256, 2016.
- ARAÚJO, R. C.; PONTE, M. X. Efeitos do desmatamento em larga-escala na hidrologia da bacia do Uraim, Amazônia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 7, p. 2390-2404, 2016.
- ÁVILA, P. L. R.; SOUZA, E. B.; PINHEIRO, A. M. Simulação da precipitação sazonal com o Regcm4 sobre o estado do Pará para anos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 5, p. 1316-1335, 2013.

BARBOSA, M. B. T.; MARIN, R. E. A. Manejo e uso comum dos recursos naturais em populações quilombolas no Vale do Rio Capim. **Novos Cadernos NAEA**, v. 13, n. 1, p. 27-45, jul. 2010.

BATISTELLA, M.; BRONDIZIO, E. S.; MORAN, E. F. Comparative analysis of landscape fragmentation in Rondônia, Brazilian Amazon. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 33, p. 148-155, 2000.

BAYER, D. M. **Efeitos das mudanças de uso da terra no regime hidrológico de bacias de grande escala**. 2014. 172 f. Tese (Doutorado Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

BESERRA, P.S. **Avaliação dos efeitos das alterações na cobertura e uso do solo sobre o regime de vazões via modelagem hidrológica considerando incerteza paramétrica**. 2016. 128 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2016.

BIANCHI, S.; RICHERT, E.; HEILMEIER, H.; MERTA, M.; SEIDLER, C. Landscape metrics as a tool for evaluating scenarios for flood prevention and nature conservation. **Landscape Online**, v. 25, p. 1-11, 2011.

BIZZO, E.; FARIAS, A. L. A. Priorização de municípios para prevenção, monitoramento e controle de desmatamento na Amazônia: uma contribuição à avaliação do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAM). **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 42, p. 135-159, 2017.

BOOTH, D. B.; KARR, J. R.; SCHAUMAN, S.; KONRAD, C. P.; MORLEY, S. A.; LARSON, M. G. BURGESS, S. J. Reviving urban streams: land use, hydrology, biology, and human behavior. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 40, p. 1351–1364, 2004.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. Reflexões sobre a geografia física no Brasil. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 153–192.

BRASIL. Lei nº 4.771 de 15 de setembro de 1965. **Código florestal brasileiro**: promulgado em 15 de setembro de 1965. Revoga o decreto nº 23.793. Brasília-DF. 14 p.

BRASIL. Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. 1997.

BRASIL. Lei nº 12.727 de 17 de outubro de 2012. **Código florestal brasileiro**: promulgada em 17 de outubro de 2012. Lei que revoga a lei 4.771 de 15 de setembro de 1965 e altera e complementa à lei nº 12.651. Brasília,DF, 2012.

BRIENEN, R. J. W. et al. Long-term decline of the Amazon carbon sink. **Nature**, v. 519, p. 344-348, 2015.

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

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

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.

CAMPAGNOLO, K. SILVEIRA, G. L.; MIOLA, A. C.; SILVA, R. L. L. Área de preservação permanente de um rio e análise da legislação de proteção da vegetação nativa. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 831-842, jul.-set. 2017.

CAPAZZOLI, C. R.; CARDOSO, A. O.; FERRAZ, S. E. T.; Padrões de variabilidade de vazão de rios nas principais bacias brasileiras e associação com índices climáticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 2, 243-254, 2017.

CARAM, R. O. **Mudanças no uso e cobertura do solo e resposta hidrológica da bacia do rio Piraricaba**. 2010. 141 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

CARDOSO, J. A.; AQUINO, C. M. S. Mapeamento dos conflitos de uso nas áreas de preservação permanente (APPs) da microbacia do riacho do Roncador, Timon (MA). **Boletim Goiano de Geografia** [Online]. Goiânia, v. 33, n. 3, p. 477-492, set.-dez. 2013

CARMO, L. G.; FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Áreas de preservação permanente no entorno de nascentes: conflitos, lacunas e alternativas da legislação ambiental brasileira. **Boletim Goiano de Geografia (Online)**. Goiânia, v. 34, n. 2, p. 275-293, maio-ago. 2014.

CARNEIRO, G. T.; CABACINHA, C. D.; FARIA, K. M. S.; SIQUEIRA, M. N.; LIMA, J. C. S. Cobertura florestal do município de Rio Verde, GO: estrutura e composição da paisagem entre 2005 e 2008. **Geografia**, v. 36, n. 2, p. 335-357, 2011.

CARNEIRO, M. S.; ASSIS, W. S. O controle do desmatamento na Amazônia como um processo de modernização ecológica: a experiência do projeto município verde. **Revista Pós Ciências Sociais**, v. 12, n. 24, jul.-dez. 2015.

CASTELO, T. B.; ALMEIDA, O. T. Desmatamento e uso da terra no Pará. **Revista de Política Agrícola**, v. 24, n. 1. p. 99-111, 2015.

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

COE, M. T.; COSTA, M. H.; SOARES-FILHO, B. S. The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River – Land surface processes and atmospheric feedbacks. **Journal of Hydrology**, v. 369, p. 165–174, 2009.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução n. 357 de 17 de marco de 2005**. Classificação de corpos d’água e diretrizes ambientais. Conselho Nacional do Meio. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2014.

COSTA, J. M.; FLEURY, M. F. O programa “municípios verdes”: estratégias de revalorização do espaço em municípios paraenses. **Ambiente & Sociedade**, v. 18, n. 2, p. 61-76, 2015.

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

COSTA, O. B.; MATRICARDI, E. A. T.; PIRES, J. S. R. Análise do Processo de Fragmentação da Floresta nos Municípios de Corumbiara e Buritis – RO. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3, p. 334-344, 2015.

CUNHA, D. G. F.; CALIJURI, F. B. M. C. Land use influence on eutrophication-related water variables: case study of tropical rivers with different degrees of anthropogenic interference. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 22, n. 1, p. 35-45, 2010.

DA SILVA, J. X. **Geoprocessamento & análise ambiental: aplicações**. [S.l.]: Bertrand Brasil, 2004.

DAVIDSON, E. A. et al. The Amazon basin in transition. **Nature**, v. 481, n. 7381, p. 321-328, 2012.

DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARAES, M. F.; MARIA, I. C. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, v. 74, n. 2, p. 224-233, 2015.

DIAS, L. C. P.; MACEDO, M. N.; COSTA, M. H.; COE, M. T.; NEILL, C. Effects of land cover change on evapotranspiration and streamflow of small catchments in the Upper Xingu River Basin, Central Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 4, p. 108–122, 2015.

DING, J.; JIANG, Y.; FU, L.; LIU, Q.; PENG, Q.; KANG, M. Impacts of Land Use on Surface Water Quality in a Subtropical River Basin: A Case Study of the Dongjiang River Basin, Southeastern China. **Water**, v. 7, p. 4427-4445. 2015.

ETTO, T. L.; LONGO, R. M.; ARRUDA, D. R.; INVENIONI, R. Ecologia da paisagem de remanescentes florestais na bacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras - Campinas-SP. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.6, p.1063-1071, 2013.

FAHRIG, L. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v. 34, p. 487-515, 2003.

FEARNSIDE, P. M; GRAÇA, P. M. L. A. BR-319: a rodovia Manaus Porto Velho e o impacto potencial de conectar o arco de desmatamento à Amazônia central. **Novos Cadernos NAEA**, n. 1, v. 12, p. 19-50, jun. 2009.

FERNANDES, M.; FERNANDES, M.; ALMEIDA, A.; GONZAGA, M. I. S.; GONÇALVES, F. Ecologia da paisagem de uma bacia hidrográfica dos Tabuleiros Costeiros do Brasil. **Floresta e Ambiente**, v. 24, n. 10, p. 1-9, 2017.

FOLEY, J. A. et al. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, n. 5734, p. 570–574, jul. 2005.

GÁRCIA, Y. M.; CAMPOS, S.; SPADOTTO, A. J.; CAMPOS, M.; SILVEIRA, G. R. P. Caracterização de conflitos de uso do solo em APPs na bacia hidrográfica do córrego Barra Seca (Pederneiras/SP). **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 30, n.1, p.68-73, jan.-mar. 2015.

GONÇALVES, L. J. M.; ROCHA, E. J. P.; LIMA, A. M. M.; SERRÃO, E. A. O.; SANTOS, C. A. Variabilidade da precipitação e a produção de arroz na bacia hidrográfica do rio Branco. **Ambiência**, v.12, n.4, p. 835 – 855, set.-dez. 2016.

GUEDES, A. E. D. S.; CANDIDO, L. A.; ESPIRITO SANTO, A. R. S. Variabilidade do estoque de água continental e sua relação com as cheias e vazantes extremas na Amazônia. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, n.2, p. 88-99, 2013.

GUAJARATI, D. N. **Econometria básica**. [S.l.]: Elsevier, Brasil, 2011.

GUSMÃO, L. H. A.; HOMMA, A. K. O.; WATRIN, O. S. Análise cartográfica da concentração do cultivo de mandioca no estado do Pará, Amazônia brasileira. **Geografia, Ensino & Pesquisa**, v. 20, n. 3, p. 51-62, 2016.

HACHEM, B. P. **Análise do comportamento da precipitação e da vazão em bacias hidrográficas amazônicas**. 2016. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto de Tecnologia, Belém, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **SIDRA** - Sistema IBGE de recuperação automática. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Programa de cálculo do desflorestamento da Amazônia (PRODES)**: desflorestamento nos municípios da Amazônia Legal. 2018. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Projeto TerraClass**. Belém - PA, 2017. Disponível em: <[http://www.inpe.br/cra/projetos\\_pesquisas/dados\\_terraclass.php](http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/dados_terraclass.php)>. Acesso em: 10 jan. 2017.

ISHIHARA, J. H.; FERNANDES, L. L.; DUARTE, A. A. A. M.; DUARTE, A. R. C. L. M.; PONTE, M. X.; LOUREIRO, G. E. Quantitative and Spatial Assessment of Precipitation in the Brazilian Amazon (Legal Amazon) - (1978 to 2007). **Revista Brasileira De Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 29 - 39, 2014.

JESUS, E. N. **Avaliação dos fragmentos florestais da bacia hidrográfica do rio Poxim (Sergipe-Brasil) para fins de restauração ecológica**. 2013. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2013.

JESUS, E. N.; FERREIRA, R. A.; ARAGÃO, A. G.; SANTOS, T. I. S.; ROCHA, S. L. Estrutura dos fragmentos florestais da bacia hidrográfica do rio Poxim-SE, como subsídio à restauração ecológica. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 39, n. 3, p. 467-474, 2015.

KUHN, C. **Uma análise sistêmica das transformações de uso como suporte à decisão para o planejamento de unidades de conservação**. 2005. 166 f. Dissertação (Mestrado em

Planejamento Urbano e Regional) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

LANG, S. **Análise da paisagem com SIG**. 1ed. São Paulo: Oficina de textos, 2009. 405p.

LATUF, M. O. **Mudanças no uso do solo e comportamento hidrológico nas bacias do rio Preto e Ribeirão entre Ribeiros**. 2007, 151f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2007.

LAURANCE, W. F. et al. The fate of Amazonian forest fragments: A 32-year investigation. **Biological Conservation**, v. 144, p. 56–67, 2011.

LAURANCE, W. F.; CURRAN, T. J. Impacts of wind disturbance on fragmented tropical forests: A review and synthesis. **Austral Ecology**, v. 33, p. 399-408, 2008.

LEWIS, S. L.; BRANDO, P. M.; PHILLIPS, O. L.; VAN DER HEIJDEN, G. M. F.; NEPSTAD, D. The 2010 Amazon drought. **Science**, v. 331, n. 6017, p. 311-554, 2011.

LIMA, A. M. M. **O planejamento estratégico e a gestão da oferta hídrica baseados no estudo da paisagem, na bacia do rio Capim – PA**. 2007. 313 f. Tese (Doutorado em Ciências: Desenvolvimento Socioambiental) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

LIMA, A. M. M.; PONTE, M. X. Dinâmica da Paisagem da Bacia do Rio Capim-PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1, p. 127-142, 2012.

LIMA, L. S. et al. Feedbacks between deforestation, climate, and hydrology in the Southwestern Amazon: implications for the provision of ecosystem services. **Landscape Ecology**, v. 29, p. 261–274, 2014.

LIN, Y. P.; HONG, N. M.; WU, P. J.; WU, C. F.; VERBURG, P. H. Impacts of land use change scenarios on hydrology and land use patterns in the Wu-Tu watershed in Northern Taiwan. **Landscape and Urban Planning**, v. 80, p. 111–126, 2007.

LUNDGREN, W. J. C.; SOUZA, I. F.; LUNDGREN, G. A. Krigagem na construção de mapa pluviométrico do Estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 1, p. 13-22, 2017.

LUPPI, A. S. L.; SANTOS, A. R.; EUGENIO, F. C.; FEITOSA, L. S. Utilização de Geotecnologia para o Mapeamento de Áreas de Preservação Permanente no Município de João Neiva, ES. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 1, p. 13-22, 2015.

MACÊDO, M. N. C.; DIAS, H. C. T.; COELHO, F. M. G.; ARAÚJO, E. A.; SOUZA, M. L. H.; SILVA, E. Precipitação pluviométrica e vazão da bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla, Amazônia Ocidental. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 206-221, 2013.

MACFARLANE, W. W.; GILBERT, J. T.; JENSEN, M. L.; GILBERT, J. D.; HOUGH-SNEE, N.; PETER, A. M. WHEATON, J. M.; BENNETT, S. N. Riparian vegetation as an indicator of riparian condition: Detecting departures from historic condition across the North American West. **Journal of Environmental Management**, v. 202, p. 447-460, 2016.

- MAGALHÃES, R. C.; BARP, A. R. B. Novações metodológicas para construção de cenários estratégicos. **Revista de Administração e Inovação**, São Paulo, v. 11, n. 3, p. 200-226, jul./set. 2014.
- MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. R. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, p. 793-804, 2011.
- MARCUZZO, F. F. N.; ROMERO, V. Influência do El Niño e La Niña na precipitação máxima diária do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 4, 429 - 440, 2013.
- MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, v.22, n.63, p. 83-96, 2008.
- MARENGO, J.A.; ESPINOZA, J.C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 36, p. 1033-1050, 2015.
- MATHIS, A. A.; NASCIMENTO, M. A. C.; NASCIMENTO, N. S. F.; GOMES, V. L. B. Desenvolvimento, neodesenvolvimentismo e impactos sobre o trabalho na Amazônia brasileira. **Novos Cadernos NAEA**, v. 19, n. 1, p. 259-252, jan-abril. 2016.
- MATRICARDI, E. AT et al. Assessment of tropical forest degradation by selective logging and fire using Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, n. 5, p. 1117-1129, 2010.
- MCGARIGAL K. Landscape pattern metrics. In: EL-SHAARAWI, A. H.; PIEGORSCH, W. (eds). **Encyclopedia of environmetrics**. 2. ed. Chichester, Inglaterra: John Wiley & Sons Ltda, 2012, p. 1441-1451.
- MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **Fragstats**: spatial patterns analysis program for quantifying landscape structure. Portland: Pacific Northwest Research Station, 1995. 122 p.
- MEDEIROS, F. J.; LUCIO, P. S.; SILVA, H. J. F. Análise de Métodos de Krigagem na Estimativa da Precipitação no Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 5, p. 1668-1676, 2017.
- MEIRELLES FILHO, J. C. de S. É possível superar a herança da ditadura brasileira (1964-1985) e controlar o desmatamento na Amazônia? Não, enquanto a pecuária bovina prosseguir como principal vetor de desmatamento. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 9, n. 1, p. 219-241, jan.-abr. 2014.
- MENEZES, F. P.; FERNANDES, L. L.; ROCHA, E. J. P. O uso da estatística para regionalização da precipitação no estado do Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, p. 64-71, jan.-jul. 2015.
- MENEZES, F. P.; FERNANDES, L. L. Análise de tendência e variabilidade da precipitação no estado do Pará. **Enciclopédia biosfera**, v.13, n. 24, p. 1580-1591, 2016.
- MENEZES, J. P. C.; BERTOSSI, A. P. A.; SANTOS, A. R.; NEVES, M. A. Correlação entre uso da terra e qualidade da água subterrânea. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 173-186, abr.-jun. 2014.

METZGER, J. P. Estrutura da paisagem: o uso adequado de métricas. In: CULLEN, L.; VALLADARES-PADUA, C.; RUDRAN, R. **Métodos de estudo em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. 2. ed. Curitiba: UFPR. 2006. p.423-453.

MORAES, B. C.; SODRÉ, G. R. C.; SOUZA, E. B.; FERREIRA, D. B. S.; OLIVEIRA, J. V. Sensoriamento remoto como ferramenta para a determinação da estação chuvosa na Amazônia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8 n. 5, p. 1374-1382, 2015a.

MORAES, B. C.; COSTA, J. M. N.; COSTA, A. C. L.; COSTA, M. H. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. **Acta Amazônica**, v. 35, n. 2, p. 207 – 214, 2005.

MORAES, M. C. P.; MELLO, K.; TOPPA, R. H. Análise da paisagem de uma zona de amortecimento como subsídio para o planejamento e gestão de unidades de conservação. **Revista Árvore**, v. 39, n. 1, p. 1-8, 2015b.

MOREIRA, T. R.; SANTOS, A. R.; DALFI, R. L.; CAMPOS, R. F.; SANTOS, G. M. A. D. A.; EUGENIO, F. C. Confronto do Uso e Ocupação da Terra em APPs no Município de Muqui, ES. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 141-152, 2015.

MORTATTI, J.; BORTOLETTO JUNIOR, M. J.; MILDE, L. C. E.; PROBST, J. L. Hidrologia dos Rios Tietê e Piracicaba: séries temporais de vazão e hidrogramas de cheia. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v. 12, n. 23, p. 55-67, 2014.

NARDINI, R. C.; CAMPOS, S.; RIBEIRO, F. L.; GOMES, L. N.; FELIPE, A. C. CAMPOS, M. Avaliação das áreas de conflito de uso em APP da microbacia do Ribeirão Morro Grande. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 16, n. 55, p. 104-113, 2015.

NASCIMENTO, C. P.; SILVA, M.; FERREIRA, M. B. P. A pecuária como atividade primaz na Amazônia: uma discussão acerca dos seus aspectos ambientais, das populações humanas envolvidas e do papel das instituições na dinâmica desta atividade. **Revista de Estudos Sociais**, v. 17, n. 33, p. 208-227, 2015

NASCIMENTO, T. V.; FERNANDES, L. L. Mapeamento de uso e ocupação do solo em uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia. **Ciência e Natura**, v.39 n.1, p. 170–178, 2017.

NEVES, P. A. P. F. G.; SILVA, L. M.; PONTES, A. N.; PAULA, M. T. Correlação entre pecuária e desmatamento em municípios da mesorregião sudeste do estado do Pará, Brasil. **Ambiência**, v. 10, n. 3, p. 795-806, set./dez. 2014.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). **Cold & warm episodes by season**. Disponível em: <[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)>. Acesso em: 10 jan. 2018.

OLIVEIRA, R. C. O.; ALMEIDA, E.; FREGUGLIA, R. S.; BARRETO, R. C. S. Desmatamento e crescimento econômico no Brasil: uma análise da curva de Kuznets ambiental para a Amazônia legal. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 49, n. 3, p. 709-739, jul-set. 2011.

OLIVEIRA, R. R. S.; VENTURIERI, A.; SAMPAIO, S. M. N.; LIMA, A. M. M.; ROCHA, E. J. P. Dinâmica de uso e cobertura da terra das regiões de integração do Araguaia e Tapajós/PA, para os anos de 2008 e 2010. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.68, n.7, p. 1411-1424, jul./ago. 2016.

PEREIRA, B. W. F.; MACIEL, M. N. M.; OLIVEIRA, F. A.; ALVES, M. A. M. S.; RIBEIRO, A. M.; FERREIRA, B. M.; RIBEIRO, E. G. P. Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 2, p. 472-485, apr./jun. 2016.

PEREIRA, B. W.; JESUIN, S. A.; MACIEL, M. N.; OLIVEIRA, F. A.; CREÃO, L. G. C. Fragmentação da vegetação arbórea na bacia hidrográfica do Rio Apeú, Nordeste do Estado do Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 55, n. 4, p. 297-305, 2012

PEREIRA, J. L. G.; BATISTA, G. T.; THALÊS, M. C.; ROBERTS, D. A.; VENTURIERI, A. Métricas da paisagem na caracterização da evolução da ocupação da Amazônia. **Geografia (Rio Claro. Impresso)**, v. 26, n. 1, p. 59-90, 2001.

PINHEIRO, A.; BERTOLDI, J.; VIBRANS, A. C.; KAUFMANN, V.; DESHAYES, M. Uso do solo na zona ripária de bacias agrícolas de pequeno a médio porte. **Revista Árvore**, v. 35, n. 6, p. 1245-1251, 2011.

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

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; KOETZ, M. **Estudo de vazão em cursos d'água**. Viçosa: AEAGRI, 2006. 151 p.

REBELLO, F. K.; SANTOS, M. A. S.; HOMMA, A. K. O. Modernização da agricultura nos municípios do nordeste paraense: determinantes e hierarquização no ano de 2006. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 9, n. 2, p. 209-232, 2011.

REGO, A. G.; FERNANDES, L. L.; BLANCO, C. J. C.; BARP, A. R. B. Evaluation of sustainability in the use of water within the Amazon deforestation area: a case study in Rondon do Pará, Pará State, Brazil. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 35, n. 2, p. 237-245, Apr.-Jun, 2013.

REGO, A. G.; FERNANDES, L. L.; LIMA, A. C. M. Diagnóstico da potencial poluição nos rios do arco do desmatamento brasileiro: estudo de caso dos rios Ararandeuá e Pebas em Rondon do Pará. **Traços**, Belém, v.13, n. 27, p. 47-61, jun. 2011.

REZENDE, R. A. **Fragmentação da flora nativa como instrumento de análise da sustentabilidade ecológica de áreas protegidas – Espinhaço Sul (MG)**. 2011. 215f. Tese (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

REZENDE, R. A.; PRADO FILHO, J. F.; SOBREIRA, F. G. SANTOS, T. F. Dinâmica da cobertura do solo no extremo sul da serra do espinhaço: métricas da paisagem e a conectividade entre áreas protegidas. **Geografia**, v. 35, n. 3, p. 683-699, set./dez. 2010.

RIVERO, S.; ALMEIDA, O.; ÁVILA, S.; OLIVEIRA, W. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 1, n. 19, p. 41-66, jan.-abr. 2009.

ROCHA, P. C. Indicadores de alteração hidrológica no Alto Rio Paraná; intervenções humanas e implicações na dinâmica do ambiente fluvial. **Sociedade & Natureza**, v. 22, n. 1, p. 191-211, 2010.

SABEDOT, S.; KAUTZMANN, R. M.; PETTER, C. O.; SAMPAIO, C. H. Minerais contaminantes do caulim da mina Ipixuna, no estado do Pará: características e interferências no beneficiamento mineral. **Holos**, v. 3, n. 30, p. 349-357, 2014.

SANTOS, C. A.; SERRÃO, E. A. O.; GONÇALVES, L. J. M.; WANZELER, R. T. S.; LIMA, A. M. M. Zoneamento da distribuição da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio tapajós. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 3092-3106, 2014a.

SANTOS, M. A. S.; SENA, A. L. S.; SANTOS, J. C.; LOURENÇO JÚNIOR, J. B. Caracterização das aplicações de crédito rural e dos financiamentos à pecuária leiteira na região oeste do Estado do Pará. **Nucleus**, v.11, n.2, p. 213-224, out. 2014b.

SANTOS, S. R. Q.; BRAGA, C. C.; CAMPOS, T. L. O. B.; BRITO, J. I. B.; SANTOS, A. P. P. Variabilidade da Precipitação no Estado do Pará por meio de Análise em Componentes Principais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 3, p. 615- 627. 2014c.

SANTOS, E. H. M.; GRIEBELER, N. P., OLIVEIRA, L. F. C. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 8, p. 826-834, 2010.

SANTOS, C. A.; ARAÚJO, I. B.; WANZELER, R. T. S.; SERRÃO, E. A. O.; FARIAS, M. H. C. S.; LIMA, A. M. M. Regionalização hidroclimatológica da bacia hidrográfica do rio Tapajós. **Revista Geografia Acadêmica**, v.9, n.1, p. 32-51, 2015.

SANTOS, S. R. Q.; SANSIGOLO, C. A.; NEVES, T. T. A. T.; SANTOS, A. P. P. Variabilidade sazonal da precipitação na Amazônia: Validação da série de precipitação mensal do GPCC. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 6, p. 1721-1729. 2017.

SCHAADT, S. S.; VIBRANS, A. C. O uso da terra no entorno de fragmentos florestais influencia a sua composição e estrutura. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 4, p. 437-445. 2015.

SENA, J. A., DEUS, L. A. B.; FREITAS, M. A. V.; COSTA, L. Extreme Events of Droughts and Floods in Amazonia: 2005 and 2009. **Water Resour Manage**, v. 26, p. 1665–1676, 2012.

SERRÃO, E. A. O.; LIMA, A. M. M.; SOUSA, F. A. S.; FERREIRA, T. R.; SANTOS, C. A.; SILVA JÚNIOR, J. A. Distribuição espacial de intensidade pluviométrica na calha do rio Solimões: estudo de caso a seca de 2010 na Amazônia. **Acta Geográfica**, Boa Vista, v. 11, n. 2, p. 1-16, jan.-abr. 2017.

SILVA, P. R. **Caracterização e uso do solo das bacias dos rios Capim e Guamá, PA.** 1989. 131f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 1989.

SILVA, K. G.; SANTOS, A. R.; SILVA, A. G.; PELUZIO, J. B. E.; FIEDLER, N. C.; ZANETTI, S. S. Análise da dinâmica espaço-temporal dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio alegre, ES. **Cerne**, v. 21, n. 2, p. 311-318, 2015.

SILVA, M. K. A. **Modelagem hidrológica aplicada ao estudo da vazão da bacia hidrográfica do rio Araguari - MG, a partir das mudanças do uso da terra e cobertura vegetal nativa.** 2014. 196 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, 2014a.

SILVA, P. R. Os rios paraenses: uma breve descrição potamográfica. **Boletim Amazônico de Geografia**, v. 01, n. 02, p. 88-104, jul.-dez. 2014b.

SILVEIRA, R. P.; OLIVEIRA, V. P. S. Identificação dos impactos ambientais da ocupação irregular nas Áreas de Preservação Permanente (APP) da Bacia Hidrográfica do Rio Itabapoana. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, Campos dos Goytacazes/RJ**, v.10 n.1, p. 179-200, jan.-jun. 2016.

SIQUEIRA, L. P.; MATOS, M. B.; MATOS, D. M. S.; PORTELA, R. C. Q.; BRAZ, M. I. G.; LIMA, L. S. Using the variances of microclimate variables to determine edge effects in small atlantic rain forest fragments, south-eastern Brazil. **Ecotropica**, v. 10, p. 59–64, 2004.

SOUSA, A. M. L.; ROCHA, E. J. P.; VITORINO, M. I.; SOUZA, P. J. O. P.; BOTELHO, M. N. Variabilidade espaço-temporal da precipitação na Amazônia durante eventos ENOS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 15-29, 2015.

SOUSA, L. M. **Estoques de carbono resultantes de mudanças de uso e cobertura do solo e sua relação com os indicadores socioeconômicos nos municípios de Paragominas e Ulianópolis, Pará.** 2016. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

SOUSA, L. M.; ADAMI, M.; LIMA, A. M. M.; RAMOS, W. F. Avaliação do uso e cobertura da terra em Paragominas e Ulianópolis-PA, utilizando dados do projeto TerraClass. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 3, p. 421-431, 2017.

SOUZA, E. B. et al. 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.; AMBRIZZI, T. Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms. **Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 1, p. 1-20, 2003.

SOUZA, E. B.; CARMO, A. M. C.; MORAES, B. C.; NACIF, A.; FERREIRA, D. B. S.; ROCHA, E. J. P.; SOUZA, P. J. O. P. Sazonalidade da precipitação sobre a Amazônia legal brasileira: clima atual e projeções futuras usando o modelo RegCM4. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 293-306, jan.-jun. 2016a.

SOUZA, E. B.; FERREIRA, D. B. S.; GUIMARÃES, J. T. F.; FRANCO, V. S.; AZEVEDO, F. T. M.; SOUZA, P. J. O. P. Padrões climatológicos e tendências da precipitação nos regimes chuvoso e seco da Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 81-93, jul.-dez. 2017a.

SOUZA, E.B.; KAYANO, M. T.; TOTA, J.; PEZZI, L.; FISCH, G. NOBRE, C. On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. **Acta Amazônica**, v. 30, n. 2, p. 305-318, 2000.

SOUZA, M. M.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 263-274, jul.-set. 2014.

SOUZA, N. S.; SOUZA, W. J.; CARDOSO, J. M. S. Caracterização hidrológica e influência da cobertura do solo nos parâmetros de vazão do Rio das Fêmeas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 453-462, mai.-jun. 2017b.

SOUZA, P. F. S.; SOUZA, E. B.; QUEIROZ, J. C. B.; SILVA JUNIOR, J. A. Impactos dos anos climáticos extremos no rendimento da lavoura temporária de mandioca na região rural da metrópole de Belém – Pará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 94-112, jul.-dez. 2017c.

SOUZA, P. J. O. P.; FARIAS, S. O.; ROCHA, E. J. P.; SOUSA, A. M. L.; SOUZA, E. B. Consumo hídrico da soja no nordeste paraense. **Irriga**, Edição Especial, Irrigação, p. 218-231, 2016b.

SOUZA, S. R.; MACIEL, M. N. M.; OLIVEIRA, F. A.; JESUÍNO, S. A. Caracterização do conflito de uso e ocupação do solo nas áreas de preservação permanente do rio Apeú, nordeste do Pará. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 42, n. 4, p. 701 - 710, out.-dez. 2012.

SOUZA-FILHO, P. W. M.; SOUZA, E. B.; JÚNIOR, R. O. S. NASCIMENTO JUNIOR, W. R.; MENDONÇA, B. R. V.; GUIMARÃES, J. T. DALL'AGNOL, R.; SIQUEIRA, J. O. Four decades of land-cover, land-use and hydroclimatology changes in the Itacaiúnas River watershed, southeastern Amazon. **Journal of Environmental Management**, v. 167, p. 175-184, 2016.

TARGA, M. S. et al. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.7, n.2, p. 120-142, 2012.

TERRACLASS. **Uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal**: TerraClass 2008. Brasília, DF; Belém: Embrapa; INPE, 2013.

TUCCI, E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças ambientais nas vazões dos rios: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, p. 135–152, 1997.

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

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

VASCONCELLOS, R. C.; BELTRÃO, N. E. S.; PONTES, A. N. Estimativa da pegada de carbono no setor de soja no município de Paragominas, Pará. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 7, n. 1, p. 142-149, 2016.

VASCONCELOS, P. G. A. **Determinantes do desmatamento na Amazônia brasileira**. 2015. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília,DF, 2015.

VENTURIERI, A.; FIGEIREDO, R.; WATRIN, O. S.; MARKEWITZ, D. Utilização de imagens Landsat e CBERS na avaliação da mudança do uso e cobertura da terra e seus reflexos na qualidade da água em microbacia hidrográfica do município de Paragominas, Pará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. v. 1, p. 1127-1134.

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

VITTALA, S. S.; GOVINDAIAH, S.; GOWDA, H. H. Prioritization of sub-watersheds for sustainable development and management of natural resources: an integrated approach using remote sensing, GIS and socio-economic data. **Current Science**, v. 95, n. 3, p. 345-354, 2008.

VOLOTÃO, C. F. S. **Trabalho de análise espacial: métricas do Fragstats**. 1998. 48 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais –INPE, São Paulo, 1998.

WANDERLEY, H. S. et al. Variabilidade espacial e preenchimento de falhas de dados pluviométricos para o Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 3, p. 347- 354, 2012.

YANG, Y.; TIAN, F. Abrupt change of runoff and its major driving factors in Haihe River Catchment, China. **Journal of Hydrology**, v. 374, p. 373–383, 2009.

ZHANG, G.; GUHATHAKURTA, S.; DAI, G.; WU, L.; YAN, L. The Control of Land-Use Patterns for Stormwater Management at Multiple Spatial Scales. **Environmental Management**, v. 51, p. 555-570, 2013.