



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

NÍVIA CRISTINA VIEIRA ROCHA

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE HÍDRICA SEGUNDO OS  
MODELOS DE USO E OCUPAÇÃO DO TERRITÓRIO NA BACIA DO  
RIO GUAMÁ – PARÁ, AMAZÔNIA ORIENTAL**

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

Linha de Pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmica Sócioambiental.

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

**Belém-PA**

**2017**

NÍVIA CRISTINA VIEIRA ROCHA

AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE HÍDRICA SEGUNDO OS MODELOS DE USO  
E OCUPAÇÃO DO TERRITÓRIO NA BACIA DO RIO GUAMÁ – PARÁ, AMAZÔNIA  
ORIENTAL

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

Linha de Pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmica Sócioambiental.

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

**Belém-PA**

**2017**

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

---

Rocha, Nívia Cristina Vieira, 1993-

Avaliação da sustentabilidade hídrica segundo os modelos de uso e ocupação do território na bacia do rio Guamá – Pará, Amazônia Oriental / Nívia Cristina Vieira Rocha. – 2017.

118 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, 2017.

1. Solo – Uso – Pará. 2. Sustentabilidade – Índices. 3. Bacias hidrográficas - Pará. I. Título.

CDD 22. ed. 333.7313098115

---

NÍVIA CRISTINA VIEIRA ROCHA

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE HÍDRICA SEGUNDO OS MODELOS DE  
USO E OCUPAÇÃO DO TERRITÓRIO NA BACIA DO RIO GUAMÁ – PARÁ,  
AMAZÔNIA ORIENTAL**

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 Mestra em Ciências Ambientais. Área em Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

Data de aprovação: 28 / 02 / 2017

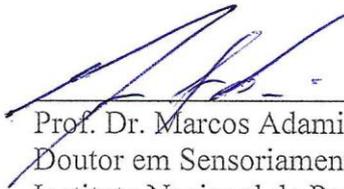
Banca examinadora:



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



Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza  
Doutor em Meteorologia  
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. Marcos Adami  
Doutor em Sensoriamento Remoto  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais



Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes  
Doutor em Desenvolvimento Sustentável do Trópico  
Úmido  
Universidade Federal do Pará

*Aos meus pais, Jozino Rocha Filho e Luzia Vieira Rocha  
E, a minha irmã Narelívia Vieira Rocha*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por sua presença e pela força e sabedoria a mim concedidas.

Aos meus pais, Jozino Rocha Filho e Luzia Vieira Rocha, pelo exemplo de dedicação, no apoio e incentivo a sempre seguir adiante.

À minha irmã, Narolivia Vieira Rocha, pelo carinho e companheirismo em todos os momentos.

Agradeço à Dr.<sup>a</sup> Aline Maria Meiguins de Lima pela orientação, ensinamentos e dedicação dada a esse trabalho de pesquisa.

Aos amigos da turma do PPGCA 2015 pela parceria durante esta trajetória.

Ao Alexandre Damasceno, pela compreensão, apoio e companheirismo.

Ao Projeto de Pesquisa “Avaliação da sustentabilidade hídrica segundo os modelos de uso e ocupação do território na Amazônia Oriental”.

Ao Laboratório de Estudos e Modelagens Hidroambientais (LEMHA), pelos recursos oferecidos para realização desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

*“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.”*

*Albert Einstein*

## RESUMO

A bacia hidrográfica do rio Guamá abrange dezenove municípios localizados no nordeste paraense, região com a maior densidade demográfica do estado. O objetivo desta pesquisa é aplicar o índice de sustentabilidade hídrica para a bacia hidrográfica do rio Guamá, a partir de aspectos hidrológicos (utilizando a metodologia Curva Número), ambientais (por meio da análise da porcentagem de área composta de vegetação), sociais (a partir de índices que contribuem para analisar a qualidade de vida) e de gestão (com a análise do potencial institucional). Para uma melhor análise, a bacia do rio Guamá foi dividida em oito sub-bacias. Os resultados referentes ao indicador hidrológico demonstraram uma característica mediana em relação às sub-bacias; o indicador ambiental mostrou a distinção destas em relação à cobertura vegetal; o indicador social foi considerado o que apresentou pior desempenho em relação aos demais; e o indicador de gestão apresentou características que apontam a necessidade de um fortalecimento institucional. Levando em consideração a bacia do rio Guamá como um todo, é obtido o índice de sustentabilidade intermediário. Considerando o contexto em que se encontra esta bacia hidrográfica, são necessárias medidas voltadas ao planejamento estratégico ligado à gestão e manejo da mesma, sendo que os gestores e demais setores da sociedade devem trabalhar de maneira mais eficiente para minimizar as pressões sobre a vegetação remanescente, para reforçar a capacidade institucional e para melhorar a qualidade dos recursos e de vida da população, com a intenção de potencializar a sustentabilidade da bacia como um todo.

Palavras-chave: Dinâmica do uso do solo. Índice de sustentabilidade. Bacia hidrográfica.

## **ABSTRACT**

The Guamá river basin covers nineteen municipalities in Northeast of Pará, region whit the highest demographic density in the state. The objective of this research is to apply the water sustainability index for Guamá river basin, from hydrological aspects (using the Curve Number methodology), environmental (analysis of the percentage of area composed of vegetation), social (indexes that contribute to analyze the quality of life) and management (the analysis of the institutional potential). For a better analysis, the Guamá river basin was divided into eight sub-basins. The results for the hydrological indicator showed a medium feature in relation to sub-basins; the environmental indicator showed the difference of the sub-basins in relation to the vegetation cover; the social indicator presented worse performance in relation to the other indicators; and the management indicator presented characteristics that point to the need to a Institutional strengthening. The Guamá river basin presents the intermediate sustainability index. Considering the context in which this river basin is located, measures are needed for strategic planning related to the management, and the managers and other sectors of society should work more efficiently to minimize pressures on the remaining vegetation, to strengthen institutional capacity and improve the quality of resources and life of the population, with the intention of potentiate the sustainability of the entire basin.

**Key words:** Land use dynamics. Sustainability index. Hydrographic basin

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Localização da área de estudo. ....	27
Figura 02 - Bacia do rio Guamá: divisão em sub-bacias. ....	29
Figura 03 - Classificação dos solos da bacia do rio Guamá. ....	30
Figura 04 - Pontos de coleta de dados para dar suporte à classificação supervisionada. ....	33
Figura 05 - Mapa de cobertura e uso do solo da bacia do rio Guamá. ....	48
Figura 06 - Tipos de cultivo identificados na bacia do rio Guamá: (a) cultivo de mandioca no município de Inhangapi; (b) plantação de laranja no município de Capitão Poço; (c) produção de dendê no município de Garrafão do Norte. ....	50
Figura 07 - Uso e cobertura do solo da sub-bacia do baixo Guamá. ....	51
Figura 08 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do igarapé Apeú. ....	53
Figura 09 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do rio Bujarú. ....	55
Figura 10 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do médio Guamá 1. ....	56
Figura 11 - Trecho do rio Guamá localizado na divisa entre os municípios de Irituia e São Miguel do Guamá. ....	57
Figura 12 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do médio Guamá 2. ....	58
Figura 13 - Áreas de exploração mineral no município de Ourém. ....	59
Figura 14 - Trechos do rio Guamá: (a) divisa entre os municípios de Ourém e Capitão Poço; (b) divisa entre os municípios de Santa Luzia e Capitão Poço. ....	59
Figura 15 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do igarapé Mãe do Rio. ....	60
Figura 16 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do alto Guamá. ....	61
Figura 17 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do rio Sujo. ....	63
Figura 18 - (a) fragmentos florestais da bacia do rio Guamá; (b) sub-bacias definidas; (c) análise de agrupamento segundo as métricas de paisagem. ....	64
Figura 19 - Relação entre número de fragmentos e área das oito sub-bacias de análise, em função das classes de área. ....	69
Figura 20 - Distribuição da média mensal da precipitação das estações analisadas. ....	81
Figura 21 - Distribuição dos polígonos de Thiessen para as sub-bacias. ....	82
Figura 22 - Classificação das sub-bacias de acordo com o indicador hidrológico. ....	91
Figura 23 - Classificação das sub-bacias de acordo com o indicador ambiental. ....	92
Figura 24 - Classificação das sub-bacias de acordo com o indicador social. ....	92
Figura 25 - Classificação das sub-bacias de acordo com o indicador de gestão. ....	93

Figura 26 - Espacialização dos valores obtidos para o ISH por sub-bacia. ....	95
Figura 27 - Espacialização do desempenho obtido pelas sub-bacia de acordo com os valores do ISH. ....	96

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Municípios pertencentes à bacia hidrográfica do Guamá. ....	26
Tabela 02 - Sub-bacias do rio Guamá e seus respectivos municípios. ....	28
Tabela 03 - Especificações gerais dos satélites do sistema <i>RapidEye</i> . ....	31
Tabela 04 - Classes de cobertura vegetal e uso e ocupação analisadas na área de estudo. ....	34
Tabela 05 - Índice <i>Kappa</i> . ....	35
Tabela 06 - Valores de CN em relação à cobertura e grupo hidrológico de solo para condições normais de umidade. ....	39
Tabela 07 - Localização das estações pluviométricas. ....	41
Tabela 08 - Parâmetros para a avaliação da gestão dos municípios. ....	45
Tabela 09 - Variáveis para a aplicação do ISH. ....	46
Tabela 10 - Classificação dos valores do ISH. ....	47
Tabela 11 - Uso e cobertura do solo na bacia do rio Guamá. ....	49
Tabela 12 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do baixo Guamá. ....	52
Tabela 13 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do igarapé Apeú. ....	53
Tabela 14 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do rio Bujarú. ....	54
Tabela 15 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do médio Guamá 1. ....	56
Tabela 16 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do médio Guamá 2. ....	58
Tabela 17 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do igarapé Mãe do Rio. ....	60
Tabela 18 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do alto Guamá. ....	62
Tabela 19 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do rio Sujo. ....	63
Tabela 20 - Número de fragmentos florestais e suas respectivas áreas. ....	65
Tabela 21 - Densidade, tamanho, desvio padrão e coeficiente de variação dos fragmentos por sub-bacia. ....	66
Tabela 22 - Número de fragmentos de vegetação distribuídos por classe de tamanho nas sub-bacias. ....	67
Tabela 23 - Área ocupada por fragmentos de vegetação por classe de tamanho nas sub-bacias. ....	67
Tabela 24 - Índices de forma média, forma média ponderada, dimensão fractal média para cada sub-bacia. ....	71
Tabela 25 - Número de fragmentos que possuem área central, área nuclear total e índice de área nuclear total por sub-bacia. ....	72

Tabela 26 - Distância média entre os fragmentos, desvio padrão, coeficiente de variação e índice de proximidade média. ....	74
Tabela 27 - Curva número das classes de uso e cobertura do solo para a sub-bacia do Baixo Guamá. ....	75
Tabela 28 - Curva número das classes de uso e cobertura do solo para a sub-bacia do igarapé Apeú. ....	76
Tabela 29 - Curva número das classes de uso e cobertura do solo para a sub-bacia do rio Bujarú. ....	76
Tabela 30 - Curva número das classes de uso e cobertura do solo para a sub-bacia do médio Guamá 1. ....	76
Tabela 31 - Curva número das classes de uso e cobertura do solo para a sub-bacia do médio Guamá 2. ....	77
Tabela 32 - Curva número das classes de uso e cobertura do solo para a sub-bacia do igarapé Mãe do Rio. ....	77
Tabela 33 - Curva número das classes de uso e cobertura do solo para a sub-bacia do alto Guamá. ....	77
Tabela 34 - Curva número das classes de uso e cobertura do solo para a sub-bacia do rio Sujo. ....	78
Tabela 35 - Valores de CN médio, capacidade máxima de retenção e perdas iniciais para cada classe de uso e cobertura do solo das sub-bacias. ....	78
Tabela 36 - Precipitação média anual por sub-bacia. ....	82
Tabela 37 - Escoamento superficial por classe de uso e cobertura para cada sub-bacia. ....	83
Tabela 38 - Escoamento superficial médio por sub-bacia. ....	84
Tabela 39 - Variáveis para a análise social dos municípios. ....	85
Tabela 40 - Indicador social por sub-bacia. ....	88
Tabela 41 - Indicadores de gestão por município. ....	89
Tabela 42 - Indicador de gestão por sub-bacia. ....	90
Tabela 43 - Índice de sustentabilidade das sub-bacias. ....	95

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA – Agência Nacional de Águas  
CAR – Cadastro Ambiental Rural  
CN – Curva Número  
COSANPA – Companhia de Saneamento do Pará  
ENVI – Environment for Visualizing Images  
GPS – Global Positioning System  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal  
ISH – Índice de Sustentabilidade Hídrica  
MaxVer – Máxima Verossimilhança  
MMA – Ministério do Meio Ambiente  
NRCS – Serviço de Conservação dos Recursos Naturais  
PIB – Produto Interno Bruto  
PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento  
RMB – Região Metropolitana de Belém  
SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgotos  
SAAEB – Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém  
SBRH – Sub-Região Hidrográfica  
SCS – Soil Conservation Service  
SESAN – Secretaria Municipal de Saneamento  
SIG – Sistema de Informações Geográficas  
SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento  
Ta - Argila de Alta Atividade  
Tb - Argila de Baixa Atividade  
UPLAN – Unidade Hidrográfica de Planejamento  
USDA – United States Department of Agriculture  
UTM – Universal Transverse Mercator  
WGS84 – World Geodetic System 1984

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	18
<b>2.1 Objetivo geral</b> .....	18
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	18
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	19
<b>3.1 Geoprocessamento e sistemas de informações geográficas</b> .....	19
<b>3.2 Uso e ocupação do solo</b> .....	20
<b>3.3 Dinâmica da paisagem</b> .....	21
<b>3.4 Bacia hidrográfica enquanto unidade de estudo</b> .....	23
<b>3.5 Índice de sustentabilidade hídrica</b> .....	24
<b>4 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	26
<b>4.1 Clima</b> .....	29
<b>4.2 Solos</b> .....	29
<b>5 MATERIAIS E MÉTODO</b> .....	31
<b>5.1 Materiais</b> .....	31
<b>5.2 Método</b> .....	32
5.2.1 Análise das imagens e definição das variáveis de uso e cobertura do solo .....	32
5.2.2 Cálculo de métricas de paisagem .....	35
5.2.3 Aplicações do modelo hidrológico curva número - CN.....	37
5.2.4 Parâmetros sociais .....	43
5.2.5 Parâmetros de gestão .....	44
5.2.6 Índice de sustentabilidade hídrica – ISH.....	46
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	48
<b>6.1 Caracterização do uso e cobertura do solo da bacia do rio Guamá</b> .....	48
6.1.1 Uso e cobertura do solo nas sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Guamá .....	51
6.1.1.1 Sub-bacia do Baixo Guamá .....	51
6.1.1.2 Sub-bacia do igarapé Apeú .....	52
6.1.1.3 Sub-bacia do rio Bujarú .....	54
6.1.1.4 Sub-bacia do médio Guamá 1 .....	56
6.1.1.5 Sub-bacia do médio Guamá 2 .....	57
6.1.1.6 Sub-bacia do igarapé Mãe do Rio .....	59

6.1.1.7 Sub-bacia do alto Guamá.....	61
6.1.1.8 Sub-bacia do rio Sujo .....	62
<b>6.2 Análise da estrutura da paisagem da bacia hidrográfica do rio Guamá.....</b>	<b>64</b>
6.2.1 Índices de área, densidade, tamanho e variabilidade métrica .....	65
6.2.2 Índice de forma .....	70
6.2.3 Índice da área nuclear.....	72
6.2.4 Índice de proximidade .....	73
<b>6.3 Aplicação do método curva número para a bacia do rio Guamá .....</b>	<b>75</b>
<b>6.4 Análise dos dados sociais.....</b>	<b>85</b>
<b>6.5 Análise dos dados de gestão .....</b>	<b>89</b>
<b>6.6 Sustentabilidade hídrica da bacia do rio Guamá .....</b>	<b>91</b>
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>100</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>102</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>110</b>
<b>APÊNDICE A - VALORES DE PRECIPITAÇÃO GERADOS A PARTIR DOS POLÍGONOS DE THIESSEN .....</b>	<b>111</b>
<b>APÊNDICE B - MÉDIA PONDERADA PARA OS INDICADORES SOCIAIS .....</b>	<b>112</b>
<b>APÊNDICE C - VARIÁVEIS DE GESTÃO DOS MUNICÍPIOS (CONTINUA) .....</b>	<b>113</b>
<b>APÊNDICE D - MÉDIA PONDERADA PARA OS INDICADORES DE GESTÃO .....</b>	<b>115</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>116</b>
<b>ANEXO A - EQUAÇÕES DOS ÍNDICES DE DENSIDADE, TAMANHO, VARIABILIDADE MÉTRICA, TAMANHO, ÁREA NUCLEAR E PROXIMIDADE.....</b>	<b>117</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, tem-se identificado na região Amazônica uma intensificação de processos ligados à substituição das paisagens naturais por outros usos da terra ocasionados pelo aumento das interferências antrópicas sobre o ambiente. Essas intervenções na paisagem convertem extensas e contínuas áreas com cobertura florestal em fragmentos florestais, áreas de atividades agropecuárias, centros urbanos, dentre outros, causando impactos ao meio ambiente, e em muitos casos, a falta de planejamento desse processo, representa condições de ameaça constante à sustentabilidade hídrica das bacias hidrográficas amazônicas (VOGEL; ZAWADZKI; METRI, 2009; LEITE; ROSA, 2012; RUDOLPHO et al., 2013).

O significativo crescimento demográfico gerou nos últimos anos uma maior demanda sobre os recursos hídricos, tanto para suprir as necessidades da população como também da indústria e, além disso, as alterações de áreas com cobertura vegetal devem provocar, de médio a longo prazo, modificações no potencial hídrico (PRATES; BACHA, 2011). Com isso é ressaltada a necessidade de avanços institucionais e tecnológicos para a recuperação e proteção dos sistemas hídricos, além de novas visões para a gestão preventiva, integrada e adaptativa (TUNDISI, 2003).

Manter a sustentabilidade hídrica é de fundamental importância já que a mesma leva em consideração a disponibilidade quantitativa e qualitativa de acordo com um acesso equilibrado, dentro dos usos e das exigências de cada bacia hidrográfica (FARIAS, 2007), ou seja, são necessários que sejam destacados e analisados os processos que contribuem para a dinâmica do ecossistema para que haja a sustentabilidade em bacias hidrográficas.

A aplicação de um índice de sustentabilidade hídrica, abrangendo diferentes aspectos e respostas socioeconômicas e ambientais, torna-se útil para a verificação do nível de sustentabilidade das bacias hidrográficas, permitindo a obtenção de um conjunto de indicadores, além possibilitar a elaboração de instrumentos capazes de identificar empecilhos que dificultam a gestão (CHAVES; ALIPAZ, 2007).

A partir deste contexto, leva-se em consideração a bacia hidrográfica do rio Guamá que está localizada na Região Hidrográfica Costa Atlântica Nordeste do estado do Pará, abrangendo 19 municípios no domínio do Bioma Amazônico inseridos na área de influência do chamado “Arco do Desmatamento da Amazônia” (FEARNSIDE, 2005; FERREIRA; VENTICINQUE; ALMEIDA, 2005; RIVERO et al., 2009), caracterizando esta área nos últimos anos, com um avanço no processo de fragmentação.

A relevância da análise da bacia do rio Guamá no contexto hídrico do nordeste paraense indica a necessidade de uma percepção a respeito da composição e estrutura de sua paisagem, além da importância da aquisição de informações pertinentes para a análise da qualidade de vida da população desta área, as quais possibilitem o emprego de ações voltadas ao manejo e gestão da mesma.

Para o auxílio na análise de paisagens pode se observar a necessidade da utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e de dados de Sensoriamento Remoto, pois permitem de maneira eficiente a manipulação e a organização de grande volume de dados e informações espaciais, possibilitando assim, a obtenção de novas informações interpretativas a partir de modelos (WATRIN; CRUZ; SHIMABUKURO, 2005; BEZERRA et al., 2011; PEREIRA et al., 2013).

O objetivo desta pesquisa foi de aplicar um índice de sustentabilidade hídrica para a bacia do Rio Guamá, levando em consideração aspectos hidrológicos, ambientais, sociais e de gestão por meio de uma análise espacial de sua paisagem, parâmetros de escoamento superficial e aspectos ligados à qualidade de vida da população e voltados para a capacidade institucional.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar o índice de sustentabilidade hídrica - ISH para a bacia hidrográfica do rio Guamá, a partir de aspectos hidrológicos, ambientais, sociais e de gestão.

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) Caracterizar os processos de uso e ocupação da bacia hidrográfica do rio Guamá.
- b) Analisar a dinâmica de fragmentação da paisagem.
- c) Avaliar os parâmetros hidrológicos, os indicadores sociais e aspectos institucionais.
- d) Identificar o grau de sustentabilidade hídrica da Bacia do Rio Guamá.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Geoprocessamento e sistemas de informações geográficas

O geoprocessamento é considerado um conjunto de técnicas matemáticas e computacionais para a coleta, tratamento, armazenamento, processamento, representação e análise de informações geográficas com expressão espacial (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001). Esta ferramenta é de grande utilidade na procura de soluções para as questões ambientais e nas tomadas de decisões.

Com a evolução de tecnologias de geoprocessamento e de *softwares* gráficos, vários termos surgiram para as mais diversas especialidades (BRASIL, 2013). Os sistemas de geoprocessamento têm sido aplicados em diversas áreas das Ciências, como por exemplo, Cartografia, Geografia, Agronomia, Geologia, dentre outras, contribuindo para estudos de planejamento rural e urbano, meios de transporte, comunicação, energia e clima (MOREIRA, 2005).

De acordo com Vettorazzi (1996), existem diversas técnicas de geoprocessamento, destacando como principais procedimentos, os de topografia convencional, sistemas de posicionamento global (GPS), sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas, os quais estão ligados ao monitoramento ambiental de áreas.

O termo Sistemas de Informação Geográfica é, em diversos casos, confundido com o geoprocessamento. Este último é um conceito mais abrangente o qual representa qualquer forma de processamento de dados georreferenciados, enquanto os SIGs são sistemas computadorizados que processam informações gráficas e não gráficas para a realização de análises espaciais e modelagens de superfícies (BURROUGH, 1987).

Os SIGs permitem inserir, integrar e analisar um banco de dados além de informações espaciais, ou seja, auxiliam nos processos de avaliação ambiental, possibilitando a espacialização e análise conjunta de fatores ambientais (CÂMARA, 2005). Eles são constituídos por elementos como o *software*, o *hardware*, os procedimentos de entrada, o georreferenciamento, a manipulação e a análise e a saída de dados (ROSA, 2005).

Segundo Grigio et al. (2005), a partir do processamento e análise de dados, com o auxílio dos sistemas de informação geográfica, é possível diagnosticar inúmeros problemas relacionados as questões ambientais, permitindo a elaboração de recomendações para que haja uma melhor aplicação de atividades ligadas ao controle e prevenção de impactos e

gerenciamento destas ações. O uso destas ferramentas atreladas ao sensoriamento remoto é essencial para determinar a repartição geográfica do uso e da cobertura do solo, caracterização de bacias hidrográficas, dentre outras aplicações.

### **3.2 Uso e ocupação do solo**

Ao se referir sobre uso do solo, Casimiro (2002) apresenta três critérios: uso do solo definido como ecossistema, levando em consideração a intervenção no nível de gestão; como espaço, apresentando noções de extensão e limitação desta atividade; e por fim como paisagem, verificando a importância dos valores estéticos e a conservação do meio. O uso do solo como espaço e como ecossistema, implica em consequências definidas a respeito deste como paisagem.

O acelerado processo de crescimento socioeconômico tem influenciado nas alterações na superfície terrestre, fazendo com que haja, com a mesma velocidade em que se processam essas transformações, um aspecto de forma sistemática de possíveis alterações da interferência do homem sobre o ambiente, onde a falta de planejamento do uso e ocupação do solo representa uma ameaça constante à sustentabilidade ambiental (LEITE; ROSA, 2012).

O mapeamento do uso e cobertura do solo é uma importante ferramenta para o planejamento ambiental já que possibilita a espacialização e quantificação das diversas classes de uso, além de apresentar aspectos fundamentais para a compreensão dos padrões de organização do espaço (ROSA, 2009). A utilização do solo sem planejamento e manejo vem ocasionando diferentes problemas ambientais, como por exemplo, o comprometimento de fontes e mananciais, degradação de habitats naturais, erosão, enchentes e assoreamento (WEISS et al., 2013).

Conforme Amaral e Rios (2012), a análise da organização do território, a qual geralmente está associada às atividades conduzidas pelo homem relacionadas a uma extensão de terra ou a um ecossistema na intenção de obter produtos e benefícios, permite a projeção de cenários futuros, podendo ser estabelecidas estratégias de planejamento socioeconômico e ambientais, levando em consideração o médio e longo prazo.

A análise, as formas e a dinâmica de ocupação do território, além de estudos relacionados a este tema, representam instrumentos fundamentais para a elaboração de indicadores ambientais e para a avaliação da capacidade de suporte do ambiente perante as

distintas formas de manejo agregadas na produção, contribuindo assim para a identificação de alternativas que geram a sustentabilidade do desenvolvimento (BRASIL, 2006).

### **3.3 Dinâmica da paisagem**

Carl Troll, em 1939 foi o primeiro a utilizar o termo “Ecologia de Paisagem” e desde então, este tem se tornado uma ciência fundamental para a conservação, desenvolvimento, manejo e planejamento da paisagem. Esta permite que haja uma análise ambiental e possibilita a realização de estudos que mostram a importância por integrar diversas áreas do conhecimento, permitindo avaliar a paisagem em diferentes aspectos e escalas (temporais e espaciais), justificando os diversos conceitos que se tem de paisagem (POLETTE, 1999).

De acordo com Turner (1989), ao analisar a paisagem, deve-se levar em consideração suas características de estrutura, funcionalidade e dinâmica no contexto ambiental. Sendo assim, os três elementos espaciais são: a matriz, os fragmentos e corredores; formando mosaicos os quais são responsáveis pela diversidade das paisagens, apresentando modelos espaciais com diferentes componentes.

O processo de fragmentação proporciona à formação de uma paisagem composta por um mosaico de vegetação nativa estruturada em unidades de diferentes áreas e formas, ou seja, apresenta estruturas constituídas por manchas ou fragmentos, corredores e a matriz (METZGER, 1999).

Fragmentos são considerados superfícies não lineares as quais estão inseridas na matriz, distinguindo no aspecto do seu entorno, variando em tamanho, forma, tipo de heterogeneidade e limites; a matriz é o elemento mais extensivo e conectado possuindo o papel dominante na paisagem; e os corredores são estreitas faixas, naturais ou antrópicas, que diferem da matriz em ambos os lados (VALENTE; VETTORAZZI, 2002). O estudo desses aspectos da paisagem, bem como suas interações, constitui-se de grande relevância para proposições de técnicas de manejo e conservação dos remanescentes florestais trazendo benefícios para todo o ecossistema.

Cada componente da paisagem apresenta uma capacidade diferente de armazenamento da energia, mecanismo de troca de calor, resposta de reação, tempo de relaxamento, resiliência, tolerância, e sensibilidade, implicando em uma instabilidade condicional no sistema (BRUNSDEN, 2001).

Um fragmento florestal é qualquer extensão vegetal natural e contínua, interrompida por barreiras antrópicas ou naturais, com a capacidade de reduzir consideravelmente o fluxo de espécies animais e estruturas vegetais responsáveis pela manutenção da floresta (VALERI; SENÔ, 2004). A fragmentação caracteriza-se pela ruptura de uma unidade da paisagem contínua, em unidades menores com dinâmicas distintas (METZGER, 1999). Este processo ocorre então, quando aumenta a distância entre as manchas isoladas de habitat.

A fragmentação florestal representa um dos principais impactos ambientais provenientes da exploração excessiva e desordenada do solo, onde o crescimento urbano e a expansão da fronteira agrícola têm gerado enormes pressões sobre os ecossistemas florestais (VOGEL; ZAWADZKI; METRI, 2009). Dentre os impactos, podem ser citados a extinção espécies, alterações no clima local, erosão de solos e assoreamento de cursos hídricos, já que as funções da cobertura florestal, tais como conservação da biodiversidade, equilíbrio climático, proteção dos solos e encostas, conservação dos recursos hídricos, entre outros serviços, deixam de ser exercidas (RUDOLPHO et al., 2013).

A ecologia da paisagem provê uma série de índices para análise da estrutura e padrão da paisagem através de medidas estatísticas denominadas métricas, que podem ser usadas para avaliar o *status* ecológico e as tendências em escalas variadas. São agrupadas em dois parâmetros: os de composição (quais unidades estão presentes, sua riqueza e área); e os de disposição (quantificam a disposição espacial pelo grau de fragmentação e frequência, grau de isolamento e conectividade, formato e complexidade das manchas) (BEZERRA, 2010).

A variedade de índices existentes em ecologia da paisagem levou autores como McGarigal e Marks (1994) a agruparem esses índices nas seguintes categorias: índices de área; índices de densidade, tamanho e variabilidade métrica dos fragmentos; índices de forma; índices de borda; índices de área central; índices de proximidade; índices de diversidade e índices métricos de contágio e espalhamento.

A capacidade de aplicar as medidas quantitativas da estrutura da paisagem é considerada pré-requisito para a análise das alterações e funções da mesma (MCGARIGAL; MARKS, 1994). São úteis em inúmeras circunstâncias: descrever e medir os elementos que compõem a estrutura da paisagem, comparar paisagens, identificar mudanças temporais, avaliar cenários propostos no período de um planejamento, relacionar padrões a funções ecológicas, entre outros (RUDOLPHO et al., 2013).

As métricas ou índices de paisagem recebem cada vez mais atenção, pois auxiliam na compreensão de estruturas complexas de paisagem e como estas influenciam determinadas

relações ecológicas (CARRÃO; CAETANO; NEVES, 2001). Várias dessas métricas têm sido desenvolvidas para descrever padrões espaciais por meio de produtos temáticos adquiridos a partir do uso integrado das ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento (WATRIN; VENTURIERI, 2005).

### **3.4 Bacia hidrográfica enquanto unidade de estudo**

Bacias hidrográficas são extensões drenadas por redes de canais fluviais, e, levando em consideração os seus processos atuantes, são influenciadas por inúmeras características locais, como por exemplo, topografia, litologia e tectônica (CHRISTOFOLETTI; PEREZ FILHO, 1976). São superfícies geográficas formadas nas regiões mais altas do relevo e drenadas por conjuntos de córregos e de seus tributários, os quais transportam a água precipitada, sedimentos e substâncias dissolvidas para um rio principal (MELLEK, 2015).

Segundo a percepção de Botelho e Silva (2004), bacias hidrográficas são consideradas células básicas de análise ambiental, abrangendo de forma implícita uma visão sistêmica e integrada do ambiente. É onde ocorrem os balanços de entrada proveniente de precipitação e saída de água através do exutório e do processo de evapotranspiração, permitindo que sejam delineadas bacias e sub-bacias, cuja interconexão se dá pelos sistemas hídricos (PORTO; PORTO, 2008). Discutir esta unidade integrada exige a percepção do todo e das partes componentes, assim como de suas interrelações (LIMA; PONTE, 2009).

A rede hidrográfica ou rede de drenagem, de acordo com Pereira (2012), é composta por todos os rios que constituem uma bacia hidrográfica e que se encontram hierarquicamente ligados. Tanto a bacia hidrográfica quanto a rede hidrográfica, possuem dimensões variadas em função das relações entre a estrutura geológica-geomorfológica e as condições climáticas (CARVALHO, 2014).

A partir desta análise e considerando os rios como agentes de integração, caso haja uma perturbação em qualquer ponto da bacia, a mesma será conduzida e poderá ser percebida por quilômetros de extensão graças a grande malha interligada por sub-bacias (CUNHA; GUERRA, 2003).

Levando em consideração a análise conjunta da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e do progresso do uso e ocupação do solo, a mesma contribui expressivamente para o diagnóstico e conhecimento de como os processos antrópicos foram instituídos na área de influência desta (AMARAL; RIOS, 2012). De acordo com Lacerda (1999), as populações

de países tropicais tendem a se concentrar às margens de rios, ao longo da história, favorecendo o acesso ao interior e o escoamento de seus produtos. Essa ocupação tem sido realizada de maneira desordenada, sem a consulta de normas e critérios os quais garantam a conservação do ambiente, inclusive no aspecto de suas potencialidades econômicas e qualidade de vida da população.

Estudos ligados a bacias hidrográficas, atualmente, apresentam-se entre os setores mais dinâmicos, no que diz respeito a avaliações de impactos da ação humana ao meio ambiente, já que estas são compostas por uma considerável unidade de área para o planejamento integrado de recursos naturais (PEREIRA et al., 2013). A compreensão da dinâmica de ocupação do solo e de sua interferência nos processos naturais é de relevante importância para a implantação de ações de planejamento socioambiental para esse sistema (AMARAL; RIOS, 2012).

A questão hídrica está diretamente associada a inúmeros conflitos econômicos sofrendo uma pressão constante em relação aos problemas de oferta de qualidade e de quantidade de água (LIMA et al., 2010). Por esta razão, essas unidades vêm sendo adotadas como áreas preferenciais para o planejamento dos recursos hídricos, onde nas últimas décadas, com a modernização dos modelos de gestão da água, o planejamento passou a incorporar o conceito de sustentabilidade (CARVALHO, 2014).

### **3.5 Índice de sustentabilidade hídrica**

Os recursos hídricos são considerados como um dos elementos mais relevantes na discussão a respeito da crise ambiental nos últimos anos. Diante deste quadro, leva-se em consideração o processo de urbanização ao longo das bacias hidrográficas que, somado a deficiência de planejamento do uso e ocupação do solo, ocasiona alterações na qualidade e quantidade de água.

O consumo *per capita* do recurso aumenta de acordo com a melhora de renda da sociedade, sendo que a água é empregada em diversos usos os quais estão diretamente relacionados à economia (regional, nacional e internacional). Os usos mais comuns e frequentes são para uso doméstico, irrigação, uso industrial e hidroeletricidade. Esses fatores reforçam a necessidade da realização de um manejo apropriado para os recursos hídricos, atendendo as condições das suas diversas finalidades (TUNDISI, 2003; RIBEIRO; PIZZO, 2011).

A partir da década de 1980, com a modernização dos modelos de gestão da água, passou-se a incorporar o conceito de sustentabilidade, fazendo com que a gestão ambiental e hídrica tivesse sua importância reforçada por meio das políticas públicas de desenvolvimento (CARVALHO, 2014).

A sustentabilidade hídrica implica em conservar um equilíbrio dinâmico entre a oferta e a demanda por água, de modo que os mananciais sejam utilizados a taxas iguais ou inferiores a sua resiliência. Segundo Chaves e Alipaz (2007), a sustentabilidade de uma determinada bacia está diretamente relacionada a seus processos hidrológicos, ambientais, de vida humana e condições de políticas públicas, na tentativa de integrá-los.

Dentre as formas de subsidiar uma gestão dos recursos hídricos capaz de contribuir para a busca do desenvolvimento sustentável, têm-se o desenvolvimento de métodos adequados para medir o desempenho dos sistemas hídricos e ambientais, como por exemplo, o índice de sustentabilidade hídrica (CARVALHO et al., 2011), o qual corresponde a uma análise interdisciplinar tratando da integração diversos parâmetros como, ambiental, hidrológico, social e de gestão (VIEIRA; STUDART, 2009).

De acordo com *Habitat Conservation Trust Fund* (2003), indicadores de sustentabilidade de bacias hidrográficas devem atender a alguns critérios básicos para que possam ser úteis, tais como: ser disponíveis e de fácil acesso, compreensíveis, confiáveis, relevantes e integradores. Um índice formado por indicadores, os quais atendem a estes critérios, pode ser aplicado globalmente, aumentando de forma significativa a sua utilidade no estabelecimento da sustentabilidade para as bacias hidrográficas (CHAVES; ALIPAZ, 2007).

Os índices e indicadores são bons instrumentos que possuem a finalidade de apresentar tendências e fornecer uma resposta eficiente para ações executadas, tendo um potencial em auxiliar no processo decisório e na gestão participativa uma vez que permitem a compreensão da realidade através do monitoramento e do gerenciamento dos recursos naturais no tempo e no espaço (VIEIRA; STUDART, 2009).

#### 4 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Guamá está situada entre os paralelos 2°40'S e 0°40'S e meridianos 48°45'W e 46°45'W e inserida na Região Hidrográfica Costa Atlântica - Nordeste, segundo a resolução nº 04/2008 do Conselho de Recursos Hídricos do Estado do Pará, mostrando-se como área de grande circulação econômica sendo composta pela região metropolitana de Belém e outros municípios com desenvolvimento voltado a indústria, mineração, comércio e agropecuária.

O rio Guamá nasce na serra dos Coroados na parte sul do município de Capitão Poço, paralelo 2°46'00"S, a uma altura de 100 metros, seguindo na direção sul-norte até o município de Ourém, situado na margem direita deste, e para oeste, continua por onde cruza com o rio Capim, um dos seus principais afluentes, até desaguar na Baía do Guajará onde é navegável em determinados trechos (PRATA et al., 2010; SILVA, 2014b).

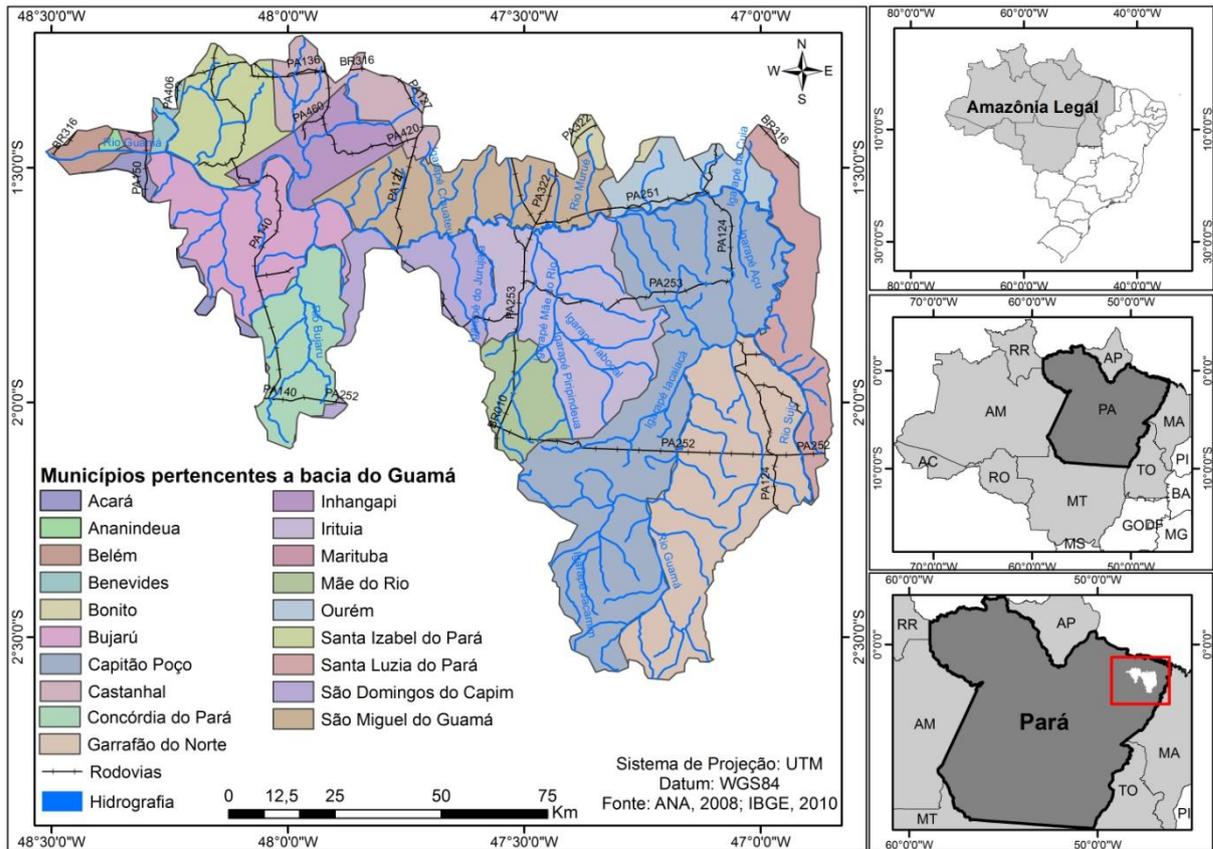
A delimitação da área de estudo se deu a partir de uma reconfiguração dos limites da Sub-Região Hidrográfica do Guamá (SBRH Guamá), considerada unidade hidrográfica de planejamento - UPLAN (PARÁ, 2012), sendo que foram selecionadas as áreas de influência direta dos principais afluentes do rio Guamá. Cabe destacar que, apesar do rio Capim ser um importante tributário do rio Guamá, o mesmo não foi inserido na área de estudo por também representar uma bacia independente, o que aumentaria a complexidade da análise.

A área de estudo possui aproximadamente 12.000 km<sup>2</sup> onde estão inseridos 19 municípios com uma população total aproximada de 2.700.000 habitantes (BRASIL, 2010) (Tabela 01), tendo como principais vias de acesso as BR-316, BR-010 e PA-140 (Figura 01).

Tabela 01 - Municípios pertencentes à bacia hidrográfica do Guamá.

Municípios	População IBGE (2010)	Área ocupada na Bacia do Guamá (%)	Municípios	População IBGE (2010)	Área ocupada na Bacia do Guamá (%)
Capitão Poço	51.893	22,84	São Domingos do Capim	29.846	3,80
Garrafão do Norte	25.034	12,99	Ourém	16.311	3,41
Irituia	31.364	11,06	Mãe do Rio	27.904	3,33
São Miguel do Guamá	51.567	7,90	Belém	1.393.399	0,95
Bujarú	25.695	7,89	Acará	53.569	0,79
Santa Luzia do Pará	19.424	5,56	Bonito	13.630	0,65
Concórdia do Pará	28.216	5,35	Benevides	51.651	0,50
Santa Izabel do Pará	59.466	4,77	Marituba	108.246	0,28
Inhangapi	10.037	3,90	Ananindeua	471.980	0,15
Castanhal	173.149	3,88			

Figura 01 - Localização da área de estudo.

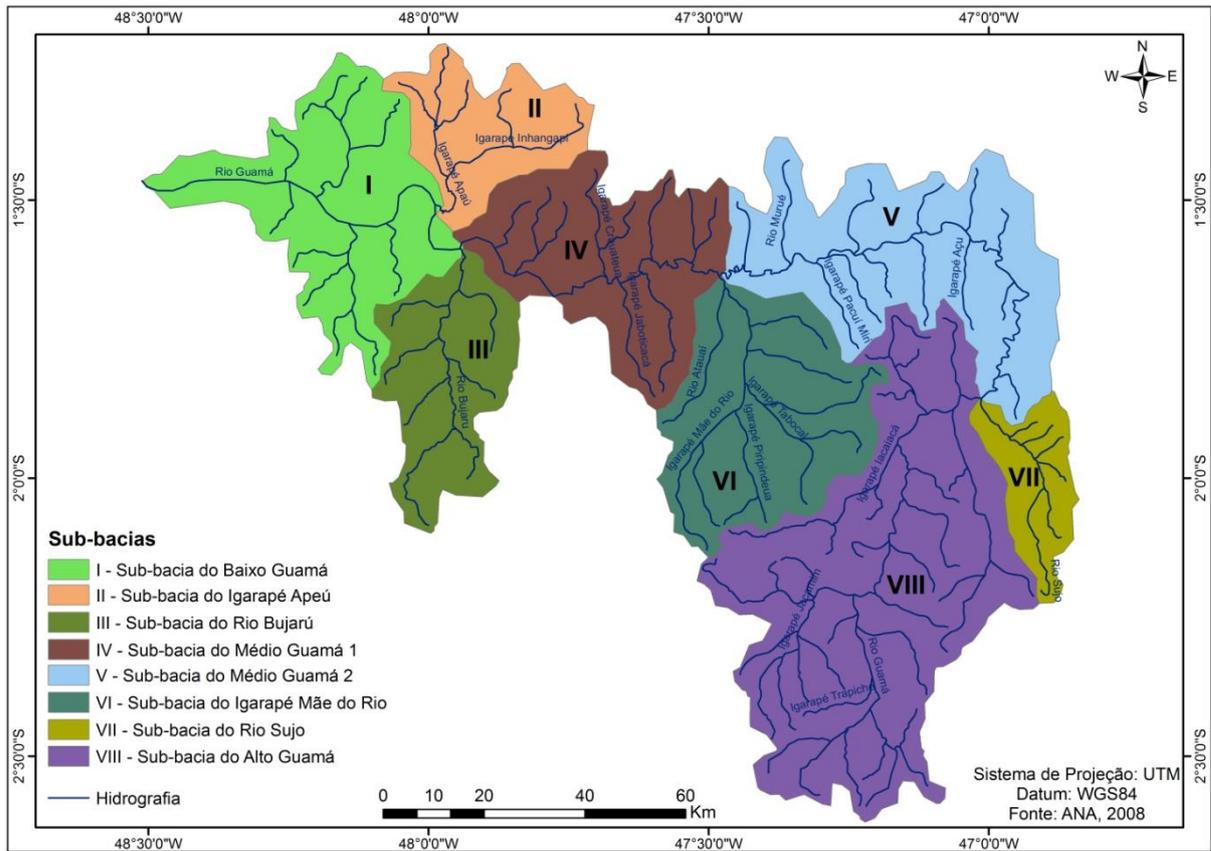


Para uma melhor análise, a bacia do rio Guamá foi dividida em oito sub-bacias: Baixo Guamá (163.960,76 ha), Igarapé Apeú (74.737,99 ha), Rio Bujarú (99.019,23 ha), Médio Guamá 1 (142.137,30 ha), Médio Guamá 2 (191.134,49 ha), Igarapé Mãe do Rio (155.244,52 ha), Rio Sujo (46.012,53 ha) e Alto Guamá (331.639,30 ha) (Tabela 02 e Figura 02). Estas foram delimitadas de acordo com o sistema fluvial considerando o rio principal e seus afluentes.

Tabela 02 - Sub-bacias do rio Guamá e seus respectivos municípios.

<b>Sub-bacias</b>	<b>Municípios Pertencentes</b>	<b>Área dos Municípios por Sub-bacia (%)</b>
Sub-bacia do Baixo Guamá	Bujarú	41,62
	Santa Izabel do Pará	32,90
	Belém	6,95
	Inhangapi	6,47
	Acará	5,25
	Benevides	3,67
	Marituba	2,06
	Ananindeua	1,08
Sub-bacia do Igarapé Apeú	Castanhal	56,16
	Inhangapi	39,23
	Santa Izabel do Pará	4,61
Sub-bacia do Rio Bujarú	Concórdia do Pará	65,05
	Bujarú	23,22
	São Domingos do Capim	10,74
	Acará	0,99
Sub-bacia do Médio Guamá 1	São Miguel do Guamá	52,19
	São Domingos do Capim	24,66
	Irituia	12,21
	Inhangapi	4,92
	Castanhal	3,31
	Bujarú	2,70
Sub-bacia do Médio Guamá 2	Mãe do Rio	0,01
	Capitão Poço	36,83
	Santa Luzia do Pará	21,88
	Ourém	21,45
	São Miguel do Guamá	10,95
	Irituia	4,81
	Bonito	4,08
Sub-bacia do Igarapé Mãe do Rio	Irituia	67,97
	Mãe do Rio	25,83
	Capitão Poço	6,17
	São Domingos do Capim	0,03
Sub-bacia do Rio Sujo	Santa Luzia do Pará	54,61
	Garrafão do Norte	45,37
	Capitão Poço	0,02
Sub-bacia do Alto Guamá	Capitão Poço	58,80
	Garrafão do Norte	40,87
	Irituia	0,33

Figura 02 - Bacia do rio Guamá: divisão em sub-bacias.



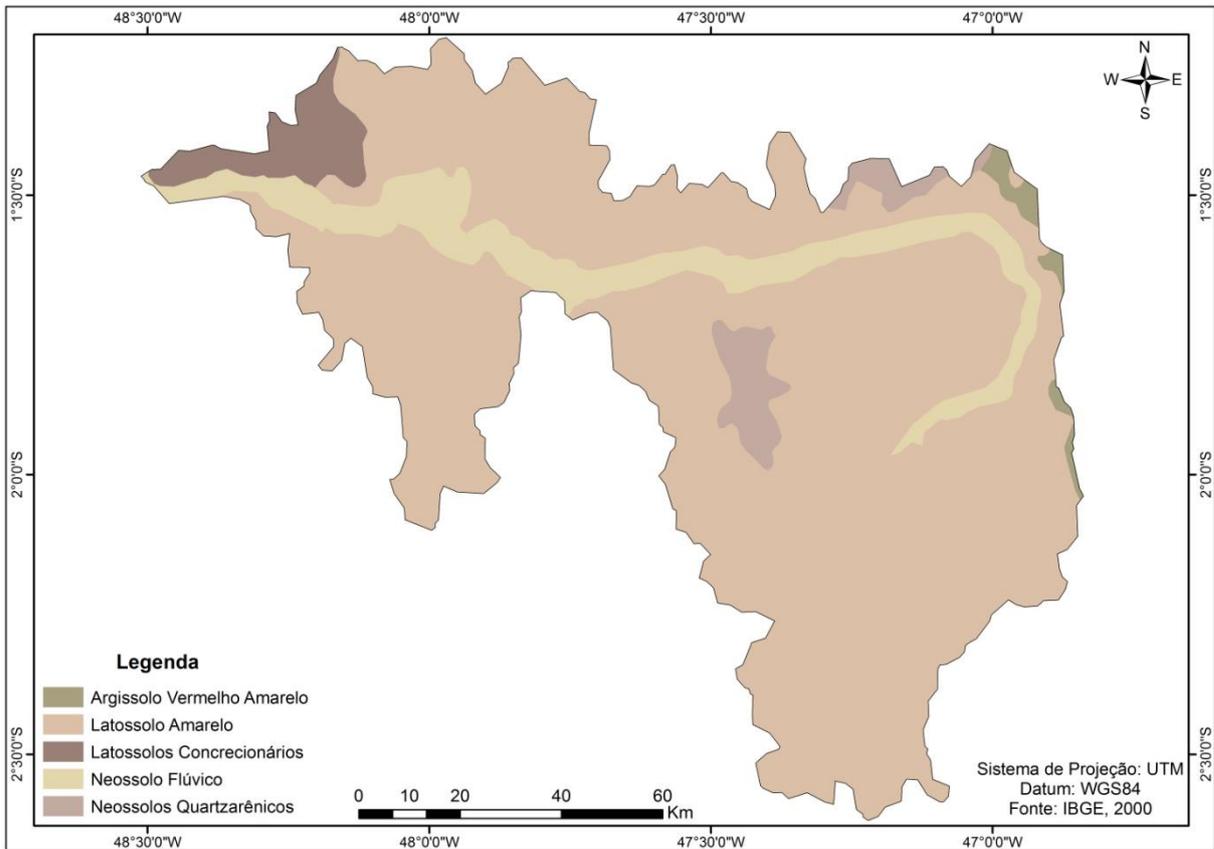
#### 4.1 Clima

A região em que está localizada a bacia do rio Guamá apresenta o tipo climático predominante o Af segundo a classificação de Köppen, com temperaturas anuais superiores a 18°C (PRATA et al., 2010). Esta classificação climática se traduz em um clima tropical equatorial quente e úmido, com média de 26°C de temperatura, dividido em duas estações: uma menos chuvosa, que ocorre entre os meses de junho a novembro, e outra mais chuvosa, entre os meses de dezembro a maio onde os índices de precipitação anual chegam a ser superiores a 2.000 mm (LOPES; SOUSA; FERREIRA, 2013).

#### 4.2 Solos

Os solos da área da bacia hidrográfica do rio Guamá são representados em sua maioria por solos do tipo Latossolo Amarelo, Latossolo Concrecionário, Neossolo Flúvico, Neossolos Quartzarênicos e Argissolo Vermelho Amarelo (Figura 03).

Figura 03 - Classificação dos solos da bacia do rio Guamá.



O Latossolo Amarelo, o Latossolo Concrecionário e o Neossolo Quartzarênicos, caracterizam-se por serem solos profundos, com moderada taxa de infiltração, por apresentarem gradiente textural entre 1,20 e 1,50, além de moderada resistência e tolerância à erosão. O Argissolo Vermelho Amarelo possui taxas de infiltração muito baixas oferecendo pouca resistência e tolerância à erosão, obtendo pouca profundidade associada à mudança textural abrupta. E os Neossolos Flúvicos são solos profundos ou pouco profundos, com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão, apresentam gradiente textural maior que 1,50 e comumente apresentam mudança textural abrupta (CALZAVARA; FERNANDEZ, 2015).

## 5 MATERIAIS E MÉTODO

### 5.1 Materiais

Para a delimitação da área de estudo foram utilizados arquivos vetoriais de limites municipais e limite da bacia hidrográfica do Guamá em formato *shapefile* fornecidos pela Agência Nacional de Águas – ANA e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

Os materiais utilizados para a elaboração deste trabalho consistiram em imagens ortorretificadas de satélite do sistema *RapidEye* (Tabela 03) de alta resolução em formato *geotiff*, utilizando como sistema geodésico de referência o *World Geodetic System 1984 - WGS84* e projeção cartográfica em *Universal Transverse Mercator - UTM*, em um total de 43 cenas, datadas de 29/06/2011, 28/07/2011, 04/08/2011, 23/10/2011, 31/07/2012, 02/08/2012, 13/09/2012, 24/10/2012, 01/08/2013, 04/09/2013, 17/08/2014 e 25/11/2014, as quais contém 5 bandas espectrais. Estas foram obtidas por meio do Geo Catálogo do Ministério do Meio Ambiente - MMA. As cenas selecionadas apresentaram datas distintas devido às mesmas mostrarem melhores condições relacionadas ao menor índice de nebulosidade, no intuito de favorecer a análise e classificação dos alvos, ou seja, a escala temporal, neste caso, apresentou significância menor que a obtenção de um maior número de alvos imageados, possibilitando assim, uma classificação de uso e cobertura do solo de modo regular.

Tabela 03 - Especificações gerais dos satélites do sistema *RapidEye*.

Número de satélites	5
Órbita	Heliossíncrona com 630 km de altitude
Tamanho da imagem	Aproximadamente 77 km de largura com comprimento entre 50 e 300 km
Bandas espectrais	Blue, green, red, red-edge, infravermelho próximo
Tipo de sensor	Imageador multiespectral pushbroom
Espaçamento de pixel	6,5 m no nadir
Tamanho do pixel (ortorretificada)	5,0 m
Bits de quantização	12 bits

Fonte: Adaptado de RapidEye (2015).

Para o tratamento e processamento digital das imagens foi utilizado o *software Environment for Visualizing Images (ENVI) 4.5*. A quantificação da estrutura da paisagem, definição do padrão e a função de sua cobertura florestal foram realizadas através da utilização do *software Fragstats Spatial Pattern Analysis 4.2*; para a análise da estrutura da

paisagem e confecção dos mapas o *software ArcGis 10.1*; e coleta de pontos amostrais *in loco* utilizou-se o *Global Positioning System (GPS)*.

A série de dados referentes à precipitação teve como base de informações a Agência Nacional de Águas e, as relacionadas aos municípios que integram a área de estudo, foram adquiridas através dos sites das prefeituras, do programa municípios verdes, do Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS) e do IBGE. E dados referentes aos tipos de solos da região foram obtidos a partir do mapa de pedologia do estado do Pará pelo IBGE no ano de 2008.

## 5.2 Método

### 5.2.1 Análise das imagens e definição das variáveis de uso e cobertura do solo

A interpretação das imagens para a identificação dos alvos foi realizada levando em consideração algumas feições básicas como textura, cor, forma, tamanho e localização, possibilitando assim a identificação de padrões espaciais. Como a maioria das 43 cenas apresentou heterogeneidade entre esses diferentes aspectos, devido as diferentes datas de aquisição, as mesmas foram classificadas uma a uma adotando a composição colorida por meio das bandas 3R, 2G e 1B utilizando o *software ENVI*.

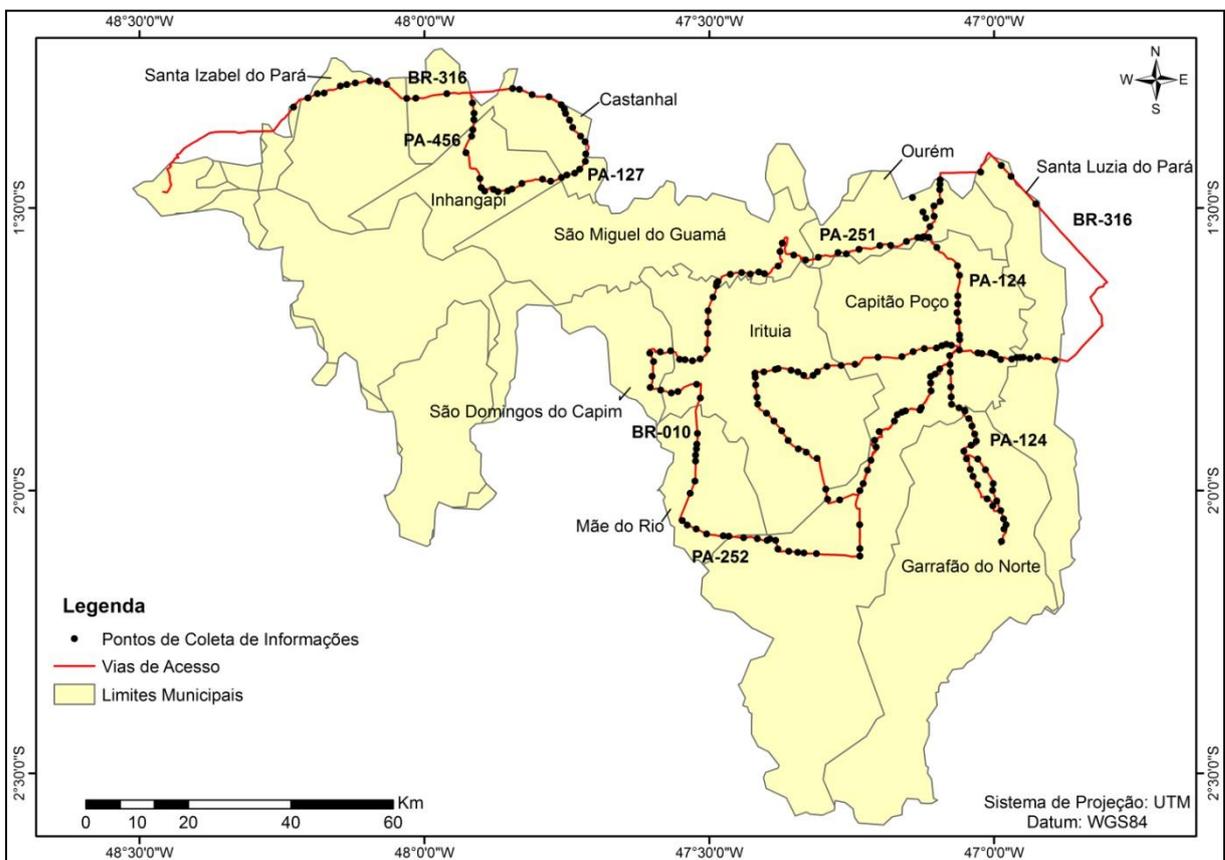
Foi utilizada a técnica de classificação supervisionada e multiespectral, baseada no método de Máxima Verossimilhança (MaxVer), realizada pixel a pixel, por meio do *software ENVI*, método também utilizado na pesquisa de Lima e Rocha (2011), Lucas (2011), Leite e Rosa (2012) e Pereira et al. (2013). Este algoritmo utiliza informações espectrais isoladas de cada pixel para identificar as áreas com as mesmas características e considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes através de parâmetros estatísticos.

A seleção das classes de uso e cobertura da terra foi adaptada segundo sistema de classificação do Manual de Uso da Terra do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (BRASIL, 2013). Estas definidas como: área vegetada, agricultura, áreas de ocupação, solo descoberto, pastagem e massa d'água. Além dessas classes, também foram obtidas as categorias referentes às “áreas não observadas”, representadas por nuvens e as sombras destas, e “outros”, caracterizadas por áreas que apresentam elementos que não se enquadram nas características de classificação, como por exemplo, bancos e faixas de areia,

afloramentos rochosos dentre outros, sendo assim, estas duas últimas classes não serão consideradas na análise de uso e ocupação, mas apenas na representação espacial.

Por se tratar de um método supervisionado, foi necessário um conhecimento *in loco* dos aspectos presentes na área de estudo. A partir disto, foram realizadas três visitas ao campo, onde foram visitados 236 pontos distribuídos em 11 municípios (Capitão Poço, Castanhal, Garrafão do Norte, Inhangapi, Irituia, Mãe do Rio, Ourém, Santa Isabel, Santa Luzia, São Domingos do Capim e São Miguel do Guamá) (Figura 04).

Figura 04 - Pontos de coleta de dados para dar suporte à classificação supervisionada.



Como a extensão da área é significativamente ampla, a coleta de dados se deu por meio das principais vias de acesso, onde foram percorridos 745 km. Este reconhecimento *in loco* foi de fundamental importância possibilitando correlacionar às feições espectrais das imagens de satélite com os padrões de cobertura vegetal e uso do solo observados em campo (Tabela 04).

Tabela 04 - Classes de cobertura vegetal e uso e ocupação analisadas na área de estudo.

Classes	Fotografia	Composição colorida 3R, 2G, 1B
<p>- Área Vegetada:</p> <p>vegetação secundária em diferentes estágios de sucessão, áreas de reflorestamento e vegetação nativa.</p>		
<p>- Agricultura:</p> <p>culturas permanentes e temporárias para subsistência e comercialização.</p>		
<p>- Áreas de Ocupação:</p> <p>áreas urbanas, vilas e áreas comerciais e industriais.</p>		
<p>- Solo Descoberto:</p> <p>estradas, vias, rodovias de asfalto, cascalho e de chão e áreas de extração mineral.</p>		
<p>- Pastagem:</p> <p>pecuária intensiva e extensiva, com criação de animais ou abandonados, dominadas por espécies forrageiras.</p>		
<p>- Massa D'água:</p> <p>rios, lagos, córregos e igarapés.</p>		

Além da realização da classificação de maneira automática, foi necessária uma etapa de pós-classificação com o intuito de identificar os possíveis erros ocorridos e corrigi-los. A correção é feita por meio da observação das classes adquiridas no processamento automático, e comparação simultânea com a imagem de alta resolução *RapidEye*, cena a cena. Depois de identificados, os polígonos em que ocorreu alguma confusão foram selecionados e recodificados.

Em seguida a classificação das imagens, realizou-se uma análise de precisão com o propósito de apresentar a qualidade das amostras, quantificando e avaliando a classificação, visando obter o maior índice *Kappa* (Tabela 05), onde se obteve de 0,93 a 0,95 para todas as imagens.

Tabela 05 - Índice *Kappa*.

Valor de <i>Kappa</i>	Qualidade da classificação
< 0,0	Péssima
0,0 – 0,20	Ruim
0,21 – 0,40	Razoável
0,41 – 0,60	Boa
0,61 – 0,80	Muito boa
0,81 – 1,0	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

### 5.2.2 Cálculo de métricas de paisagem

Os aspectos dos fragmentos de vegetação e da paisagem pertencente a bacia do Rio Guamá foram analisados por sub-bacia através do *software Fragstats 4.2* e teve como base o mapa de uso e cobertura em formato raster (*Geotiff*), que através de índices e a partir das métricas, possibilitaram quantificar a estrutura da paisagem em níveis de fragmentos, de classes de uso e cobertura do solo e de paisagem.

Com base nestes fatores, foram determinados alguns índices contidos nas métricas de área, de fragmentos, de forma, de área central e de vizinho mais próximo, consideradas relevantes para a análise, cujas equações e detalhamentos encontram-se no Anexo A:

#### a) Índices de Classe

##### **Índices de densidade, tamanho e variabilidade métrica:**

- Número de fragmentos: quantifica o número de fragmentos que compõem cada classe;

- Densidade de fragmentos: apresenta o número de fragmentos por unidade de área, que neste caso foi 100 ha;
- Tamanho médio dos fragmentos: é calculado com base na área total da classe e de seu respectivo número de fragmentos;
- Desvio padrão do tamanho médio de fragmentos: é uma medida de variação absoluta e apresenta o quanto os valores observados variam em relação à sua média;
- Coeficiente de variação do tamanho médio de fragmentos: é uma medida de variação relativa, a qual quantifica a variação dos dados em função da média.

### **Índices de forma:**

- Índice de forma média: expressa a forma média dos fragmentos da classe avaliada, em função da razão média perímetro/área de seus fragmentos, comparada a uma forma padrão;
- Índice de forma média ponderado pela área: é calculado de modo semelhante ao índice de forma média, no entanto a média é ponderada de acordo com a área dos fragmentos;
- Dimensão fractal média: Mede a complexidade da forma dos fragmentos que compõem a classe analisada. Varia de 1 (para manchas com formas mais simples e regulares) a 2 (para manchas com formas mais complexas).

### **Índices de área nuclear:**

- Número de fragmentos com área nuclear: expressa o número de fragmentos que possuem área nuclear, após a retirada do efeito de borda para cada classe;
- Área central total: apresenta a soma de todas as áreas nucleares obtidas;
- Índice de área nuclear total: quantifica a porcentagem da classe ocupada com área nuclear, após a retirada da faixa referente ao efeito de borda. Nesta foi considerada uma faixa com largura de 100 metros (efeito de borda).

### **Índices de proximidade:**

- Índice de proximidade média: quantifica a distância média entre fragmentos, de diferentes classes, tendo por base um raio previamente determinado, que nesse caso foi de 100 m;
- Distância média entre fragmentos: quantifica a distância média entre fragmentos de mesma classe;

- Desvio padrão para a distância média entre fragmentos: demonstra a variação dos valores observados em relação ao valor obtido para a média de distância entre fragmentos de mesmo tipo;
- Coeficiente de variação para a distância média entre fragmentos: quantifica a variação dos dados em função da média.

#### b) Índice de Fragmentos

##### **Índice de área:**

- Área do fragmento: fornece a área de cada fragmento.

### 5.2.3 Aplicações do modelo hidrológico curva número - CN

Devido existir uma maior quantidade de informações disponíveis referentes a dados de precipitação em relação à vazão, para esta pesquisa foi adotado o método de Curva Número – CN o qual teve apresentação em 1947 pelo *Soil Conservation Service* (SCS), atualmente conhecido por Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS) dos Estados Unidos.

Este método é utilizado para estimar o escoamento superficial da água a partir de valores de precipitação (GITIK; RANJAN, 2014), além de apresentar informações das relações entre chuva, condições da superfície do solo e volume de escoamento superficial. Sendo assim, o valor de CN é uma função do uso e cobertura do solo e de suas condições hidrológicas.

Primeiramente, foi necessário determinar os valores do parâmetro curva número para a área estudo (valores de CN), pois a precipitação em uma bacia hidrográfica também é influenciada pelo uso e cobertura do solo (LATHA; RAJENDRAM; MURUGAPPAN, 2012).

Os valores de CN foram obtidos a partir de características referentes ao solo por meio do mapa de pedologia e do seu uso e ocupação, e podem variar entre 0 e 100 no intuito de avaliar as condições das sub-bacias em função do seu uso e ocupação, sendo que, quanto mais próximo de 100, também será maior o escoamento superficial.

Primeiramente houve um enquadramento dos solos na área das sub-bacias, e a partir disto, foram identificados os respectivos grupos hidrológicos que são designados pelo método. De acordo com o Curva Número, os grupos hidrológicos podem ser classificados como A, B, C ou D segundo as características de textura, profundidade e capacidade de drenagem do solo (Quadro 01).

Quadro 01 - Classificação hidrológica de solos para as condições brasileiras.

<b>Grupo Hidrológico A</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solos muito profundos (profundidade &gt; 200 cm) ou profundos (100 a 200 cm);</li> <li>- Solos com alta taxa de infiltração e com alto grau de resistência e tolerância à erosão;</li> <li>- Solos porosos com baixo gradiente textural (&lt; 1,20);</li> <li>- Solos de textura média;</li> <li>- Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo perfil;</li> <li>- Solos bem drenados ou excessivamente drenados;</li> <li>- Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1;</li> <li>- A textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: média/média, argilosa/argilosa e muito argilosa/muito argilosa.</li> </ul> <p>Enquadram-se neste grupo: Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho Amarelo, Latossolo Vermelho, ambos com textura argilosa ou muito argilosa e com alta macroporosidade. Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho Amarelo, ambos com textura média, mas com horizonte superficial não arenoso.</p>
<b>Grupo Hidrológico B</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solos profundos (100 a 200 cm);</li> <li>- Solos com moderada taxa de infiltração, mas com moderada resistência e tolerância à erosão;</li> <li>- Solos porosos com gradiente textural variando entre 1,20 e 1,50;</li> <li>- Solos com textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione boa macroporosidade em todo perfil;</li> <li>- Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1;</li> <li>- A textura dos horizontes superficial ou subsuperficial pode ser: arenosa/arenosa, arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa e argilosa/muito argilosa.</li> </ul> <p>Enquadram-se neste grupo: Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho Amarelo, ambos de textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa; Latossolo Bruno; Nitossolo Vermelho; Neossolo Quartizarênico; Argissolo Vermelho ou Vermelho Amarelo de textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.</p>
<b>Grupo Hidrológico C</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solos profundos (100 a 200 cm) ou pouco profundos (50 a 100 cm);</li> <li>- Solos com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão;</li> <li>- São solos com gradiente textural maior que 1,50 e comumente apresentam mudança textural abrupta;</li> <li>- Solos associados à argila de atividade baixa (Tb);</li> <li>- A textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: arenosa/média e média/argilosa apresentando mudança textural abrupta, arenosa/argilosa e arenosa/muito argilosa.</li> </ul> <p>Enquadram-se neste grupo: Argissolo pouco profundo, mas não apresentando mudança textural abrupta ou Argissolo Vermelho, Argissolo Vermelho Amarelo e Argissolo Amarelo, ambos profundos e apresentando mudança textural abrupta; Cambissolo de textura média e Cambissolo Húmico, mas com características físicas semelhantes aos Latossolos (latossólico); Espodossolo Ferrocárbico; Neossolo Flúvico.</p>
<b>Grupo Hidrológico D</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solos rasos (profundidade &lt; 50 cm);</li> <li>- Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância à erosão;</li> <li>- Solos pouco profundos, associados à mudança textural abrupta ou solos profundos apresentando mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade (Ta), minerais de argila 2:1;</li> <li>- Solos argilosos associados à argila de atividade alta (Ta);</li> <li>- Solos orgânicos.</li> </ul> <p>Enquadram-se neste grupo: Neossolo Litólico; Organossolo; Gleissolo; Chernossolo; Planossolo; Vertissolo; Alissolo; Luvisso; Plitossolo; Solos de Mangue; Afloramentos de Rocha; demais Cambissolos que não se enquadram no grupo C; Cambissolo; Argissolo Vermelho Amarelo e Argissolo Amarelo, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.</p>

Fonte: Calzavara e Fernandez (2015).

Após realizar o ajuste das classes de solos aos seus grupos hidrológicos, foram determinados os valores de CN para as sub-bacias, com base nas condições normais de umidade do solo. Nesta etapa a classificação se dá de acordo com os diferentes usos e cobertura do solo em relação a cada de grupo hidrológico (Tabela 06).

Tabela 06 - Valores de CN em relação à cobertura e grupo hidrológico de solo para condições normais de umidade.

Descrição da Cobertura			CN para o Grupo Hidrológico do Solo			
Tipo de Cobertura	Tratamento	Condição Hidrológica	A	B	C	D
Sem Cultivo	Solo Descoberto	---	77	86	91	94
	Cobertura de Resíduos de Culturas	Pobre	76	85	90	93
		Boa	74	83	88	90
Culturas em Fileiras	Linha Reta	Pobre	72	81	88	91
		Boa	67	78	85	89
	Em Curvas de Nível	Pobre	70	79	84	88
		Boa	65	75	82	86
Pequenos Grãos	Linha Reta	Pobre	65	76	84	88
		Boa	63	75	83	87
	Em Curvas de Nível	Pobre	63	74	82	85
		Boa	61	73	81	84
Pasto		Pobre	68	79	86	89
		Razoável	49	69	79	84
		Boa	39	61	74	80
Campos Permanentes		Boa	30	58	71	78
Florestas		Pobre	45	66	77	83
		Razoável	36	60	73	79
		Boa	30	55	70	77
Ruas e Estradas	Chão	---	72	82	87	89
	Cascalho	---	76	85	89	91
	Pavimentadas	---	98	98	98	98
Distritos Urbanos	Comercial e de Negócios	85% de área Impermeável	89	92	94	95
	Industrial	72% de área Impermeável	81	88	91	93
Uso Residencial	Até 1 ha	38% de área Impermeável	61	75	83	87
	2 ha	25% de área Impermeável	54	70	80	85
	4 ha	20% de área Impermeável	51	68	79	84
	8 ha	12% de área Impermeável	46	65	77	82

Fonte: Adaptado de USDA (2012).

A aplicação do método Curva Número, como observado na Tabela 06, leva em conta os tipos de ocupação do solo. Sendo assim, foi realizada a obtenção dos valores de CN considerando o valor médio e ponderado de cada tipo de uso e ocupação das sub-bacias, ou seja, cada classe possuirá um resultado (Equação 1).

$$CN = \frac{\sum CN_i A_i}{A_t} \quad (1)$$

Onde:

$CN_i$  = valor do CN obtido por meio da Tabela 06.

$A_i$  = área de cada tipo de uso do solo (ha).

$A_t$  = área total da sub-bacia (ha).

Após a definição do valor de CN, foi necessário determinar a capacidade máxima de retenção (S) para cada sub-bacia, que indica a abstração inicial da precipitação pelo solo e vegetação. Este foi representado de acordo com os valores de CN para cada tipo de uso e cobertura do solo, obtendo assim, um valor de S pra cada classe. O valor de S depende do tipo de solo e da ocupação do solo, portanto é calculado em função do curva número (Equação 2).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

Onde:

S = capacidade máxima de retenção (mm).

CN = CN médio para cada classe.

É importante que o valor da capacidade máxima de retenção seja calculado para cada tipo de uso e cobertura do solo, pois cada uma destas classes possui comportamentos distintos quanto a esta variável.

O modelo curva número utiliza dados de chuva para calcular valores estimados de escoamento superficial, já que os acréscimos na vazão dos rios, em uma bacia hidrográfica, são causados pelo aumento da precipitação (MELLEK, 2015).

Para a obtenção dos dados de precipitação, foram selecionadas 11 estações pluviométricas, localizadas em áreas de influência das sub-bacias (Tabela 07). As

informações foram adquiridas no *software Hidro 1.2*, referentes à precipitação média mensal e anual incidente nas sub-bacia de cada estação.

Tabela 07 - Localização das estações pluviométricas.

Nome da Estação	Código	Série de Dados	Longitude	Latitude
Belém	00148002	1985 – 2015	48° 26' 16,08" W	1° 26' 6,00" S
Cafezal	00247005	1985 – 2015	46° 48' 9,00" W	2° 46' 18,12" S
Fazenda São Raimundo	00247004	1983 – 2010	47° 30' 51,12" W	2° 25' 41,88" S
Acará	00148009	1985 – 2015	48° 12' 23,04" W	1° 57' 39,96" S
São Domingos do Capim	00147008	1985 – 2011	47° 46' 12,00" W	1° 40' 39,00" S
Colônia Santo Antonio	00147011	1985 – 2015	47° 29' 47,04" W	1° 40' 1,92" S
Ourém	00147016	1988 – 2015	47° 7' 1,92" W	1° 33' 6,12" S
Bujarú	00148017	1995 – 2015	48° 2' 46,00" W	1° 31' 16,00" S
Castanhal	00147007	1985 – 2015	47° 56' 21,84" W	1° 17' 51,00" S
Santa Izabel do Pará	00148003	1985 – 2015	48° 10' 14,88" W	1° 17' 47,04" S
Santa Luzia do Pará	00146011	1995 – 2015	46° 54' 22,00" W	1° 30' 58,00" S

Apesar das estações selecionadas apresentarem uma sazonalidade bem definida entre período chuvoso e menos chuvoso, optou-se por fazer uma análise da média anual devido à obtenção de valores únicos de precipitação de cada estação, diminuindo assim a complexidade para a análise das demais temáticas do estudo como um todo. Porém, compreende-se a importância da análise sazonal das mesmas devido a distinção do comportamento dos processos como infiltração e escoamento nos diferentes períodos.

Nesta pesquisa, para obtenção dos valores de precipitação foi utilizado o método do Polígono de Thiessen, que atribuiu um fator de ponderação aos totais precipitados em cada pluviômetro à área de influência de cada um (PRUSKI et al., 2004), neste caso foram utilizados os valores referentes a média anual de precipitação das estações selecionadas.

As áreas de influência são geradas para as sub-bacias por meio das estações, unindo-se os pontos adjacentes por linhas retas e, em seguida, traçando-se as mediatrizes (linhas medianas perpendiculares) dessas retas, formando polígonos, sendo que os lados destes são os limites das áreas de influência de cada estação (GOMIG; LINDER; KOBAYAMA, 2007). Em outras palavras, é a divisão da bacia hidrográfica em vários polígonos, cada um em torno de uma estação de medição.

Este método foi aplicado no *software ArcGis 10.1*, por meio da ferramenta *Create Thiessen Poligons*, e é aplicado de acordo com equação 3 que representa a média ponderada. A partir da aplicação deste método, foi possível adquirir um valor de precipitação média para cada sub-bacia.

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i P_i}{A} \quad (3)$$

Onde:

$\bar{P}$  = precipitação média na sub-bacia (mm).

$A_i$  = área do respectivo polígono dentro da sub-bacia (ha).

$P_i$  = precipitação no posto  $i$  (mm).

$A$  = área total da sub-bacia (ha).

A partir da obtenção dos valores médios de precipitação para cada sub-bacia, os mesmos foram utilizados no cálculo de escoamento de cada classe de uso e cobertura do solo, como determinado pelo método curva número, ou seja, cada classe possuirá um valor referente ao escoamento superficial.

O método considera que estas perdas iniciais ( $I_a$ ) correspondem a 20% da capacidade de retenção ( $S$ ) da relação entre cobertura e uso com os tipos de solo das sub-bacias, ou seja,  $I_a = 0,2S$ . Sendo assim, a precipitação incidente ( $P$ ) precisa ser superior à quantidade de chuva retida pela perda inicial ( $I_a$ ), ou seja, quando  $I_a \leq P$  aplica-se a equação 4. Por outro lado, quando esta condição não ocorrer, ou seja,  $I_a > P$ , o valor de escoamento superficial não acontece ( $Q = 0$ ) (MELLEK, 2015).

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

Onde:

$Q$  = escoamento superficial para cada classe de uso e cobertura (mm).

$P$  = precipitação média para cada sub-bacia (mm).

$S$  = capacidade máxima de retenção (mm).

$I_a$  = perdas iniciais (mm).

Após a obtenção dos resultados referentes ao escoamento de cada classe de uso e cobertura, foi realizada uma média dos mesmos para que fosse estimado o valor de escoamento total para cada sub-bacia (Equação 5).

$$\bar{Q} = \frac{\sum Q_i}{n} \quad (5)$$

Onde:

$\bar{Q}$  = escoamento médio na sub-bacia (mm).

$Q_i$  = escoamento de cada classe de uso (mm).

$n$  = número de classes de uso e cobertura na sub-bacia.

#### 5.2.4 Parâmetros sociais

Nesta etapa foram analisadas informações referentes às questões sociais dos municípios que compõem as sub-bacias levando em consideração aspectos institucionais, políticos e socioeconômicos vinculados à população, os quais afetam diretamente a gestão dos recursos hídricos.

Para a análise dos parâmetros sociais, foram utilizados os dados mais atuais a respeito das fontes de informações. Foram analisados o índice de desenvolvimento humano por município (IDHM) e o índice de Gini municipal de acordo com o IBGE para o ano de 2010 como referência, além do índice de consumo de água e índice de atendimento total no abastecimento de água por município segundo o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS) para o ano de 2014.

O IDHM leva em consideração três dimensões, a longevidade (expectativa de vida), educação (escolaridade da população adulta e fluxo escolar da população jovem) e renda *per capita*, sendo adequado para avaliar o desenvolvimento dos municípios. Seu valor varia de 0 a 1, quanto mais próximo de 1, maior é o desenvolvimento humano do município (BRASIL, 2014).

Para o índice de Gini é mensurado o grau de concentração de renda da população de cada município, também varia de 0 a 1, onde 0 representa a situação de igualdade (todos os indivíduos possuem a mesma renda) e 1 o oposto (quando apenas um indivíduo possui toda a renda) (MANCUSO, 2015).

O SNIS é uma base de coleta dados sobre a prestação de serviços de água, esgoto e resíduos sólidos declarados pelos municípios. Para esta pesquisa foram adotados os índices que variam de 0 a 1. O primeiro, o índice de consumo de água, leva em consideração o total de água distribuído e quanto deste foi consumido, ou seja, 0 representa que toda a água foi perdida na distribuição e 1 que toda a água distribuída foi consumida. Já o índice de

atendimento total no abastecimento de água por município, mede o total da população beneficiada com o abastecimento de água, sendo assim, o 0 representa que nenhum indivíduo teve o abastecimento de água e 1 que toda a população foi beneficiada com o abastecimento.

Após a obtenção de cada variável, foi realizada uma média aritmética para a obtenção de um indicador social para cada município, que se deu por meio da equação 6. Este indicador colaborou para a comparação dos municípios e análise dos mesmos.

$$S = \frac{\sum S_i}{n} \quad (6)$$

Onde:

S = indicador social por município.

$S_i$  = variáveis analisadas.

n = número de variáveis.

Em seguida, foi utilizada a média ponderada para que os indicadores sociais de cada município fossem espacializados nas suas respectivas sub-bacias, ou seja, levou-se em consideração a área de cada município dentro das sub-bacias (Equação 7). Com isso, obteve-se um indicador social para cada sub-bacia, o qual será utilizado para a determinação do ISH.

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n A_i S_i}{A} \quad (7)$$

Onde:

S = indicador social na sub-bacia.

$A_i$  = área do município dentro da sub-bacia (ha).

$S_i$  = indicador social no município.

A = área total da sub-bacia (ha).

### 5.2.5 Parâmetros de gestão

Levando em consideração os parâmetros de gestão, foram selecionadas 13 variáveis a respeito dos municípios, as mesmas foram coletadas no banco de dados do IBGE, do SNIS, do Programa Municípios Verdes e dos sites das Prefeituras Municipais. Para cada uma destas

foi atribuído um peso de 0 a 1, para que as condições de gestão dos municípios pudessem ser analisadas e comparadas, onde 0 significa condições ruins e 1 condições boas (Tabela 08).

Tabela 08 - Parâmetros para a avaliação da gestão dos municípios.

<b>Variáveis</b>	<b>Ano da Informação</b>	<b>Classificação</b>	<b>Peso</b>
Legislação Ambiental	2015	Existente	1
		Inexistente	0
Secretaria do Meio Ambiente	2015	Individual	1
		Associada	0,5
		Ausente	0
Conselho Municipal de Meio Ambiente	2015	Existente	1
		Inexistente	0
Participação no Programa Municípios Verdes	2015	Sim	1
		Não	0
Realiza Licenciamento Ambiental	2015	Alto Impacto	1
		Baixo Impacto	0,5
		Não	0
Grau de Cobertura pelo Cadastro Ambiental Rural (CAR)	2015	$\leq 10\%$	0
		$10\% < G \leq 20\%$	0,25
		$20\% < G \leq 30\%$	0,5
		$30\% < G \leq 50\%$	0,75
		$> 50\%$	1
Acesso às Informações Sobre Gestão Ambiental via Internet	2015	Sim	1
		Não	0
Realiza Ações de Educação Ambiental no Município	2015	Sim	1
		Não	0
Possui Plano Diretor Municipal	2016	Sim	1
		Não	0
Possui Plano de Saneamento Básico	2014	Sim	1
		Não	0
Possui Política de Saneamento	2014	Sim	1
		Não	0
Possui Habilitação para a Gestão Ambiental	2015	Sim	1
		Não	0
Possui Fundo Municipal de Meio Ambiente	2015	Sim	1
		Não	0

Após o enquadramento das características de cada município, foi realizada uma média aritmética, assim como para o parâmetro social, para a obtenção de um indicador de gestão por município, contribuindo na análise dos municípios onde se observou as condições de gestão e possibilitou compará-los entre si. Em relação à distribuição deste indicador nas sub-bacias, foi levada em consideração a área de cada município dentro da sua respectiva sub-bacia, ou seja, também foi adotada a média ponderada no intuito de obter um indicador de gestão para cada sub-bacia, o qual será utilizado na aplicação do índice de sustentabilidade hídrica – ISH.

### 5.2.6 Índice de sustentabilidade hídrica – ISH

O cálculo do índice de sustentabilidade hídrica - ISH para a bacia hidrográfica do rio Guamá foi uma adaptação da metodologia aplicada por Chaves e Alipaz (2007), a qual leva em consideração aspectos hidrológicos (H), ambientais (A), sociais (S) e de gestão (G), já que a sustentabilidade de uma bacia é um processo dinâmico. Para a aplicação do índice em bacias como a do Guamá, com uma extensão superior a 10.000 km<sup>2</sup>, é sugerido que a mesma seja subdividida em sub-bacias e tenha o valor calculado de forma ponderada.

Com isto, esta pesquisa apresenta uma abordagem onde são analisadas as condições em que se encontram cada uma das 8 sub-bacias e a partir disto, possibilita a proposição de medidas no intuito de reduzir implicações negativas e/ou auxiliar na manutenção de aspectos considerados positivos.

Para a realização o cálculo do ISH, foram selecionados alguns indicadores os quais se enquadram nos aspectos hidrológicos (H), ambientais (A), sociais (S) e de gestão (G), cada um deles foi dividido em cinco pontuações de escala (0; 0,25; 0,50; 0,75 e 1) a fim de facilitar a estimativa, sendo que 0 representa condições ruins e 1 para as melhores condições (Tabela 09).

Tabela 09 - Variáveis para a aplicação do ISH.

Indicador	Parâmetros de estado		Nível	Peso
	Chaves; Alipaz (2007)	Definidos nesta proposta	Definidos nesta proposta	
Hidrológico	Disponibilidade hídrica <i>per capita</i> anual (m <sup>3</sup> /ano <i>per capita</i> )	Potencial de escoamento a partir do modelo Curva Número - CN	≤ 0,1	0,00
			0,1 < H ≤ 0,25	0,25
			0,25 < H ≤ 0,50	0,50
			0,50 < H ≤ 0,75	0,75
			> 0,75	1,00
Ambiental	% da bacia com cobertura natural de vegetação	% área total da bacia e a área ocupada por cobertura florestal	≤ 5%	0,00
			5% < A ≤ 15%	0,25
			15% < A ≤ 30%	0,50
			30% < A ≤ 45%	0,75
			A > 45%	1,00
Sociais	Baseado no IDH	Baseado no IDHM, Índice de Gini e de saneamento segundo o SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento.	≤ 0,5	0,00
			0,5 < S ≤ 0,6	0,25
			0,6 < S ≤ 0,75	0,50
			0,75 < S ≤ 0,9	0,75
			> 0,9	1,00
Gestão	Capacidade institucional da bacia	Capacidade institucional da bacia: nível de organização do sistema de gestão ambiental	≤ 10%	0,00
			10% < G ≤ 20%	0,25
			20% < G ≤ 30%	0,50
			30% < G ≤ 50%	0,75
			> 50%	1,00

Considerando a variável hidrológica (H) obtida a partir do potencial de escoamento, por meio da média anual de escoamento; ambiental (A) resultante da análise da paisagem onde foram observados os diferentes tipos de uso e cobertura do solo (relação entre a área total das sub-bacias e a área ocupada por cobertura florestal); social (S) relativa à média ponderada do IDHM, o índice de Gini e variáveis de ligadas ao consumo e distribuição de água de todos os municípios que compõem as sub-bacias; e de gestão (G) admitindo à média ponderada referente as características que influenciam na capacidade de gestão ambiental dos municípios que integram as mesmas, o índice de sustentabilidade hídrica corresponde à somatória das variáveis segundo cada parâmetro considerado em razão do total de variáveis adotadas (Equação 8).

$$IHS = \frac{\sum_{i=1}^n (H_i + A_i + S_i + G_i)}{n} \quad (8)$$

Onde:

ISH = índice de sustentabilidade hídrica.

$H_i$  = variável hidrológica.

$A_i$  = variável ambiental.

$S_i$  = variável social.

$G_i$  = variável de gestão

n = número de variáveis analisadas.

Como pode ser visto a partir equação 8, todos os indicadores possuem o mesmo peso, já que nenhuma das variáveis é considerada mais importante do que outra, e sim complementares para que haja a sustentabilidade da bacia.

Após a obtenção dos resultados, os mesmos foram classificados para cada sub-bacia de acordo com a Tabela 10.

Tabela 10 - Classificação dos valores do ISH.

ISH (0,00 – 1,00)	Desempenho
< 0,20	Ruim / insustentável
0,21 a 0,40	Pobre / potencialmente insustentável
0,41 a 0,60	Médio / intermediário
0,61 – 0,80	Bom / potencialmente sustentável
≥ 0,81	Muito bom / sustentável

Fonte: Adaptado de Carvalho et al., (2011).

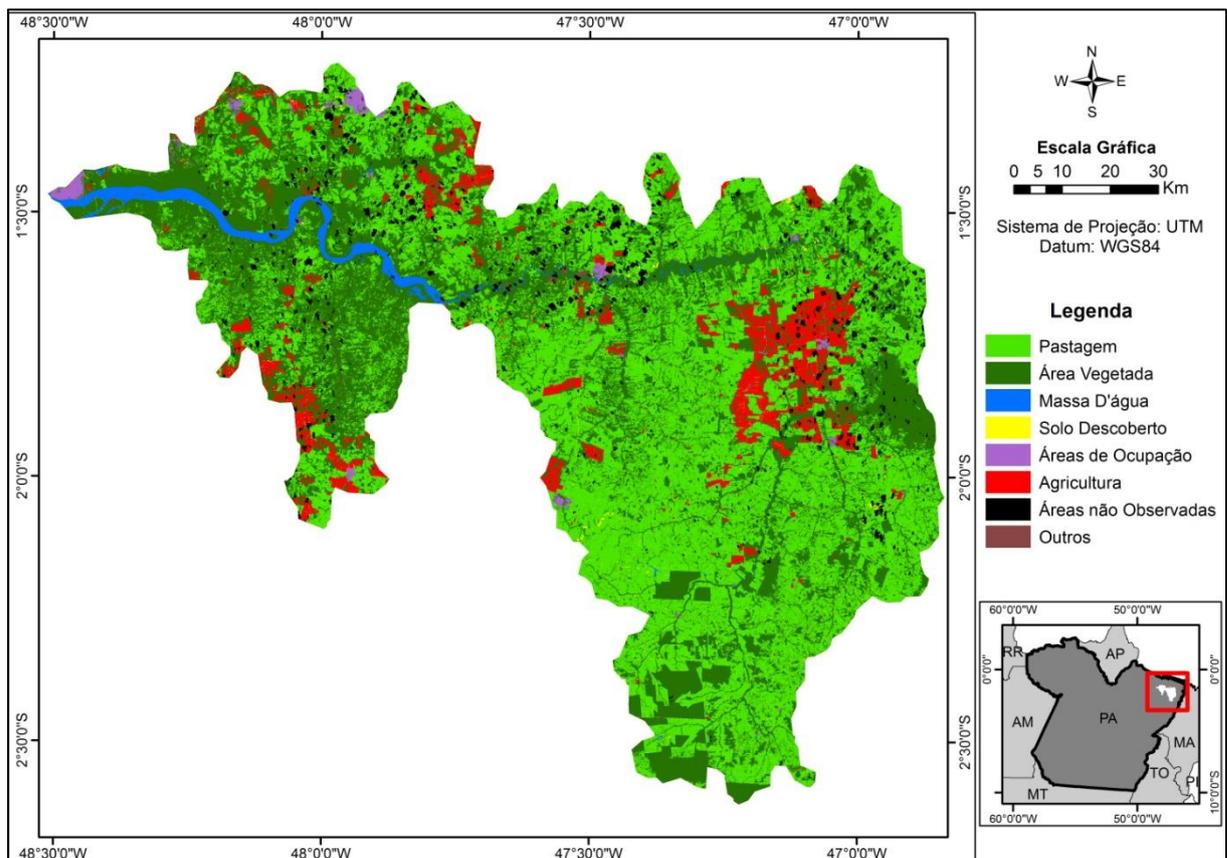
Com a análise dos resultados do índice de sustentabilidade para cada sub-bacia, será aplicada uma média ponderada em relação à área, para a obtenção do ISH para toda a bacia hidrográfica do rio Guamá.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Caracterização do uso e cobertura do solo da bacia do rio Guamá

Na caracterização do uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Guamá, foram identificadas seis feições, sendo estas: área vegetada, agricultura, pastagem, massa d'água, solo descoberto e áreas de ocupação. Com este resultado, foi elaborado um mapa temático da cobertura vegetal e uso do solo para auxiliar na análise da disposição dos componentes e estrutura da paisagem (Figura 05).

Figura 05 - Mapa de cobertura e uso do solo da bacia do rio Guamá.



A partir da análise da Figura 05 pode-se observar que a bacia do rio Guamá apresenta pastagem como elemento matriz da paisagem correspondendo a 49,78% da área total, sendo que a predominância desta favorece a diminuição de áreas vegetadas a qual representa 37,43% deste mesmo total (Tabela 11). Em seu estudo, Watrin, Gerhard e Maciel (2009) aponta que as pastagens em sua categoria extensiva e intensiva representam um padrão dominante do uso da terra para a região do nordeste paraense.

Tabela 11 - Uso e cobertura do solo na bacia do rio Guamá.

<b>Classes</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Área de Cobertura Vegetal	450.637,93	37,43
Agricultura	73.010,16	6,06
Pastagem	599.274,76	49,78
Solo Descoberto	8.703,60	0,72
Áreas de Ocupação	10.729,42	0,90
Massa D'água	24.053,11	2,00
Outros	2.052,15	0,17
Áreas não Observadas	35.424,99	2,94
<b>Total</b>	<b>1.203.886,12</b>	<b>100,00</b>

Para todo o território da Amazônia Legal, é estimado que por volta de 80% das áreas desflorestadas e sobre posse dos grandes proprietários de terras, são ocupadas por pastagens e vegetação secundária resultante de pastagens, sendo que as funções das bacias hidrográficas são prejudicadas quando há a conversão floresta em outros tipos de uso (FEARNSIDE, 2001).

As áreas vegetadas são representadas principalmente por vegetação nativa e secundária as quais estão presentes em áreas de reserva legal (80% da área do imóvel rural deve preservar a vegetação) e áreas de preservação permanente (têm a função de preservar locais frágeis como margens de rios, topos de morros e encostas) de acordo com a Lei 12.651/2012, como observado por Barroso, Figueiredo e Pires (2015). Esta condição se dá principalmente por um intenso período em que a região passa por exploração vegetal e abertura de áreas para as atividades agropecuárias.

A agricultura aparece com 6,06% de ocupação, que traduz a presença da agricultura de pequeno e médio porte como base predominante desta. Segundo o Censo agropecuário do IBGE de 2006, destacam-se o plantio de laranja (*citrus sinensis*), mandioca (*Manihot esculenta L.*), dendê (*Elaeis guineenses Jacq.*) e pimenta do reino (*Piper nigrum L.*), informações que foram comprovadas por meios das visitas em campo (Figura 06).

A classe massa d'água cobre 2% da área de estudo, isto se dá principalmente pela grande extensão que possui o rio Guamá (cerca de 160 km de Belém a São Miguel) o que o

torna bem representativo no mapa de cobertura e uso do solo, além de outros rios, córregos, igarapés e lagos.

Figura 06 - Tipos de cultivo identificados na bacia do rio Guamá: (a) cultivo de mandioca no município de Inhangapi; (b) plantação de laranja no município de Capitão Poço; (c) produção de dendê no município de Garrafão do Norte.



As áreas de ocupação estão presentes em 0,90% do total e são representadas principalmente pelas sedes municipais e núcleos urbanos, além de vilas e comunidades que se localizam nas zonas rurais dos municípios pertencentes à bacia do Guamá.

A categoria de solo descoberto está representada como 0,72% e corresponde a vias de acesso tanto de asfalto, cascalho e de chão, devido apresentarem respostas espectrais semelhantes, além de áreas de extração mineral licenciadas e ilegais, caracterizando extensões com significativa exposição do solo.

## 6.1.1 Uso e cobertura do solo nas sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Guamá

### 6.1.1.1 Sub-bacia do Baixo Guamá

A sub-bacia do baixo Guamá (Figura 07) possui 163.960,76 ha, correspondendo a 13,62% da área total da bacia do rio Guamá. Dentre esta extensão, apresenta 57,87% de área vegetada, e caracteriza-se como a sub-bacia com maior porção de vegetação levando em consideração o seu limite total. Apesar de a classe pastagem ser a segunda maior área representada, com 23,25%, em relação às outras sub-bacias, esta é a que possui a menor porcentagem, em relação a sua área total (Tabela 12).

Figura 07 - Uso e cobertura do solo da sub-bacia do baixo Guamá.

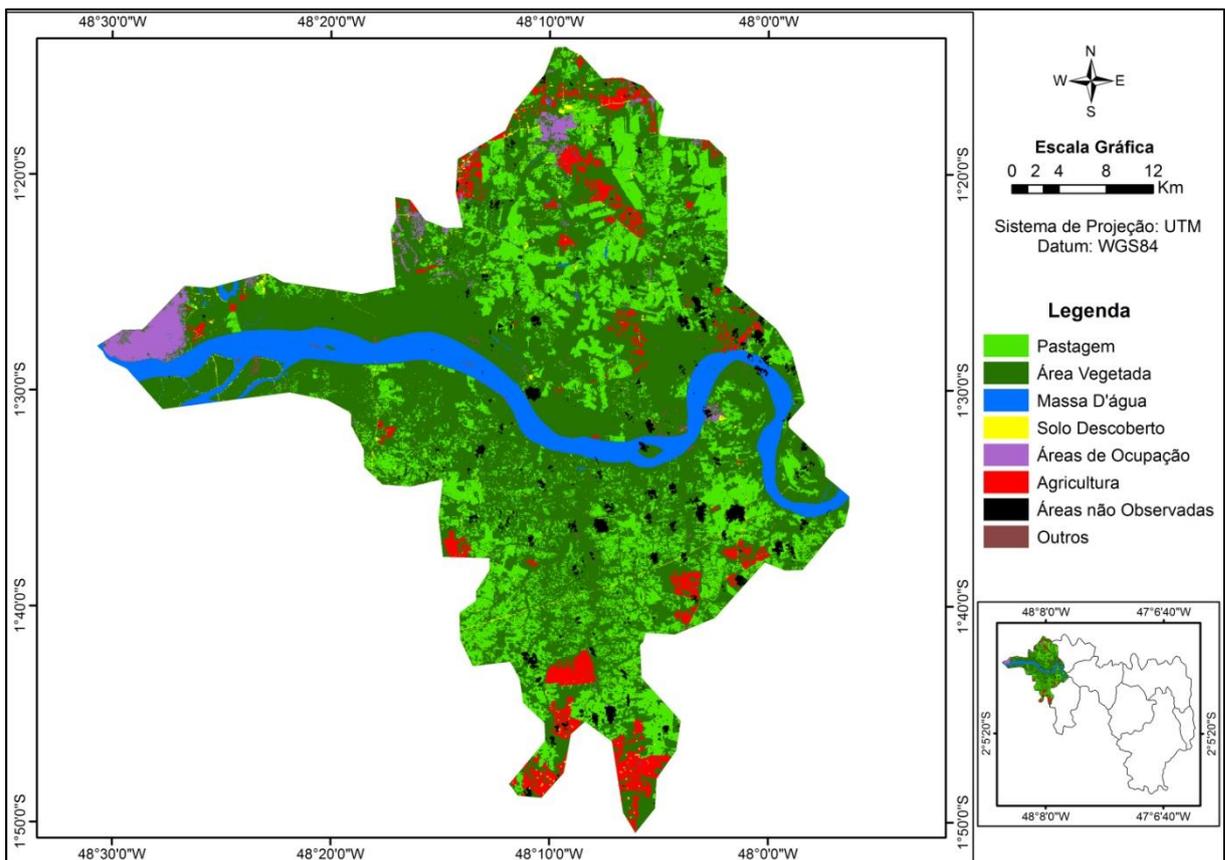


Tabela 12 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do baixo Guamá.

<b>Classes</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Área Vegetada	94.885,30	57,87
Agricultura	7.471,78	4,56
Pastagem	38.121,28	23,25
Solo Descoberto	1.287,22	0,78
Áreas de Ocupação	3.551,84	2,17
Massa D'água	14.926,79	9,10
Outros	346,94	0,21
Áreas Não Observadas	3.369,61	2,06
<b>Total</b>	<b>163.960,76</b>	<b>100,00</b>

Por esta conter a extensão onde a largura do rio Guamá é maior, mostra-se com 14.926,79 ha de massa d'água e caracteriza-se como a mais significativa em relação a esta classe, entre as demais sub-bacias. Concentra 33,10% das áreas de ocupação de toda a bacia do rio Guamá, sendo a mais representativa neste quesito, este fato está ligado a presença de 5 municípios da região metropolitana neste espaço, consistindo na região mais populosa da área de estudo.

Com relação à agricultura, esta apresenta a segunda menor expressividade entre as sub-bacias estudadas, possuindo 4,56% da sua área. Esta classe está voltada para agricultura tradicional e sistema de subsistência.

Dentre a classe de solo descoberto, a sub-bacia do baixo Guamá se mantém na média das outras sub-bacias, as quais apresentaram representatividade abaixo de 1%.

#### 6.1.1.2 Sub-bacia do igarapé Apeú

A sub-bacia do igarapé Apeú (Figura 08), tem como matriz, levando em consideração o uso e cobertura do solo, a pastagem que é representada por 43,62% de sua área, evidenciando a uma região fortemente voltada para a pecuária. Trabalhos como os de Pereira et al. (2013) e Santos (2014) que fazem análises na bacia do igarapé Apeú, também apontam para esta característica (Tabela 13).

Figura 08 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do igarapé Apeú.

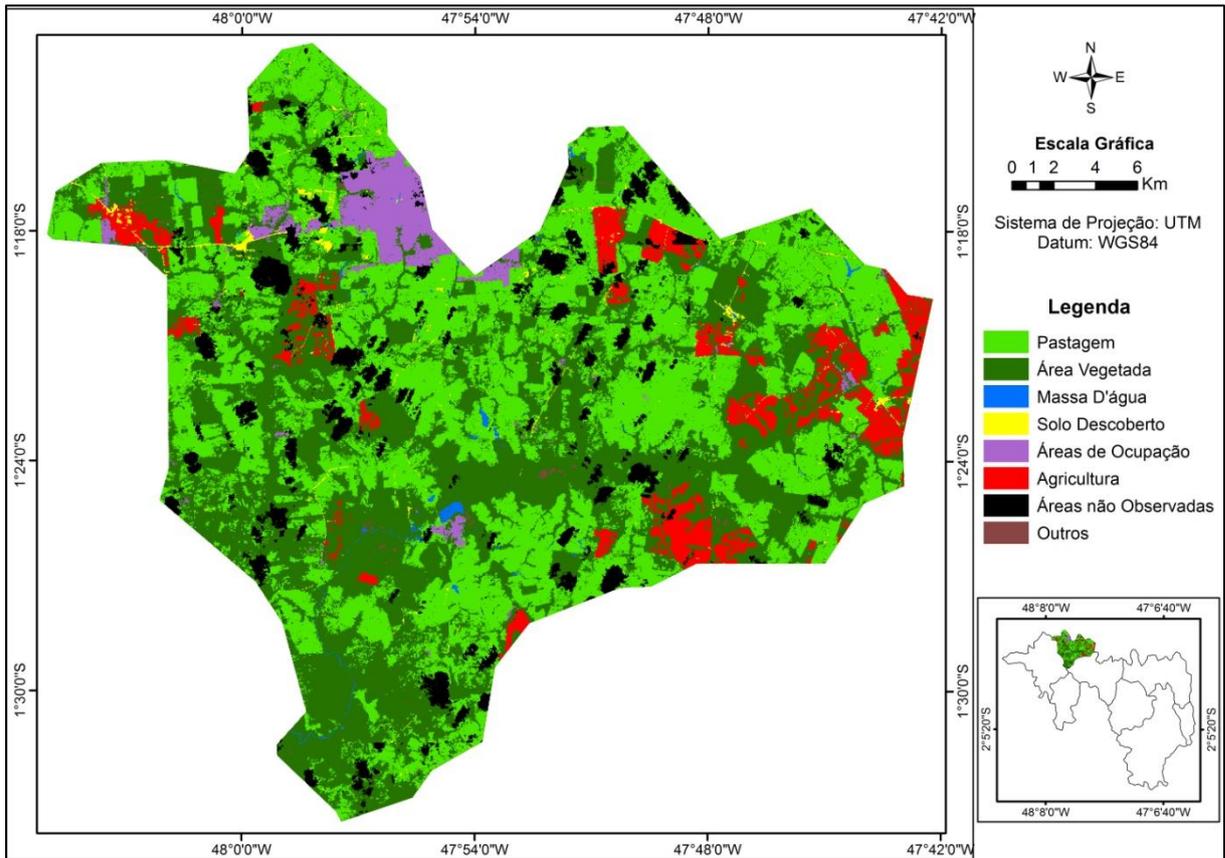


Tabela 13 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do igarapé Apeú.

<b>Classes</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Área Vegetada	29.318,04	39,23
Agricultura	4.510,68	6,03
Pastagem	32.601,57	43,62
Solo Descoberto	647,03	0,87
Áreas de Ocupação	2.383,10	3,19
Massa D'água	305,42	0,41
Outros	104,04	0,14
Áreas Não Observadas	4.868,11	6,51
<b>Total</b>	<b>74.737,99</b>	<b>100,00</b>

As áreas vegetadas foram determinadas como a segunda maior classe contendo 39,23% da área e 6,51% de todas as áreas vegetadas da bacia do Guamá. Souza et al., (2011) afirmaram que existe uma grande pressão antrópica em relação a cobertura vegetal na área de influência do igarapé Apeú, associando este fato a expansão da pecuária que é considerada como uma das atividades socioeconômicas mais representativas da região.

A agricultura na sub-bacia apresenta 6,03% de sua área, e com relação à bacia do rio Guamá, apresenta a segunda menor área que equivale a 4.510,68 ha. Essa característica se dá devido a diminuição da presença da agricultura familiar que é desenvolvida por meio de culturas de ciclo curto para a subsistência, a qual vem perdendo áreas devido a inserção de grandes fazendas e empresas agropecuárias (SANTOS, 2006).

A classe representada pelos solos descobertos apresenta 0,87% da área da sub-bacia do Igarapé Apeú e, em comparação as outras sub-bacias, é a que apresenta maior porcentagem em relação a sua área total. Apesar deste fato, a mesma representa 14,79% de toda a área desta categoria com relação à bacia do rio Guamá, sendo classificada como a segunda menor área desta. Esta é composta pelas vias de acesso e áreas de exploração de pedras e piçarra, como apontado por Santos (2006).

Com relação às áreas de ocupação, estas apresentaram 3,19% da área da sub-bacia, comparando com as demais sub-bacias, esta é a mais representativa levando em consideração a sua delimitação, isto se dá principalmente por a sede municipal de Castanhal ser inserida quase na sua totalidade na mesma. Já a classe ligada à massa d'água contém um valor considerado inexpressivo por apresentar somente 0,41% da área total desta sub-bacia.

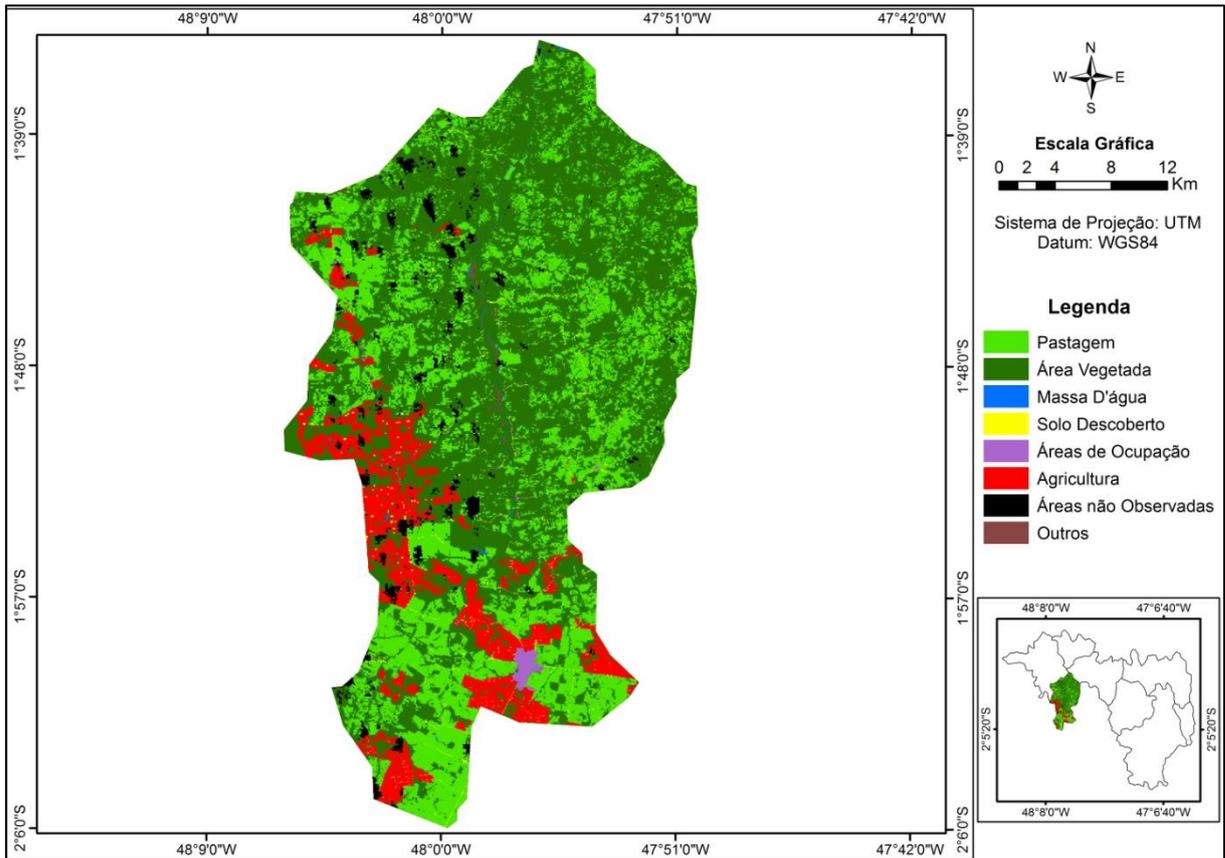
#### 6.1.1.3 Sub-bacia do rio Bujarú

A predominância de área vegetada também é uma característica da sub-bacia do rio Bujarú (Tabela 14 e Figura 09), compondo 55,51% de toda a área da mesma. Em comparação as demais sub-bacias, esta se classifica como a segunda que apresenta maior concentração desta classe.

Tabela 14 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do rio Bujarú.

<b>Classes</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Área Vegetada	54.964,38	55,51
Agricultura	9.607,55	9,70
Pastagem	30.131,77	30,43
Solo Descoberto	723,69	0,73
Áreas de Ocupação	630,30	0,64
Massa D'água	163,81	0,17
Outros	156,21	0,16
Áreas Não Observadas	2.641,52	2,66
<b>Total</b>	<b>99.019,23</b>	<b>100,00</b>

Figura 09 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do rio Bujarú.



Com relação à pastagem, representa 30,43% da extensão total da sub-bacia, sendo considerada a segunda menor área desta classe para toda a bacia do Guamá, possuindo apenas 5,03% e uma área de 30.131,77 ha de representatividade.

A agricultura também leva destaque por apresentar 9,70% de cobertura, sendo a sub-bacia com maior porcentagem desta classe dentre as outras. Existem alguns tipos de cultivos voltados para a agricultura familiar na região, porém o ramo que vem ganhando destaque nos últimos anos é a produção de óleo de palma, fato relacionado aos investimentos realizados pelo governo brasileiro para a expansão desta cultura no ano de 2010 (SILVA, 2016).

As áreas de ocupação, caracterizadas principalmente pela sede municipal do município de Concórdia do Pará, apresentaram 0,64% de representatividade, e, juntamente com as demais classes, solo descoberto 0,73% e massa d'água 0,17% obtiveram resultados abaixo de 1%, tendo pouca notabilidade na sub-bacia.

#### 6.1.1.4 Sub-bacia do médio Guamá 1

Na sub-bacia do médio Guamá 1, o uso do solo predominante é a pastagem com 46,29% do total desta, representado por uma área de 65.790,25 ha, 10,98% desta classe em toda a bacia do rio Guamá. Seguido das áreas vegetadas que constitui 37,76% da área da sub-bacia e 11,91% desta categoria na bacia do Guamá com área equivalente a 53.676,70 ha (Figura 10, Tabela 15).

Figura 10 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do médio Guamá 1.

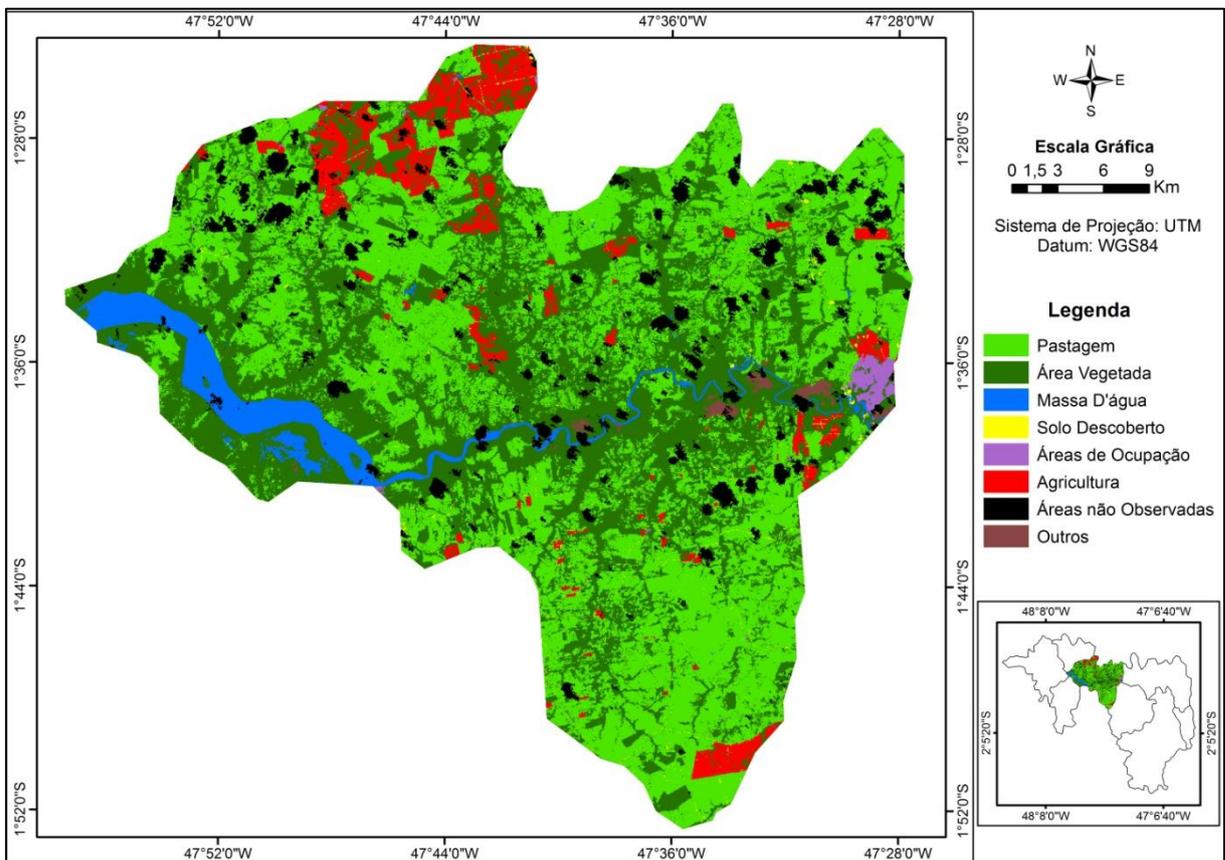


Tabela 15 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do médio Guamá 1.

Classes	Área (ha)	Porcentagem (%)
Área Vegetada	53.676,70	37,76
Agricultura	7.326,20	5,15
Pastagem	65.790,25	46,29
Solo Descoberto	713,04	0,50
Áreas de Ocupação	932,37	0,66
Massa D'água	5.679,57	4,00
Outros	614,94	0,43
Áreas Não Observadas	7.404,23	5,21
<b>Total</b>	<b>142.137,30</b>	<b>100,00</b>

Nessa sub-bacia tem-se ainda a presença de agricultura que representa 5,15%, com uma área de 7.326,20 ha, caracterizada pela agricultura familiar e produção de óleo de palma, assim como a sub-bacia do rio Bujarú.

A classe massa d'água apresenta 4% da cobertura sendo a segunda maior representatividade por sub-bacia, com uma área de 5.679,57 ha e 23,61% de toda a extensão desta classe na bacia do rio Guamá. Este foi identificado na visita a campo (Figura 11).

Figura 11 - Trecho do rio Guamá localizado na divisa entre os municípios de Irituia e São Miguel do Guamá.



A área de ocupação com 0,66%, onde a maioria desta é representada pela sede municipal do município de São Miguel do Guamá e solo descoberto com 0,50% possuem menor representatividade.

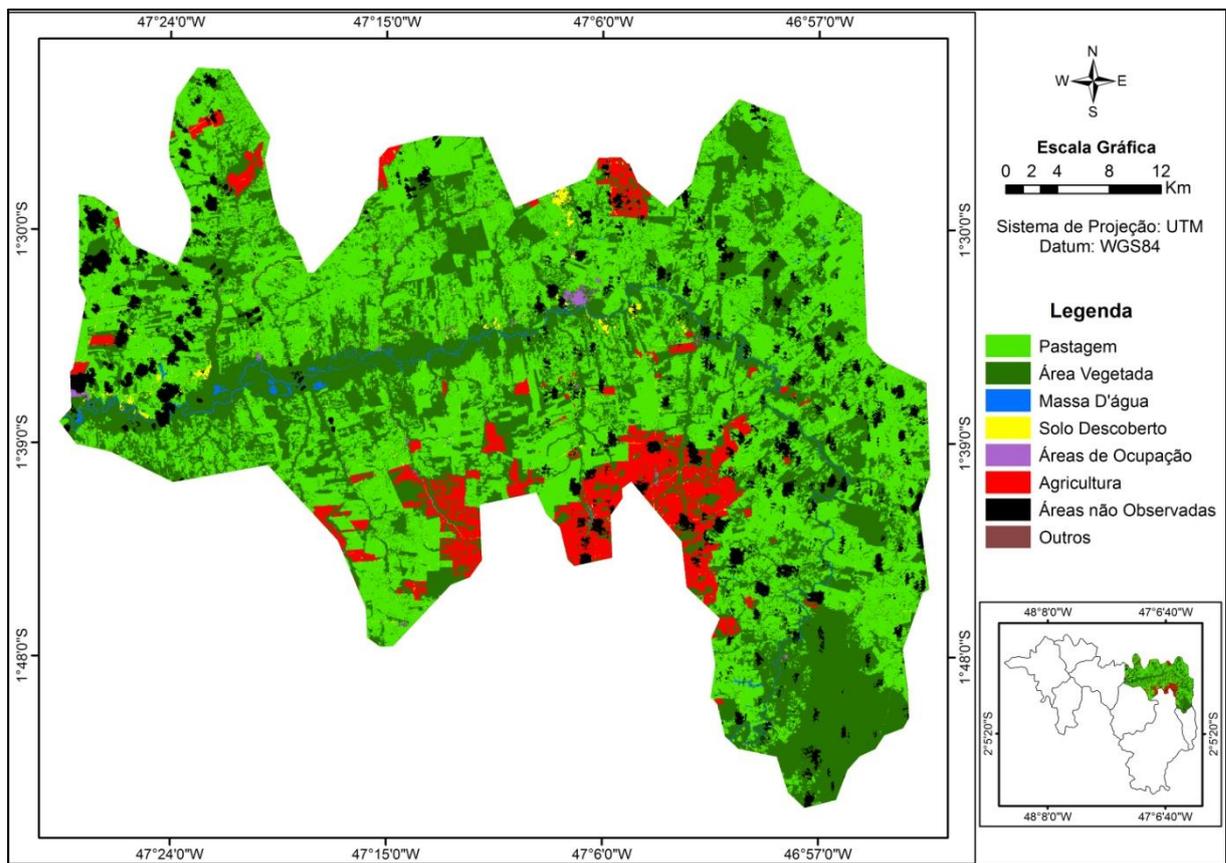
#### 6.1.1.5 Sub-bacia do médio Guamá 2

A sub-bacia do médio Guamá 2 (Tabela 16, Figura 12) é classificada como a segunda maior dentre as oito estudadas, com extensão de 191.134,49 ha. Nesta o uso predominante é a pastagem cobrindo 51,19%, referente a 97.848,97 ha, representando 16,33% desta classe em toda a bacia do rio Guamá. Nesta, a classe área vegetada também é caracterizada como tendo a segunda maior representatividade em seu limite, com 35,02% de cobertura.

Tabela 16 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do médio Guamá 2.

Classes	Área (ha)	Porcentagem (%)
Área Vegetada	66.943,62	35,02
Agricultura	12.168,01	6,37
Pastagem	97.848,97	51,19
Solo Descoberto	1.352,47	0,71
Áreas de Ocupação	563,83	0,30
Massa D'água	1.361,14	0,71
Outros	484,29	0,25
Áreas Não Observadas	10.412,16	5,45
<b>Total</b>	<b>191.134,49</b>	<b>100,00</b>

Figura 12 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do médio Guamá 2.



A agricultura nessa região representa 6,37% do uso do solo, sendo marcada especialmente pela produção de pimenta do reino, mandioca e laranja, fato observado em campo, tendo os municípios de Ourém e Capitão Poço como os maiores contribuintes para este caso. Com isso, esta sub-bacia caracteriza-se como a que abrange a segunda maior área plantada em toda a bacia do Guamá (12.168,01 ha), correspondendo a 16,67% do total desta classe.

Esta sub-bacia apresenta a segunda maior área de solo descoberto em comparação às demais (1.352,47 ha) representando 15,54% desta classe em toda a bacia do rio Guamá. Este fato foi comprovado a partir da identificação de algumas áreas de exploração mineral (Figura 13), principalmente nos municípios de Capitão Poço, São Miguel e Ourém, além das vias e rodovias.

Figura 13 - Áreas de exploração mineral no município de Ourém.



As áreas de ocupação são representadas por 0,30% da área, notada principalmente pela localização da sede municipal de Ourém. Já a classe de massa d'água, que cobre 0,71%, foi identificada principalmente por trechos do rio Guamá (Figura 14).

Figura 14 – Trechos do rio Guamá: (a) divisa entre os municípios de Ourém e Capitão Poço; (b) divisa entre os municípios de Santa Luzia e Capitão Poço.



#### 6.1.1.6 Sub-bacia do igarapé Mãe do Rio

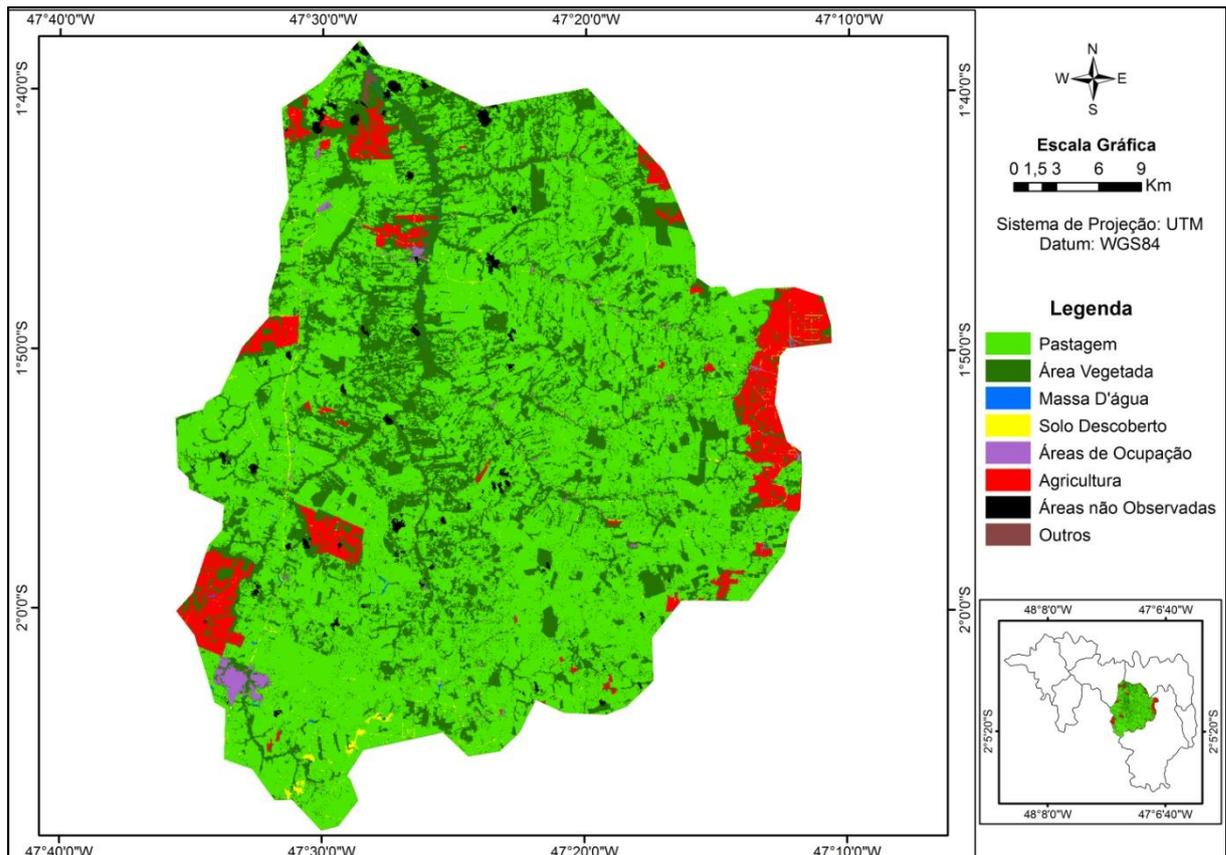
A classe configurada no espaço é a pastagem (Tabela 17 e Figura 15), representada por 67,51% de todo o seu limite, classificando-se como a sub-bacia que apresenta maior porcentagem em comparação com as demais e segunda maior área desta classe em relação a

toda bacia do rio Guamá, correspondendo a 104.811,65 ha. Em um estudo realizado no igarapé Peripindeua, localizado na área de influência direta desta sub-bacia, foram obtidos resultados semelhantes quanto à representatividade da pastagem (OLIVEIRA et al., 2011).

Tabela 17 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do igarapé Mãe do Rio.

<b>Classes</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Área Vegetada	37.359,57	24,07
Agricultura	9.133,91	5,88
Pastagem	104.811,65	67,51
Solo Descoberto	1.070,63	0,69
Áreas de Ocupação	1.119,91	0,72
Massa D'água	282,91	0,18
Outros	122,74	0,08
Áreas Não Observadas	1.343,20	0,87
<b>Total</b>	<b>155.244,52</b>	<b>100,00</b>

Figura 15 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do igarapé Mãe do Rio.



Dentre as demais sub-bacias, esta é a que se configura com menor porcentagem de áreas vegetadas (24,07%). As áreas de agricultura com 5,88% de representação, confirmam

perda de espaço da cobertura vegetal para a implementação de áreas voltadas às atividades agropecuárias, no contexto do uso da terra.

Para a classe áreas de ocupação foi quantificado 0,72%, indicativo, em sua maioria, das sedes municipais dos municípios de Mãe do Rio e Irituia. Ao que se refere ao solo descoberto, compreende a 0,69% da área, apresentando grande notabilidade em relação às áreas de exploração mineral. Já com relação à massa d'água, foram obtidos 0,18% da área, apresentando baixa representatividade.

#### 6.1.1.7 Sub-bacia do alto Guamá

Dentre as demais sub-bacias, esta é a que apresenta maior extensão (331.639,30 ha), tendo como classe predominante a pastagem (61,58%) (Figura 16, Tabela 18). Apesar desta não ter sido classificada como a maior porcentagem em relação a sua área, a mesma possui 204.207,79 ha desta classe, sendo a maior representatividade levando em consideração toda a bacia do Guamá, o que equivale a 34,08%.

Figura 16 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do alto Guamá.

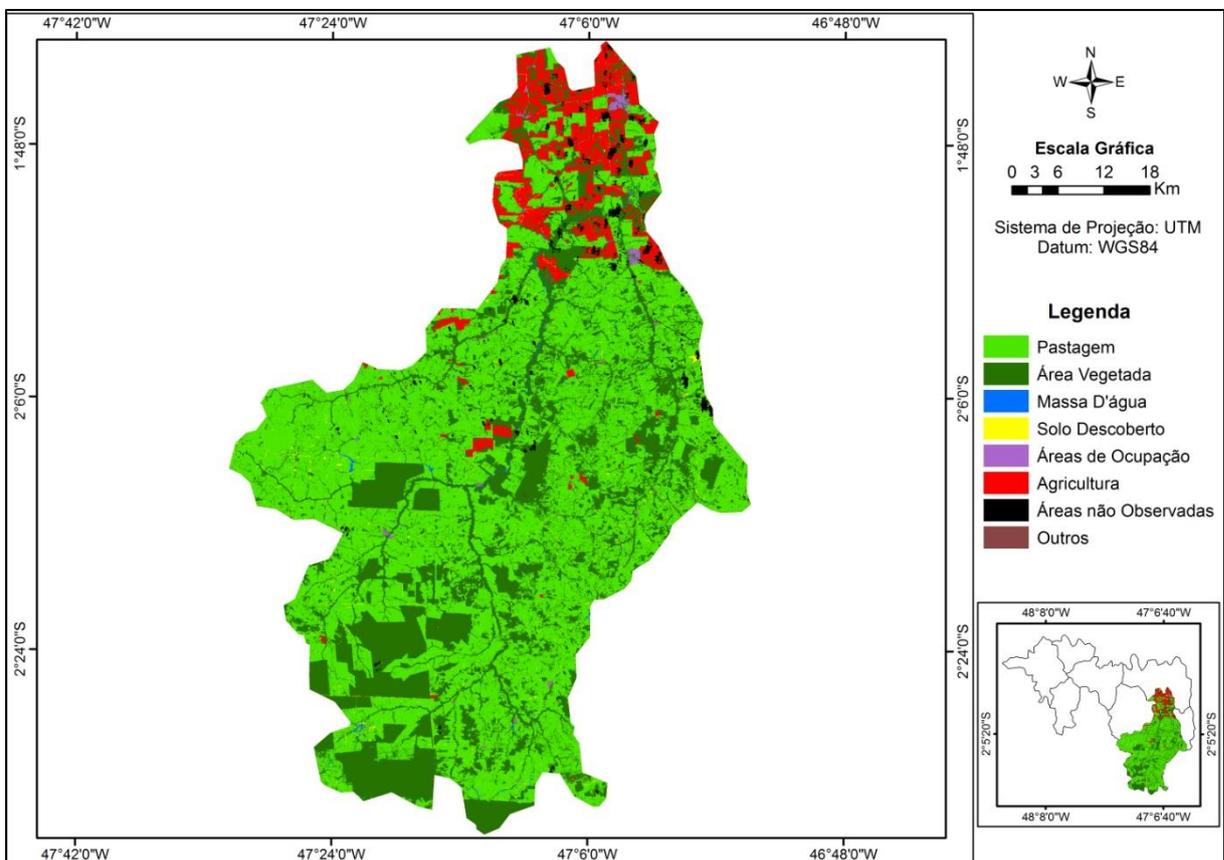


Tabela 18 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do alto Guamá.

<b>Classes</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Área Vegetada	96.444,02	29,08
Agricultura	21.670,75	6,53
Pastagem	204.207,79	61,58
Solo Descoberto	2.697,34	0,81
Áreas de Ocupação	1.456,51	0,44
Massa D'água	1.315,22	0,40
Outros	149,97	0,05
Áreas Não Observadas	3.697,70	1,11
<b>Total</b>	<b>331.639,30</b>	<b>100,00</b>

Com relação às áreas vegetadas, estas representam 29,08%, a segunda menor porcentagem levando em consideração a sua área, porém, relacionada a toda extensão da bacia do rio Guamá, esta possui maior área referente a esta classe (96.444,02 ha), equivalente a 21,40%.

A característica semelhante ocorre com as classes agricultura (6,53%) e solo descoberto (0,81%), possuindo a segunda maior porcentagem com relação a sua extensão, porém maior área em relação a cada classe na bacia do rio Guamá, equivalente a 29,68% e 30,99% respectivamente.

A agricultura e os solos descobertos estão fortemente ligados as mesmas características apresentadas na sub-bacia do médio Guamá 2, sendo a primeira representada por vastas plantações de laranja, cultivos de pimenta do reino, mandioca e óleo de palma; e a segunda por áreas de exploração mineral, vias e rodovias.

As áreas de ocupação cobertas por 0,44% da área, referem-se principalmente as sedes municipais de Capitão Poço e Garrafão do Norte, além de pequenas comunidades localizadas nestes dois municípios. E com relação à classe massa d'água, ocupa 0,40% da área. Vale ressaltar que nesta sub-bacia está inserida a principal nascente do rio Guamá, a qual é notada de forma discreta na Figura 16.

#### 6.1.1.8 Sub-bacia do rio Sujo

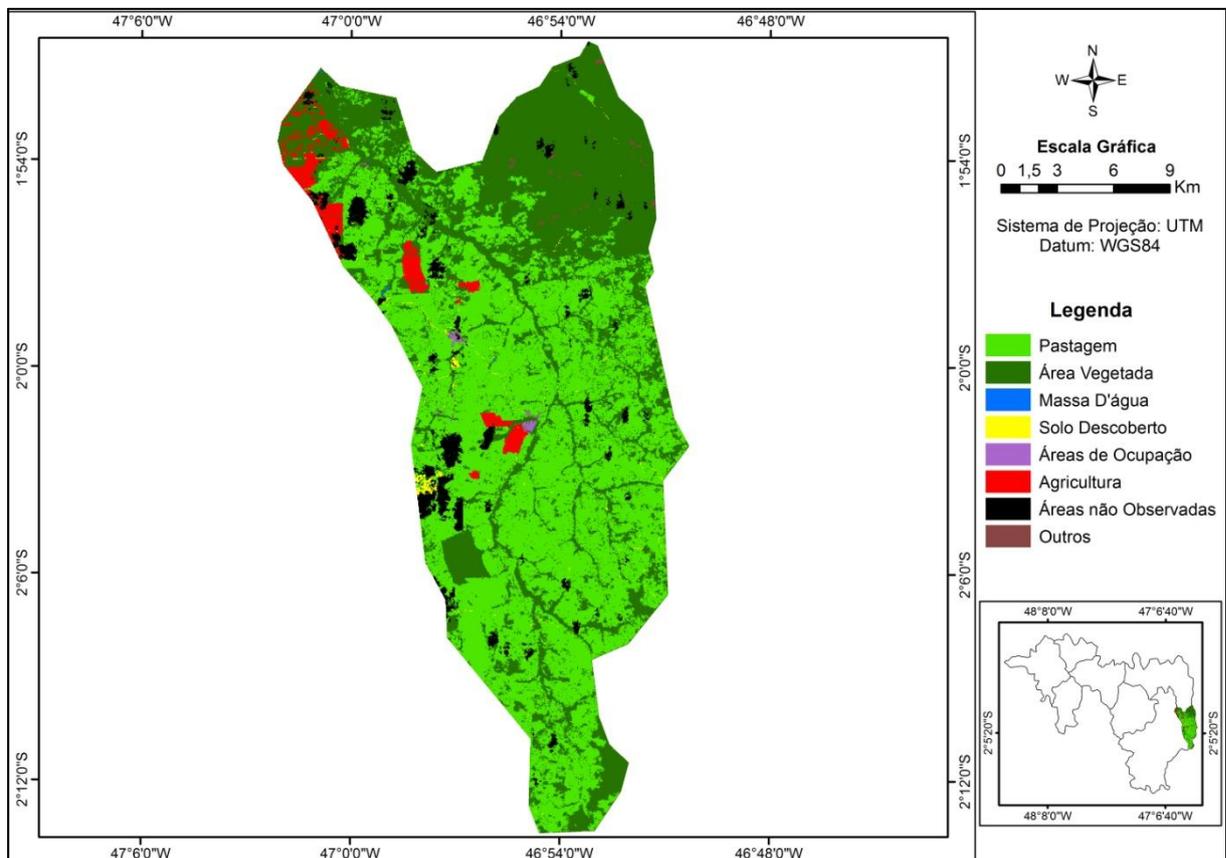
A sub-bacia do rio Sujo (Figura 17) é considerada a que apresenta a menor extensão dentre as demais correspondendo a 46.012,53 ha. As áreas de pastagem têm predomínio nesta, representando 55,99% do total, uma área equivalente a 4,30% de toda a classe na bacia hidrográfica do rio Guamá (Tabela 19).

As áreas vegetadas cobrem 37,05% da área total desta, tendo a maior concentração no município de Santa Luzia do Pará. A agricultura teve 2,44% de representação, agrupando-se principalmente no município de Garrafão do Norte, através do cultivo predominante de óleo de palma, pimenta do reino e laranja, que são produtos característicos da região nordeste, sul e sudeste da bacia do rio Guamá.

Tabela 19 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do rio Sujo.

Classes	Área (ha)	Porcentagem (%)
Área Vegetada	17.046,30	37,05
Agricultura	1.121,28	2,44
Pastagem	25.761,48	55,99
Solo Descoberto	212,18	0,46
Áreas de Ocupação	91,56	0,20
Massa D'água	18,25	0,04
Outros	73,02	0,15
Áreas Não Observadas	1.688,46	3,67
<b>Total</b>	<b>46.012,53</b>	<b>100,00</b>

Figura 17 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do rio Sujo.

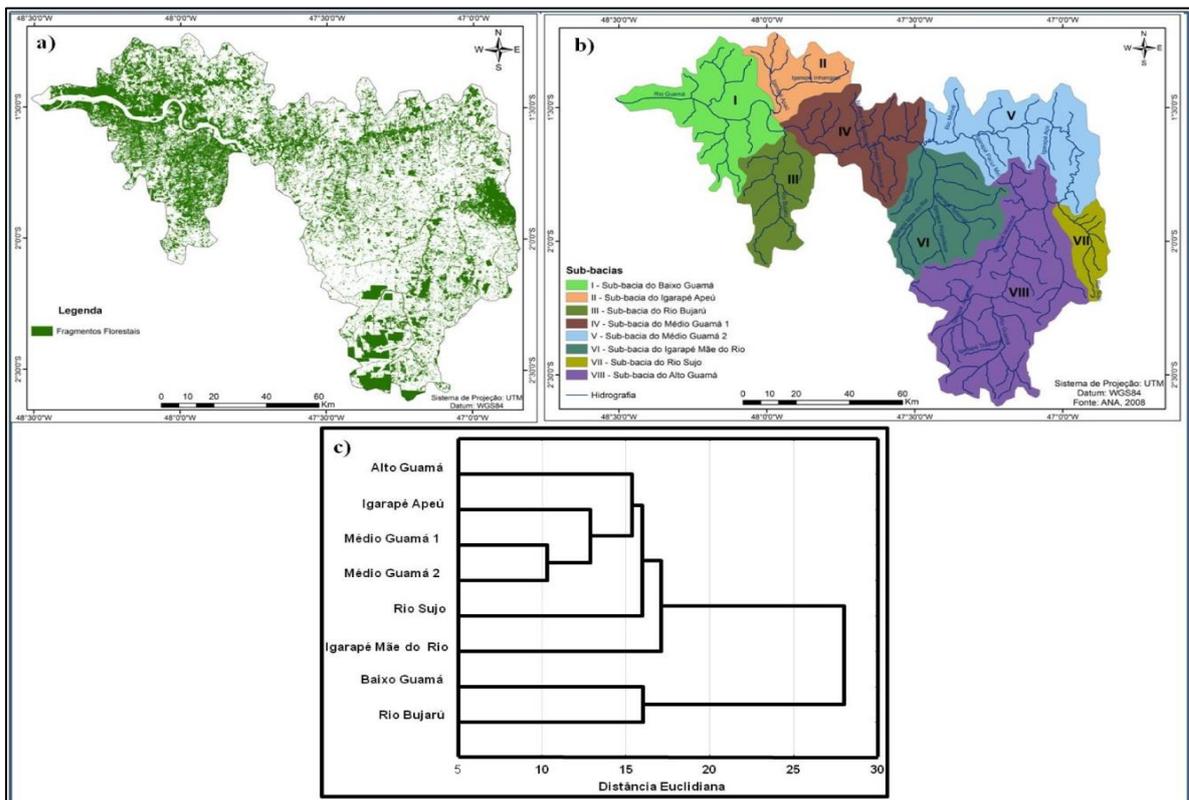


Para a classe de áreas de ocupação foi identificado 0,20% da área total, um valor pouco expressivo. Vale ressaltar que a sub-bacia do rio Sujo é a única que não possui nenhuma sede municipal em sua extensão, portanto, a mesma é representada por vilas e pequenas comunidades situadas na mesma. Já os solos descobertos (0,46%) e massa d'água (0,04%) obtiveram pouca expressividade dentre os limites do rio Sujo, e por ser a menor sub-bacia, como citado anteriormente, possuindo a menor expressividade dentre os limites de toda a bacia do Guamá comparada às demais sub-bacias.

## 6.2 Análise da estrutura da paisagem da bacia hidrográfica do rio Guamá

Considerando os parâmetros: distância média entre os fragmentos, índice de proximidade média, índice de área nuclear total, índice de forma média ponderada, densidade de fragmentos, tamanho médio dos fragmentos, número de fragmentos e área total dos fragmentos; segundo uma análise de agrupamento, observou-se a maior proximidade de comportamento nas sub-bacias do médio Guamá 1 e 2, e entre as do baixo Guamá e do rio Bujarú, além de condições bem distintas para as do rio Sujo e rio Bujarú (Figura 18).

Figura 18 - (a) fragmentos florestais da bacia do rio Guamá; (b) sub-bacias definidas; (c) análise de agrupamento segundo as métricas de paisagem.



Esta relação de proximidade pode vir a indicar também, uma relação hidrológica relativa ao potencial de escoamento da bacia. A seguir são detalhados os parâmetros calculados.

### 6.2.1 Índices de área, densidade, tamanho e variabilidade métrica

A área de cobertura vegetal ocupa a segunda maior área do território da bacia do rio Guamá correspondendo a 37,43% da mesma. Os fragmentos florestais pertencentes a esta classe totalizam 34.616 fragmentos, ocupando uma área de 450.637,93 hectares (Tabela 20).

Tabela 20 - Número de fragmentos florestais e suas respectivas áreas.

<b>Sub-bacia</b>	<b>Área da sub-bacia (ha)</b>	<b>Número de fragmentos</b>	<b>Área total dos fragmentos (ha)</b>
Sub-bacia do Alto Guamá	331.639,30	9.681	96.444,02
Sub-bacia do Igarapé Apeú	74.737,99	1.964	29.318,04
Sub-bacia do Médio Guamá 1	142.137,30	4.107	53.676,70
Sub-bacia do Baixo Guamá	163.960,76	3.105	94.885,30
Sub-bacia do Igarapé Mãe do Rio	155.244,52	5.815	37.359,57
Sub-bacia do Médio Guamá 2	191.134,49	6.540	66.943,62
Sub-bacia do Rio Bujarú	99.019,23	1.752	54.964,38
Sub-bacia do Rio Sujo	46.012,53	1.652	17.046,30
<b>Total</b>	<b>1.203.886,12</b>	<b>34.616</b>	<b>450.637,93</b>

As sub-bacias que apresentam maior número de fragmentos são as do alto Guamá (9.681) e médio Guamá 2 (6.540) respectivamente, considerando também que primeira é a que possui maior área em relação às áreas de vegetação. Os dados apresentados acima demonstram o alto grau de fragmentação das sub-bacias, representando assim a influência que as alterações relacionadas ao uso e ocupação do solo têm sobre este processo. As sub-bacias do rio Sujo (1.652) e Bujarú (1.752) foram as que apresentaram os menores valores sobre o número de fragmentos, sendo que a do rio Sujo apresenta menor área total de áreas vegetadas (17.046,30 ha), o que pode ter contribuído para este resultado.

A Tabela 21 apresenta os resultados das métricas relacionadas ao tamanho, densidade e variabilidade dos fragmentos. A partir da avaliação desses índices, pode-se ter uma interpretação mais detalhada a respeito do grau de fragmentação das sub-bacias avaliadas.

Tabela 21 - Densidade, tamanho, desvio padrão e coeficiente de variação dos fragmentos por sub-bacia.

Sub-bacia	Densidade de fragmentos /100 ha	Tamanho médio dos fragmentos (ha)	Desvio padrão (ha)	Coeficiente de variação (%)
Sub-bacia do Alto Guamá	2,92	5,96	119,88	2.011,13
Sub-bacia do Igarapé Apeú	2,63	7,76	225,97	2.911,37
Sub-bacia do Médio Guamá 1	2,89	6,91	157,00	2.272,18
Sub-bacia do Baixo Guamá	1,89	13,83	600,86	4.344,12
Sub-bacia do Igarapé Mãe do Rio	3,75	3,90	58,42	1.497,23
Sub-bacia do Médio Guamá 2	3,42	5,87	121,27	2.066,05
Sub-bacia do Rio Bujarú	1,77	14,77	716,60	4.850,35
Sub-bacia do Rio Sujo	3,59	6,25	209,26	3.347,79

Para o índice de densidade de fragmentos, observou-se que as sub-bacias do igarapé Mãe do Rio, rio Sujo e do médio Guamá 2 apresentaram maiores valores que as demais sub-bacias, sendo assim, estas são consideradas as que possuem maior número de fragmentos por unidade de área, que neste caso é 100 ha. Já as do baixo Guamá e do rio Bujarú têm os menores valores de densidade de fragmentos, significando que as mesmas possuem menor número de fragmentos por unidade de área.

O índice de densidade de fragmentos leva em consideração a distribuição dos fragmentos por unidade de área, permitindo a comparações entre paisagens de diferentes tamanhos.

Analisando o tamanho médio dos fragmentos, foi identificado que a sub-bacia do rio Bujarú e do baixo Guamá possuem maiores valores (14,77 ha e 13,83 ha), comprovando que as mesmas, em sua área total, têm fragmentos maiores que a média em sua composição, complementando a análise de densidade, ou seja, a presença de grandes fragmentos contribui para a baixa densidade de fragmentos. Já as bacias do igarapé Mãe do Rio, médio Guamá 2 e alto Guamá, são as que possuem maior fragmentação em relação as demais, por apresentarem os menores valores referentes ao tamanho dos fragmento florestais (3,90 ha, 5,87 ha e 5,96 ha respectivamente).

O tamanho médio dos fragmentos é considerado um bom indicativo do grau de fragmentação por ser função do número de fragmentos e da área total ocupada por áreas de vegetação (VALENTE; VETTORAZZI, 2002). Para McGarigal e Marks (1994), os baixos valores referentes ao tamanho médio de fragmentos apresentados para as paisagens caracterizam essas como as mais fragmentadas.

Relacionando o índice de densidade com o de tamanho médio dos fragmentos, verificou-se que as sub-bacias que apresentam um maior tamanho médio dos fragmentos e a densidade de fragmentos baixa, possuem uma concentração de fragmentos maiores que os da sua média, porém os valores altos de desvio padrão e de coeficiente de variação indicam que existe também a presença de fragmentos pequenos nas áreas.

Por se obter valores considerados muito elevados em relação ao desvio padrão e o coeficiente de variação em relação ao tamanho médio dos fragmentos, observou-se que há de fato uma ampla diferença entre o tamanho dos fragmentos florestais de cada sub-bacia, demonstrando a heterogeneidade espacial das manchas que estão contidas nas mesmas.

O tamanho médio dos fragmentos deve ser analisado conjuntamente com o desvio padrão e o coeficiente de variação, pois, caso os valores destes sejam altos, é possível que haja grandes fragmentos, mesmo que o tamanho médio seja baixo (PEREIRA; NEVES; FIGUEIREDO, 2007).

A partir dessas informações, para melhor avaliar a estrutura florestal das paisagens, as Tabelas 22 e 23 apresentam o número de fragmentos e a área dos mesmos distribuídos por classe de tamanho.

Tabela 22 - Número de fragmentos de vegetação distribuídos por classe de tamanho nas sub-bacias.

<b>Fragmentos (ha)</b>	<b>Alto Guamá</b>	<b>Igarapé Apeú</b>	<b>Médio Guamá 1</b>	<b>Baixo Guamá</b>	<b>Igarapé Mãe do Rio</b>	<b>Médio Guamá 2</b>	<b>Rio Bujarú</b>	<b>Rio Sujo</b>
< 50	9.519	1.934	4.043	3.078	5.710	6.418	1.722	1.625
50 – 100	73	11	31	8	55	57	11	14
100 – 200	43	10	17	7	30	26	8	8
200 – 500	20	6	8	5	16	24	6	3
500 – 1.000	16	0	3	3	2	6	4	1
> 1.000	10	3	5	4	2	9	1	1
<b>Total</b>	<b>9.681</b>	<b>1.964</b>	<b>4.107</b>	<b>3.105</b>	<b>5.815</b>	<b>6.540</b>	<b>1.752</b>	<b>1.652</b>

Tabela 23 - Área ocupada por fragmentos de vegetação por classe de tamanho nas sub-bacias.

<b>Fragmentos (ha)</b>	<b>Alto Guamá</b>	<b>Igarapé Apeú</b>	<b>Médio Guamá 1</b>	<b>Baixo Guamá</b>	<b>Igarapé Mãe do Rio</b>	<b>Médio Guamá 2</b>	<b>Rio Bujarú</b>	<b>Rio Sujo</b>
< 50	15.766,01	2.578,14	5.860,97	2.961,16	10.171,83	9.990,84	2.765,22	2.220,24
50 – 100	5.225,55	762,41	2.241,80	573,11	3.631,24	3.985,78	704,98	889,02
100 – 200	5.864,82	1.338,48	2.258,69	976,03	4.236,75	3.608,88	1.170,26	984,54
200 – 500	6.051,60	1.867,33	2.560,76	1.870,22	5.601,84	7.477,07	1.780,03	890,24
500 – 1.000	11.082,01	0,00	3.175,70	2.199,67	1.328,90	4.239,79	3.417,08	565,83
> 1.000	52.454,03	22.771,68	37.578,78	86.305,11	12.389,01	37.641,26	45.126,81	11.496,43
<b>Total</b>	<b>96.444,02</b>	<b>29.318,04</b>	<b>53.676,70</b>	<b>94.885,30</b>	<b>37.359,57</b>	<b>66.943,62</b>	<b>54.964,38</b>	<b>17.046,30</b>

A grande maioria dos fragmentos (acima de 98% do total) possuem áreas menores que 50 ha. A somatória da área desses fragmentos corresponde de 3,12% a 27,23% da área total da

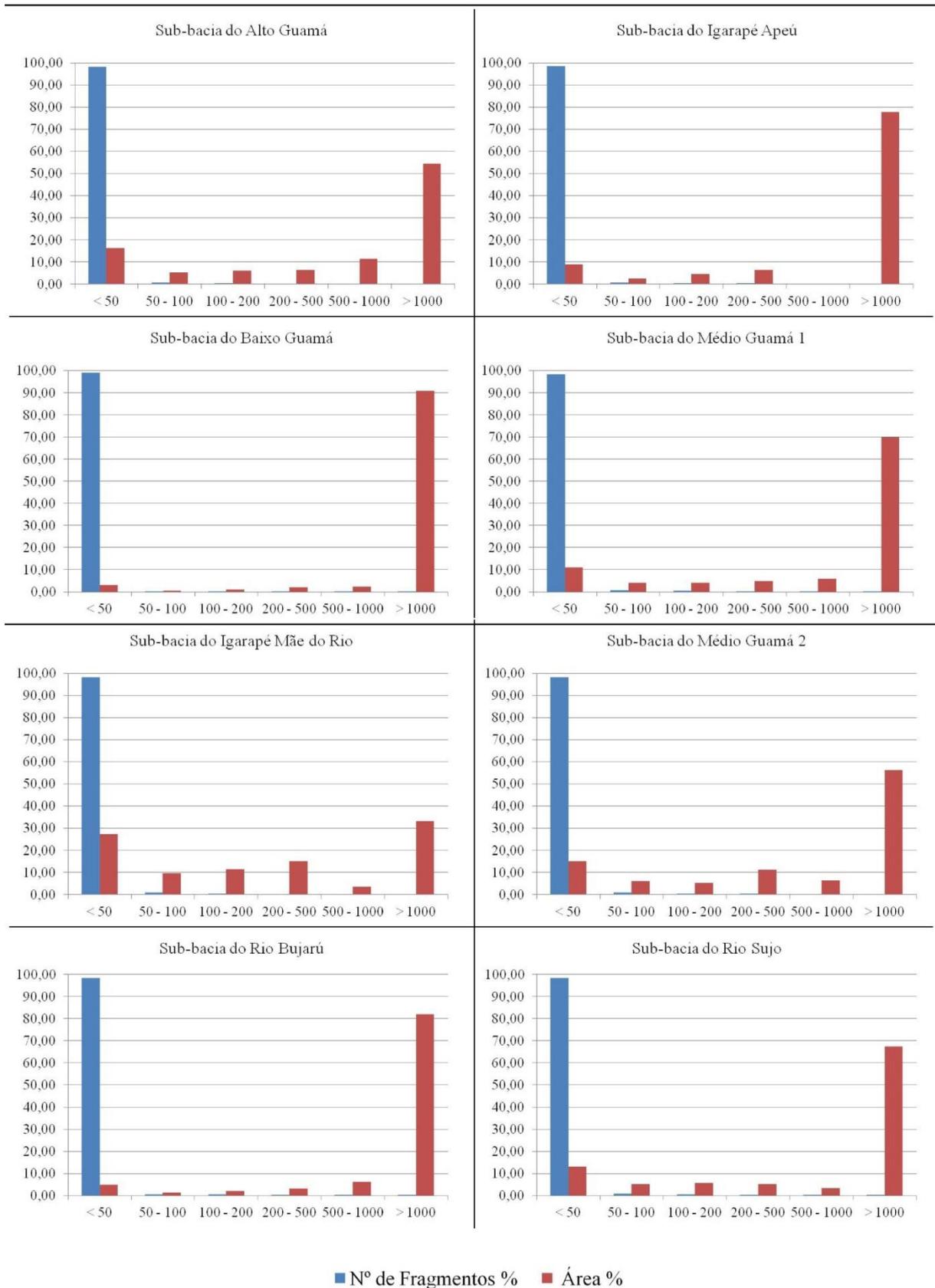
classe nas sub-bacias, sendo que quanto maior a área contida em pequenos fragmentos, maior será também a suscetibilidade ao efeito de borda, já que quanto menor a área de um fragmento, menor será também a sua área nuclear.

Estes fatores podem implicar na alteração de serviços ecossistêmicos, por meio da perda de habitat, alterações no balanço de energia, alterações das funções relacionadas ao controle de erosão e redução de populações, efeitos estes provocados pelo evidente processo de antropização que ocorre na área de estudo.

A pesar do elevado número de pequenas manchas, os fragmentos maiores que 1.000 ha possuem mais de 50% de toda a área dos fragmentos das sub-bacias, correspondendo a um intervalo de 54,39% a 90,96%, com exceção da sub-bacia do igarapé Mãe do Rio que apresenta 33,16% de sua área composta por fragmentos acima desta extensão.

Esta relação entre a porcentagem de área e a porcentagem do número de fragmentos por sub-bacia pode ser observado na Figura 19.

Figura 19 - Relação entre número de fragmentos e área das oito sub-bacias de análise, em função das classes de área.



Para a sub-bacia do baixo Guamá, 99,13% dos seus fragmentos possuem áreas menores que 50 ha. Nesta, foram identificados apenas 4 fragmentos florestais com área superior a 1.000 ha, e apesar deste valor baixo, essas manchas compõem 90,96% de toda a área vegetada da sub-bacia, contribuindo assim, para o baixo valor de densidade de fragmentos.

As demais sub-bacias apresentaram os fragmentos com áreas menores que 50 ha dentro da faixa dos 98%, variando de forma significativa apenas com relação à área ocupada pelos fragmentos acima dos 1.000 ha, sendo que para as sub-bacias foram obtidos: rio Bujarú 82,10%, igarapé Apeú 77,67%, médio Guamá 1 70,01%, rio Sujo 67,44%, médio Guamá 2 56,23%, alto Guamá 54,39%, e igarapé Mãe do Rio 33,16%.

Trabalhos como os de Watrin, Gerhard e Maciel (2009), Jesuíno (2010) e Pereira (2012), que apresentam a análise de fragmentação de sub-bacias e microbacias no nordeste paraense, também apontam a predominância de fragmentos menores que 50 ha representando cerca de 90% dos fragmentos que constituem as suas áreas de estudo.

Os pequenos remanescentes desempenham uma função importante na paisagem, pois exercem o papel de elementos de ligação, “trampolins ecológicos” (*stepping stones*) entre fragmentos maiores, porém, os fragmentos que possuem grandes extensões, são fundamentais para a manutenção dos processos ecológicos e da biodiversidade em larga escala (FORMAN; GODRON, 1986). Com isso, o tamanho dos fragmentos é um fator importante para a dinâmica populacional e influencia na riqueza de espécies.

A região do nordeste paraense, em seu estágio atual de ocupação, apresenta uma tendência constante de fragmentação, portanto, há uma necessidade de recuperação da cobertura florestal (TAMASAUSKAS et al., 2016). Aspectos voltados a produção de água, aumento da conectividade dos fragmentos e proteção do solo, contribuem para a realização de pesquisas voltadas a análise de paisagens no intuito de conservar os recursos naturais (METZGER, 2003).

### 6.2.2 Índice de forma

O conhecimento da forma desses fragmentos é importante para contribuir na avaliação da estrutura florestal das sub-bacias, além de possibilitar a análise de vulnerabilidade de um fragmento aos fatores externos. A Tabela 24 apresenta o índice de forma média, o índice de forma média ponderada e o índice de dimensão fractal.

Tabela 24 - Índices de forma média, forma média ponderada, dimensão fractal média para cada sub-bacia.

Sub-bacia	Índice de Forma Média	Índice de Forma Média Ponderada	Índice de Dimensão Fractal Média
Sub-bacia do Alto Guamá	1,34	8,82	1,05
Sub-bacia do Igarapé Apeú	1,32	26,57	1,05
Sub-bacia do Médio Guamá 1	1,34	18,63	1,05
Sub-bacia do Baixo Guamá	1,25	39,39	1,04
Sub-bacia do Igarapé Mãe do Rio	1,35	11,16	1,05
Sub-bacia do Médio Guamá 2	1,34	12,46	1,05
Sub-bacia do Rio Bujarú	1,29	41,91	1,04
Sub-bacia do Rio Sujo	1,32	12,70	1,05

Para o índice de forma média, foram obtidos valores próximos a 1, o que significa que os fragmentos possuem uma forma mais próxima do arredondado. Sua análise em conjunto com o índice de forma média ponderada pela área, onde os fragmentos recebem peso com relação ao seu tamanho, percebe-se que os valores são superiores aos do índice de forma média, ou seja, os fragmentos que possuem uma área maior apresentam forma mais irregular que a média (MCGARIGAL; MARKS, 1994).

A partir desta análise, nota-se que as sub-bacias do rio Bujarú, baixo Guamá e igarapé Apeú, apresentam maiores valores do índice de forma média ponderada, onde se confere que os maiores fragmentos destas apresentam uma forma alongada por estarem localizados nas proximidades dos cursos d'água.

Levando em consideração os valores do índice de forma e dimensão fractal, foi confirmada a regularidade da maioria dos fragmentos dados os seus valores aproximados de 1, afirmação que também é observada por Saito, Moreira e Santos (2013).

Sendo assim, a análise dos valores de todos os índices apresentados em conjunto, demonstra que as formas da grande maioria dos fragmentos das oito sub-bacias examinadas são consideradas regulares e pouco complexas.

A forma dos fragmentos florestais é um importante parâmetro a ser considerado, porém não pode ser analisada de maneira isolada, devendo levar em consideração outros aspectos dos fragmentos, como por exemplo, o seu efeito de borda, estando diretamente relacionado, determinando o grau com que esse efeito age sobre o fragmento e a maior ou menor influência dos fatores externos (VALENTE; VETTORAZZI, 2002).

### 6.2.3 Índice da área nuclear

As áreas nucleares obtidas corresponderam às áreas centrais (internas) de cada fragmento, com base numa margem contínua de 100 m em relação à borda, assim como nos trabalhos elaborados por Ribeiro et al. (2009), Bezerra (2010), Pirovani et al. (2012) e Pereira (2012). Em caráter explicativo, Herrmann, Rodrigues e Lima (2005), apresentam fragmentos florestais em forma quadrada e efeitos de borda se estendendo até 100 m para o seu interior, os que abrangem 1 ha de extensão têm o impacto do efeito de borda em sua totalidade, os de 10 ha são atingidos em quase 90% de sua área, os de 100 ha possuem 35% da área afetada e os de 1.000 ha mais de 10%.

Além do número de fragmentos que possuem áreas centrais, também foram obtidas a área das mesmas em hectares e o índice de área central para cada sub-bacia (Tabela 25).

Tabela 25 - Número de fragmentos que possuem área central, área nuclear total e índice de área nuclear total por sub-bacia.

Sub-bacias	Número de fragmentos com área nuclear	Área nuclear total (ha)	Índice de área nuclear total (%)
Sub-bacia do Alto Guamá	160	43.452,70	45,05
Sub-bacia do Igarapé Apeú	53	10.419,70	35,54
Sub-bacia do Médio Guamá 1	123	16.283,67	30,34
Sub-bacia do Baixo Guamá	61	42.763,30	45,07
Sub-bacia do Igarapé Mãe do Rio	180	6.222,96	16,66
Sub-bacia do Médio Guamá 2	198	23.483,43	35,08
Sub-bacia do Rio Bujarú	45	19.472,32	35,43
Sub-bacia do Rio Sujo	34	7.469,86	43,82
<b>Total</b>	<b>854</b>	<b>169.567,94</b>	

O número de fragmentos que obtiveram áreas centrais foi considerado muito baixo, somando um total de 854 de 34.616 em toda a bacia do Guamá, representando assim somente 2,47% de todas as manchas capazes de manter e as espécies em seu interior. As sub-bacias que mais se destacaram nesta análise foram a do médio Guamá 2 e a do igarapé Mãe do Rio, com 198 e 180 fragmentos com áreas centrais respectivamente. Já as sub-bacias dos rios Sujo e Bujarú foram as que apresentaram menor quantitativo de manchas.

Com relação a área central total, somou 169.567,94 ha em toda a bacia do Guamá, representando 37,63% de toda a área vegetada da mesma, ou seja, 62,37% de toda a área dos fragmentos florestais estão expostas aos efeitos de borda. Este fato é decorrente da

irregularidade na forma de alguns fragmentos, que são mais alongados e do grande número de pequenos fragmentos.

Os fragmentos que não possuem área nuclear não devem ser desconsiderados na análise da paisagem, já que os mesmos exercem uma função importante na conservação da composição florestal, além de desempenhar o papel de corredores de fluxo biológico e a conectividade entre os demais fragmentos.

A área nuclear é um bom indicativo de qualidade dos fragmentos do que sua área total (MCGARIGAL; MARKS, 1994). As sub-bacias que apresentaram maior área total de fragmentos que não sofrem influência direta do efeito de borda foram as do alto Guamá com 43.452,70 ha e baixo Guamá com 42.763,30 ha, por outro lado, as que apresentaram menores extensões referentes às áreas centrais foram as sub-bacias do igarapé Mãe do rio (6.222,96 ha) e do rio Sujo (7.469,86 ha).

Para o índice de área central é calculada a porcentagem da área total que não é afetada pelos efeitos de borda para cada sub-bacia de análise. As bacias do baixo e alto Guamá apresentaram valores aproximados, equivalendo 45,07% e 45,05% respectivamente. A sub-bacia do rio Sujo apesar de ter a menor extensão de área florestal em sua totalidade, apresenta 43,82% desta classe como áreas centrais, consistindo na terceira mais representativa. A sub-bacia do igarapé Mãe do Rio foi a que obteve menor porcentagem de áreas centrais em relação a sua extensão, com um total de 16,66%, sendo a mais vulnerável aos efeitos de borda e influência de impactos provocados pela antropização.

#### 6.2.4 Índice de proximidade

Para a análise de isolamento foram selecionados os valores da distância média entre os fragmentos (distância euclidiana de borda a borda do vizinho mais próximo de fragmentos da mesma classe) e seus respectivos desvio padrão e coeficiente de variação, e o índice de proximidade média para cada sub-bacia (Tabela 26).

Tabela 26 - Distância média entre os fragmentos, desvio padrão, coeficiente de variação e índice de proximidade média.

<b>Sub-bacia</b>	<b>Distância média entre os fragmentos (m)</b>	<b>Desvio padrão (m)</b>	<b>Coeficiente de variação (%)</b>	<b>Índice de proximidade média</b>
Sub-bacia do Alto Guamá	118,72	76,18	64,17	904,95
Sub-bacia do Igarapé Apeú	105,66	65,64	62,12	7.190,69
Sub-bacia do Médio Guamá 1	106,64	60,47	56,70	2.876,13
Sub-bacia do Baixo Guamá	97,11	51,35	52,87	26.957,84
Sub-bacia do Igarapé Mãe do Rio	116,53	74,62	64,04	660,02
Sub-bacia do Médio Guamá 2	111,32	67,56	60,69	1.499,01
Sub-bacia do Rio Bujarú	105,10	51,61	49,10	21.899,02
Sub-bacia do Rio Sujo	118,68	70,93	59,77	1.244,31

As sub-bacias que apresentaram uma maior distância entre seus fragmentos e conseqüentemente maior grau de isolamento foram as do alto Guamá e do rio Sujo, com valores de 118,72 m e 118,68 m respectivamente, as quais tem maior vulnerabilidade aos efeitos de borda. Já a sub-bacia do baixo Guamá foi a que obteve menor distância entre seus fragmentos, ou seja, seus fragmentos estão mais conectados. A distância média do fragmento mais próximo é definida a partir da distância de um fragmento a outro mais próximo de mesma classe, que neste caso são as áreas florestadas, baseando-se na distância margem a margem dos mesmos.

O grau de isolamento afeta de forma direta na qualidade de um fragmento florestal já que este representa a maneira como ocorre a circulação e dispersão de espécies, facilitando esta caso os fragmentos sejam mais próximos ou dificultando caso o maior afastamento. Em questões de representatividade, quanto maior for o grau de isolamento de uma mancha, também será maior o nível de desenvolvimento de espécies de borda, as quais podem chegar a ocupar todo o remanescente (JARVINEN, 1982; SOUZA et al., 2014).

Ao analisar a distância do vizinho mais próximo e seus respectivos valores de desvio padrão e coeficiente de variação, pode-se aprontar que a sub-bacia do alto Guamá possui a maior variabilidade para distância entre fragmentos de floresta e as sub-bacias do baixo Guamá e do rio Bujarú, apresentam a menor variabilidade, ou seja, distâncias mais similares umas das outras.

Em seu trabalho a respeito de conectividade em paisagens fragmentadas, Metzger (2003) recomenda que existam basicamente duas opções para reconectar populações de fragmentos isolados, a primeira consiste em melhorando a rede de corredores e a segunda aumentando a permeabilidade da matriz da paisagem.

Proximidade é distinta de distância ao vizinho mais próximo, sendo estas inversamente proporcionais. Segundo McGarigal e Marks (1994) o índice de proximidade é igual à soma da área dos fragmentos em razão da distância mais próxima da borda entre os fragmentos de mesma classe dentro de um raio especificado na pesquisa. Se todos os fragmentos não tiverem vizinhos de mesma classe dentro do raio determinado, o índice de proximidade é igual a zero.

Para o índice de proximidade média das sub-bacias foi utilizado um o raio de 100 metros. Este índice indica que a sub-bacia do baixo Guamá (26.957,84) e a sub-bacia do rio Bujarú (21.899,02) apresentaram seus fragmentos mais próximos entre si, e consequentemente, uma menor interação com os outros usos e coberturas que compõem a paisagem das mesmas. Já as sub-bacias do igarapé Mãe do Rio (660,02) e do alto Guamá (904,95), possuem seus fragmentos mais distantes e uma maior interação com as outras classes de suas áreas.

### 6.3 Aplicação do método curva número para a bacia do rio Guamá

A bacia do rio Guamá é composta basicamente por cinco tipos de solos, o Latossolo Amarelo, Latossolo Concrecionário, Neossolo Flúvico, Neossolos Quartzarênicos e Argissolo Vermelho Amarelo, onde o Latossolo Amarelo ocupa 84,91% de toda área. Os mesmos foram enquadrados nos grupos hidrológicos para a obtenção do valor de CN, calculado a partir da média ponderada, para os tipos de uso e cobertura do solo das sub-bacias (Tabelas 27 a 34).

Tabela 27 - Curva número das classes de uso e cobertura do solo para a sub-bacia do Baixo Guamá.

Uso do Solo	% de solo	Grupo Hidrológico	Área (ha)	CN	CN Médio por Classe
Área Vegetada	50,47	B	82.759,58	55	27,76
	7,40	C	12.125,72	70	5,18
Solo Descoberto	0,75	B	1.230,64	82	0,62
	0,03	C	56,58	87	0,03
Áreas de Ocupações	2,15	B	3.526,29	65	1,40
	0,02	C	25,55	77	0,01
Agricultura	4,50	B	7.384,32	78	3,51
	0,06	C	87,46	85	0,05
Pastagem	21,82	B	35.783,81	69	15,06
	1,43	C	2.337,47	79	1,13

Tabela 28 - Curva número das classes de uso e cobertura do solo para a sub-bacia do igarapé Apeú.

Uso do Solo	% de solo	Grupo Hidrológico	Área (ha)	CN	CN Médio por Classe
Área Vegetada	35,02	B	26.172,61	55	19,26
	4,21	C	3.145,43	70	2,95
Solo Descoberto	0,86	B	638,68	89	0,76
	0,01	C	8,35	92	0,01
Áreas de Ocupações	3,19	B	2.382,34	65	2,07
	0,001	C	0,76	77	0,00
Agricultura	5,99	B	4.479,80	78	4,68
	0,04	C	30,88	85	0,04
Pastagem	41,73	B	31.185,37	61	25,45
	1,89	C	1.416,20	74	1,40

Tabela 29 - Curva número das classes de uso e cobertura do solo para a sub-bacia do rio Bujarú.

Uso do Solo	% de solo	Grupo Hidrológico	Área (ha)	CN	CN Médio por Classe
Área Vegetada	54,54	B	54.008,28	55	30,00
	0,97	C	956,10	70	0,68
Solo Descoberto	0,73	B	722,02	86	0,63
	0,002	C	1,67	91	0,00
Áreas de Ocupações	0,64	B	630,30	65	0,41
	9,70	B	9.607,55	78	7,57
Agricultura	30,15	B	29.852,36	61	18,39
	0,28	C	279,41	74	0,21

Tabela 30 - Curva número das classes de uso e cobertura do solo para a sub-bacia do médio Guamá 1.

Uso do Solo	% de solo	Grupo Hidrológico	Área (ha)	CN	CN Médio por Classe
Área Vegetada	30,12	B	42.816,91	55	16,57
	7,64	C	10.859,79	70	5,35
Solo Descoberto	0,44	B	621,33	82	0,36
	0,06	C	91,71	87	0,06
Áreas de Ocupações	0,27	B	381,16	65	0,17
	0,39	C	551,21	77	0,30
Agricultura	5,04	B	7.163,91	78	3,93
	0,11	C	162,29	85	0,10
Pastagem	43,33	B	61.578,29	61	26,43
	2,96	C	4.211,96	74	2,19

Tabela 31 - Curva número das classes de uso e cobertura do solo para a sub-bacia do médio Guamá 2.

Uso do Solo	% de solo	Grupo Hidrológico	Área (ha)	CN	CN Médio por Classe
Área Vegetada	23,89	B	45.661,02	55	13,14
	9,81	C	18.747,09	70	6,87
	1,32	D	2.535,51	77	1,02
Solo Descoberto	0,50	B	954,12	86	0,43
	0,20	C	380,86	91	0,18
	0,01	D	17,49	94	0,01
Áreas de Ocupações	0,14	B	265,86	65	0,09
	0,16	C	297,51	77	0,12
	0,0002	D	0,46	84	0,00
Agricultura	6,33	B	12.088,60	78	4,93
	0,04	C	79,41	85	0,04
Pastagem	40,72	B	77.831,24	61	24,84
	7,45	C	14.235,19	74	5,51
	3,02	D	5.782,54	80	2,42

Tabela 32 - Curva número das classes de uso e cobertura do solo para a sub-bacia do igarapé Mãe do Rio.

Uso do Solo	% de solo	Grupo Hidrológico	Área (ha)	CN	CN Médio por Classe
Área Vegetada	23,74	B	36.854,29	55	13,06
	0,33	C	505,28	70	0,23
Solo Descoberto	0,69	B	1.068,35	89	0,61
	0,001	C	2,28	92	0,00
Áreas de Ocupações	0,72	B	1.119,61	65	0,47
	0,0002	C	0,30	80	0,00
Agricultura	5,88	B	9.129,04	78	4,59
	0,003	C	4,87	85	0,00
Pastagem	67,18	B	104.289,64	61	40,98
	0,33	C	522,01	74	0,25

Tabela 33 - Curva número das classes de uso e cobertura do solo para a sub-bacia do alto Guamá.

Uso do Solo	% de solo	Grupo Hidrológico	Área (ha)	CN	CN Médio por Classe
Área Vegetada	28,34	B	93.979,09	55	15,59
	0,74	C	2.464,93	70	0,52
Solo Descoberto	0,80	B	2.662,66	82	0,66
	0,01	C	34,68	87	0,01
Áreas de Ocupações	0,43	B	1.431,72	65	0,28
	0,01	C	24,79	77	0,01
Agricultura	6,20	B	20.557,83	78	4,84
	0,33	C	1.112,92	85	0,29
Pastagem	61,11	B	202.651,35	61	37,27
	0,47	C	1.556,44	74	0,35

Tabela 34 - Curva número das classes de uso e cobertura do solo para a sub-bacia do rio Sujo.

Uso do Solo	% de solo	Grupo Hidrológico	Área (ha)	CN	CN Médio por Classe
Área Vegetada	31,49	B	14.489,05	55	17,32
	0,94	C	429,83	70	0,65
	4,62	D	2.127,42	77	3,56
Solo Descoberto	0,45	B	204,87	86	0,38
	0,003	C	1,83	91	0,00
	0,01	D	5,48	94	0,01
Áreas de Ocupações	0,20	B	91,10	65	0,13
	0,001	C	0,46	79	0,00
Agricultura	2,34	B	1.074,59	78	1,82
	0,10	C	46,69	85	0,09
Pastagem	54,37	B	25.018,78	61	33,17
	0,10	C	44,11	74	0,07
	1,52	D	698,59	80	1,21

A partir deste enquadramento, foram obtidos os valores de CN por classe de uso e cobertura do solo. Estes valores representam a altura do escoamento, ou seja, quanto maior o valor se CN, maior será o escoamento superficial e menor a infiltração (USDA, 2012). Em seguida, foi calculado o valor para a capacidade máxima de retenção (S) para cada classe, a qual significa a quantidade de água armazenada na composição solo por tipo de uso e cobertura para cada sub-bacia, além dos valores de perdas iniciais ocorridas ( $I_a$ ) (Tabela 35).

Tabela 35 - Valores de CN médio, capacidade máxima de retenção e perdas iniciais para cada classe de uso e cobertura do solo das sub-bacias.

Sub-bacia	Classes de Uso e Cobertura	(continua)		
		CN (mm)	S (mm)	$I_a$ (mm)
Sub-bacia do Baixo Guamá	Área Vegetada	32,94	517,14	103,43
	Pastagem	16,19	1.315,33	263,07
	Agricultura	3,56	6.884,39	1.376,88
	Áreas de Ocupações	1,41	17.760,85	3.552,17
	Solo Descoberto	0,65	39.095,91	7.819,18
Sub-bacia do Igarapé Apeú	Pastagem	26,86	691,81	138,36
	Área Vegetada	22,21	889,81	177,96
	Agricultura	4,71	5.138,27	1.027,65
	Áreas de Ocupações	2,07	12.000,44	2.400,09
	Solo Descoberto	0,77	32.697,04	6.539,41
Sub-bacia do Rio Bujarú	Área Vegetada	30,67	574,04	114,81
	Pastagem	18,60	1.111,66	222,33
	Agricultura	7,57	3.102,19	620,44
	Solo Descoberto	0,63	40.151,71	8.030,34
	Áreas de Ocupações	0,41	61.135,05	12.227,01

Tabela 35 - Valores de CN médio, capacidade máxima de retenção e perdas iniciais para cada classe de uso e cobertura do solo das sub-bacias.

Sub-bacia	Classes de Uso e Cobertura	(conclusão)		
		CN (mm)	S (mm)	I <sub>a</sub> (mm)
Sub-bacia do Médio Guamá 1	Pastagem	28,62	633,49	126,70
	Área Vegetada	21,92	904,96	180,99
	Agricultura	4,03	6.051,30	1.210,26
	Áreas de Ocupações	0,47	53.455,51	10.691,10
	Solo Descoberto	0,41	61.011,81	12.202,36
Sub-bacia do Médio Guamá 2	Pastagem	32,77	521,07	104,21
	Área Vegetada	21,03	954,00	190,80
	Agricultura	4,97	4.858,16	971,63
	Solo Descoberto	0,62	40.764,44	8.152,89
	Áreas de Ocupações	0,21	120.428,46	24.085,69
Sub-bacia do Igarapé Mãe do Rio	Pastagem	41,23	362,10	72,42
	Área Vegetada	13,28	1.657,99	331,60
	Agricultura	4,59	5.280,49	1.056,10
	Solo Descoberto	0,61	41.125,82	8.225,16
	Áreas de Ocupações	0,47	53.911,83	10.782,37
Sub-bacia do Alto Guamá	Pastagem	37,62	421,14	84,23
	Área Vegetada	16,11	1.323,05	264,61
	Agricultura	5,12	4.706,60	941,32
	Solo Descoberto	0,67	37.800,81	7.560,16
	Áreas de Ocupações	0,29	88.443,29	17.688,66
Sub-bacia do Rio Sujo	Pastagem	34,45	483,22	96,64
	Área Vegetada	21,53	925,57	185,11
	Agricultura	1,91	13.059,14	2.611,83
	Solo Descoberto	0,40	63.609,10	12.721,82
	Áreas de Ocupações	0,13	195.903,48	39.180,70

Por meio destes valores, pode-se observar que as sub-bacias do rio Bujarú e do baixo Guamá, apresentaram maiores valores de CN para a classe área vegetada enquanto que as demais sub-bacias apresentaram maiores valores a classe pastagem, isso demonstra uma tendência em relação à área, ou seja, os maiores valores de CN foram relativos à maior área de uma determinada classe dentro das sub-bacias.

Podem ser notados também os altos valores da capacidade máxima de retenção e de perdas iniciais principalmente para as os tipos de uso voltados aos solos descobertos e áreas de ocupação, que estão relacionados à reduzida área que estes ocupam nas sub-bacias em relação aos outros usos.

Para a aplicação do cálculo do escoamento foi necessário obter os dados referentes à precipitação de cada sub-bacia, para isto, foram obtidos os valores das médias mensais das

estações selecionadas, onde pode ser observada a distinção característica dos períodos chuvoso e menos chuvoso (Figura 20) e, em seguida, obtidos os valores da média anual de cada estação para a aplicação da metodologia de polígonos de Thiessen no intuito de obter a média ponderada pelas áreas das sub-bacias (Figura 21), assim como em trabalhos elaborados por Pruski et al. (2004) e Gomig, Linder e Kobiyama (2007).

Pode-se observar na Figura 20 que todas as estações selecionadas apresentam um padrão para a precipitação, onde os meses de dezembro a maio são classificados como o período chuvoso e os meses de junho a novembro caracterizam-se como o menos chuvoso. Esta análise implica na percepção de como a bacia do rio Guamá apresenta características similares quanto a variável periodicidade de chuva.

Figura 20 - Distribuição da média mensal da precipitação das estações analisadas.

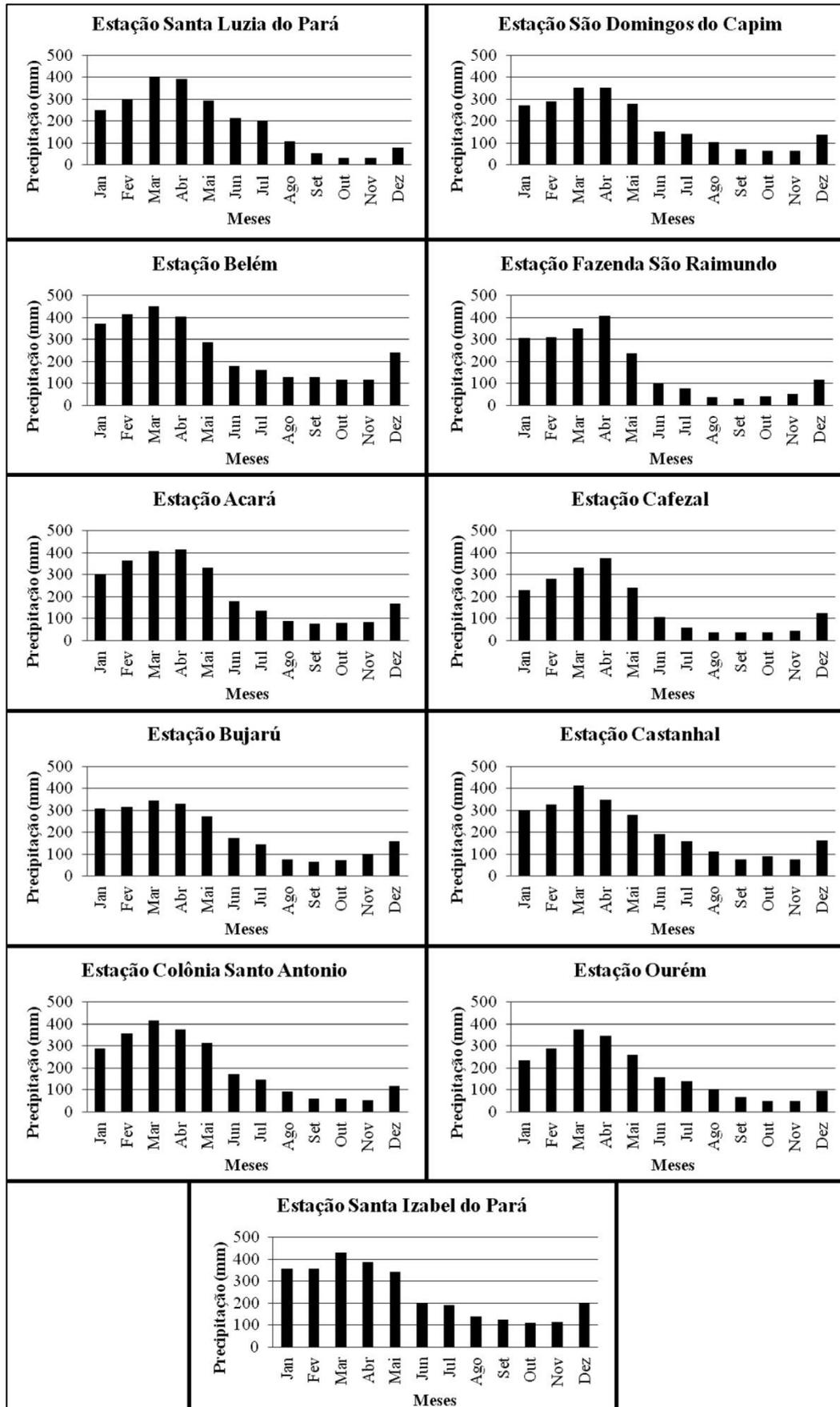
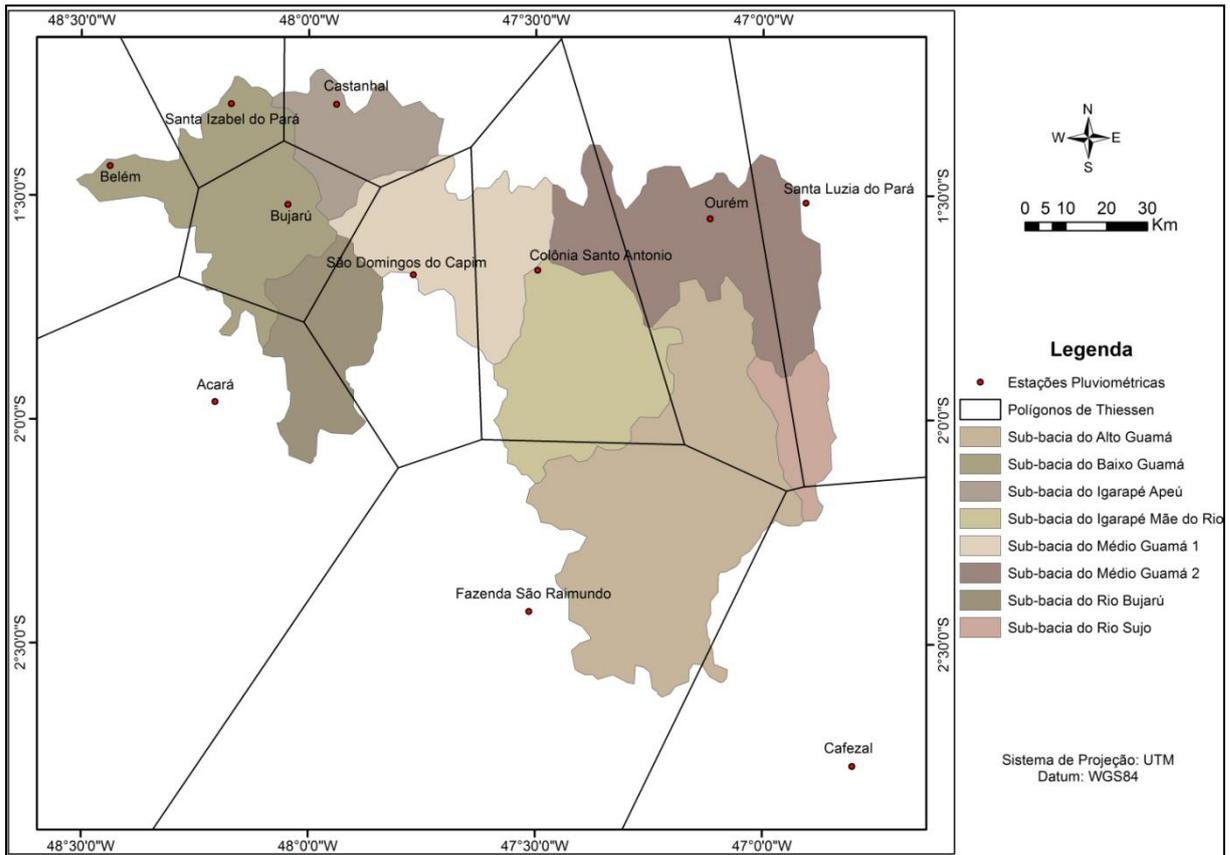


Figura 21 - Distribuição dos polígonos de Thiessen para as sub-bacias.



A partir da formação dos polígonos foi obtido o valor de precipitação média anual para cada sub-bacia (Tabela 36). No Apêndice A, são apresentados os atributos para a obtenção da precipitação média por sub-bacia. As sub-bacias que obtiveram maiores valores de precipitação foram as do baixo Guamá e do rio Bujarú (apresentam mais de 50% de cobertura vegetal), enquanto as que obtiveram menores valores foram a do alto Guamá e do rio Sujo.

Tabela 36 - Precipitação média anual por sub-bacia.

Sub-bacia	Precipitação (mm)
Baixo Guamá	2.642,59
Rio Bujarú	2.462,78
Igarapé Apeú	2.425,84
Igarapé Mãe do Rio	2.392,43
Médio Guamá 1	2.331,86
Médio Guamá 2	2.224,02
Rio Sujo	2.179,63
Alto Guamá	2.066,94

De posse dos dados referentes à precipitação média, das perdas iniciais e da capacidade máxima de retenção, foi realizado o cálculo do escoamento superficial para cada

uma das classes de uso e cobertura do solo das sub-bacias, conforme os resultados presentes na Tabela 37.

Tabela 37 - Escoamento superficial por classe de uso e cobertura para cada sub-bacia.

<b>Sub-bacia</b>	<b>Classes de Uso e Cobertura</b>	<b>Escoamento (mm)</b>
Sub-bacia do Baixo Guamá	Área Vegetada	1.610,41
	Pastagem	1.756,31
	Agricultura	299,08
	Solo Descoberto	0,00
	Áreas de Ocupações	0,00
Sub-bacia do Igarapé Apeú	Pastagem	2.205,78
	Área Vegetada	2.048,87
	Agricultura	498,79
	Áreas de Ocupações	19,78
Sub-bacia do Rio Bujarú	Solo Descoberto	0,00
	Área Vegetada	1.886,70
	Pastagem	1.497,45
	Agricultura	686,46
Sub-bacia do Médio Guamá 1	Solo Descoberto	0,00
	Áreas de Ocupações	0,00
	Agricultura	175,38
	Área Vegetada	1.513,90
	Pastagem	1.713,04
Sub-bacia do Médio Guamá 2	Áreas de Ocupações	0,00
	Solo Descoberto	0,00
	Agricultura	256,68
	Área Vegetada	1.383,89
	Pastagem	1.701,55
Sub-bacia do Igarapé Mãe do Rio	Áreas de Ocupações	0,00
	Solo Descoberto	0,00
	Agricultura	269,88
	Área Vegetada	1.142,03
	Pastagem	2.006,80
Sub-bacia do Alto Guamá	Áreas de Ocupações	0,00
	Solo Descoberto	0,00
	Agricultura	217,25
	Área Vegetada	1.039,36
	Pastagem	1.635,36
Sub-bacia do Rio Sujo	Áreas de Ocupações	0,00
	Solo Descoberto	0,00
	Área Vegetada	1.362,32
	Pastagem	1.690,76
Sub-bacia do Rio Sujo	Agricultura	0,00

Como notado nos valores de CN, o escoamento teve uma tendência em relação à área de cada classe de uso, sendo quanto maior a área maior o escoamento, ou seja, as classes referentes a pastagem e as áreas vegetadas foram as que obtiveram resultados mais significativos para esta variável. Sendo assim, a sub-bacia do igarapé Apeú, obteve maior valor de escoamento em sua classe pastagem, enquanto que a sub-bacia do baixo Guamá obteve maiores valores de escoamento nas áreas vegetadas.

Para a análise de escoamento superficial nas sub-bacias como um todo, foi feita uma média em relação aos valores de escoamento por classe de uso, obtendo assim, valores gerais para cada uma destas (Tabela 38).

Tabela 38 - Escoamento superficial médio por sub-bacia.

<b>Sub-bacia</b>	<b>Q (mm)</b>
Rio Bujarú	814,12
Baixo Guamá	767,70
Igarapé Apeú	733,17
Médio Guamá 1	680,46
Igarapé Mãe do Rio	683,74
Médio Guamá 2	668,42
Rio Sujo	610,62
Alto Guamá	578,39

O escoamento superficial das sub-bacias varia entre 28 a 33% dos valores de precipitação incidente, sendo que a sub-bacia que obteve maior resultado foi a do rio Bujarú e a que teve menor representatividade foi a do alto Guamá, a primeira possui a classe áreas vegetadas como predominante e a segunda a classe de pastagem na sua paisagem. Há na literatura relatos de resultados que foram super ou subestimados ao se utilizar o método Curva Número (MELLEK, 2015). Nesta pesquisa, os valores de escoamento foram menores, e por isso, subestimaram os valores de precipitação.

Grande maioria da área da bacia do rio Guamá é composta por Latossolo Amarelo, solos que se caracterizam como profundos, porosos e com grande textura, além de uma moderada taxa de infiltração e resistência e tolerância à erosão, contribuindo para os valores medianos de escoamento em todas as sub-bacias. Essas condições contribuem para a fertilidade do solo, pois quanto menor for o escoamento, menor será o arraste da fração granulométrica mais fina do solo (FEITOSA et al., 2010).

Araújo Neto et al. (2012) apresentaram a importância de ter áreas vegetadas ao longo das bacias hidrográficas pois as mesmas contribuem para a redução do escoamento superficial

e a vegetação característica de pastagem, as gramíneas, favorecem a infiltração, mesmo em menor escala, contribuindo também como justificativa dos baixos valores de escoamento obtidos para as sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Guamá.

Considerando o apresentado na análise de agrupamento de métricas e o observado na Tabela 38 no que se refere ao possível escoamento influenciado pela área vegetada, observa-se que houve correspondência, porém com maior isolamento do alto Guamá das demais sub-bacias e maior aproximação do comportamento das sub-bacias do baixo Guamá e rio Bujarú.

#### 6.4 Análise dos dados sociais

Para a análise dos dados sociais foram selecionados parâmetros relacionados aos municípios que compõem a bacia do rio Guamá, como o índice de desenvolvimento humano municipal, o índice de Gini e dois índices do Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento, relacionados ao abastecimento de água e o consumo da mesma (Tabela 39).

Tabela 39 - Variáveis para a análise social dos municípios.

Município	IDHM	GINI	Índice de consumo de água	Índice de atendimento total de água	Média por município
Acará	0,506	0,536	1,00	0,24	0,57
Ananindeua	0,718	0,535	0,55	0,27	0,52
Belém	0,746	0,628	0,51	0,91	0,70
Benevides	0,665	0,492	1,00	0,56	0,68
Bonito	0,546	0,512	*	*	0,53
Bujarú	0,552	0,538	*	*	0,55
Capitão Poço	0,548	0,584	0,55	0,20	0,47
Castanhal	0,673	0,556	0,49	0,33	0,51
Concórdia do Pará	0,566	0,506	0,39	0,48	0,49
Garrafão do Norte	0,526	0,545	1,00	0,73	0,70
Inhangapi	0,572	0,526	0,50	0,18	0,45
Irituia	0,559	0,587	0,97	0,61	0,68
Mãe do Rio	0,599	0,589	0,97	0,48	0,66
Marituba	0,676	0,448	0,53	0,15	0,45
Ourém	0,568	0,631	0,53	0,11	0,46
Santa Izabel do Pará	0,659	0,523	0,47	0,55	0,55
Santa Luzia do Pará	0,546	0,569	0,54	0,09	0,44
São Domingos do Capim	0,532	0,606	0,96	0,22	0,58
São Miguel do Guamá	0,591	0,532	*	*	0,56

\*Não existem informações referentes ao índice.

Com relação ao índice de desenvolvimento humano dos municípios, observa-se que a grande maioria dos municípios se apresentam com baixo desenvolvimento humano (0,500 a

0,599), 5 municípios apresentaram condições médias (0,600 a 0,699) e apenas 2 municípios possuem alto desenvolvimento humano (0,700 a 0,799), segundo o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (2013).

Para este índice, pode-se perceber que os municípios inseridos na região metropolitana de Belém (RMB) obtiveram melhores resultados, com destaque para Belém (0,746) e Ananindeua (0,718), municípios que apresentam maior qualidade nas questões relacionadas a educação, apresentando, segundo o censo demográfico 2010, as menores taxas de analfabetismo em relação a todo o estado do Pará, além de obterem uma maior qualidade de vida devido a maior facilidade de acesso aos serviços básicos como saúde, educação, moradia e transporte.

Os municípios que apresentaram menores índices relacionados ao IDHM foram: Acará, Garrafão do Norte e São Domingos do Capim. Esses municípios, segundo o último censo, possuem uma taxa de analfabetismo superior a 30%, sendo que mais da metade da população desses municípios estão localizadas nas zonas rurais, as quais apresentam pouco ou nenhum serviço relacionado à saúde e educação que são setorizados nas áreas urbanas dos municípios, diminuindo assim a qualidade de vida dos mesmos, sendo classificados como municípios de baixo desenvolvimento humano (PARÁ, 2010).

O índice de Gini, o qual mede o grau de concentração de renda, é considerado inversamente proporcional ao IDHM de acordo com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (2013), sendo que quanto menor o IDHM, maior será o índice de Gini.

Os municípios que se mostraram com a melhor distribuição de renda entre a população, foram Marituba e Benevides, dois municípios consideráveis relativamente pequenos em sua extensão, comparados a outros municípios paraenses, e com população que soma aproximadamente 160.000 habitantes, segundo o último censo IBGE de 2010. Estes municípios têm a base de sua economia concentrada nos setores de indústria e serviços (transporte, comunicação, administração pública, dentre outros), e PIB *per capita* de 9.794,97 e 16.852,90 reais respectivamente (BRASIL, 2010).

Já os municípios que apresentaram maior concentração de renda em uma menor parcela da população, foram Ourém, Belém e São Domingos do Capim. O município de Belém concentra 31,97% de sua população abaixo da linha de pobreza, já os municípios de Ourém e São Domingos do Capim, concentram aproximadamente 70% da sua população neste mesmo quadro, ou seja, famílias que apresentam rendimentos mensais abaixo de 77 reais por pessoa.

Estes dois últimos apresentam a agropecuárias e serviços como os principais setores da economia, enquanto Belém se caracteriza com a presença dos setores de serviços e indústria.

Levando em consideração o índice de consumo de água, nota-se que os municípios que se destacaram ao não obter perdas na distribuição foram: Garrafão do Norte, Acará e Benevides. É importante ressaltar que estes dados são coletados na base de informações do SNIS, a qual é declaratória, ou seja, as prefeituras dos municípios que disponibilizam as mesmas e, como os municípios que se destacaram apresentam as prefeituras como responsáveis pela distribuição de água para a população, este dado pode estar superestimado, o que pode gerar uma tendência de que as mesmas apresentem ou não melhores ferramentas para executar este serviço de maneira mais eficiente.

Já os municípios de Concórdia do Pará, Santa Isabel do Pará e Castanhal apresentam menos de 50% na eficiência de distribuição de água para a população, sendo considerados os municípios que mais desperdiçam este recurso. Os responsáveis pela distribuição destes são respectivamente a prefeitura municipal de Concórdia do Pará, o serviço autônomo de água e esgotos – SAAE, e a prefeitura de Castanhal juntamente com a companhia de saneamento do Pará – COSANPA.

Em geral, os municípios apresentam um total significativo de perdas na distribuição, sendo que 10 municípios apresentam valores abaixo dos 60% de distribuição, e três municípios não possuem informações quanto ao abastecimento, sendo eles Bujarú, Bonito e São Miguel do Guamá.

Para o índice de atendimento total de água foi observado que estes mesmos municípios (Bujarú, Bonito e São Miguel do Guamá) também não possuem informações para análise. 11 dos 19 municípios apresentaram dados que indicam que menos de 50% da população possui distribuição de água, ou seja, a maioria destes é abastecida por um sistema de poços residenciais (BRASIL, 2010).

Os municípios que possuem uma rede de distribuição que atende um maior número de indivíduos são Belém, Garrafão do Norte e Irituia, os quais abastecem mais de 60% de sua população, sendo que as prefeituras destes dois últimos são responsáveis pela distribuição de água, enquanto Belém possui três instituições encarregadas, a COSANPA, Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém – SAAEB e a Secretaria Municipal de Saneamento – SESAN.

De maneira geral, os municípios que mais se destacaram apresentando melhores representações do indicador social são Garrafão do Norte (0,70), Belém (0,70), Irituia (0,68) e Benevides (0,68). Já os municípios que apresentaram valores com menor expressividade

levando em consideração a média foram Santa Luzia do Pará (0,44), Inhangapi (0,45) e Marituba (0,45).

É importante destacar a necessidade da realização de investimentos relacionados à qualidade de vida da população, levando em consideração ações e medidas que sejam eficientes na melhoria da distribuição de serviços que são considerados básicos, além de gerar novas oportunidades de renda, contribuindo assim para a conservação dos recursos naturais e potencialização as atividades socioeconômicas.

A partir destes valores médios por município, foram obtidos resultados para os indicadores sociais das sub-bacias (Tabela 40), sendo realizada por meio da média ponderada, onde foram levadas em consideração as áreas dos municípios em relação as suas respectivas sub-bacias (detalhamento destes dados encontra-se no Apêndice B).

Tabela 40 - Indicador social por sub-bacia.

<b>Sub-bacia</b>	<b>Indicador Social</b>
Igarapé Mãe do Rio	0,66
Médio Guamá 1	0,57
Alto Guamá	0,57
Rio Sujo	0,56
Baixo Guamá	0,55
Rio Bujarú	0,51
Igarapé Apeú	0,49
Médio Guamá 2	0,48

Observa-se que a sub-bacia que possui maior destaque em relação a este indicador é a do Igarapé Mãe do Rio, com valor de 0,66. Esta é composta pelos municípios de Capitão Poço, São Domingos do Capim, Irituia e Mãe do Rio, que se destacam principalmente com relação ao abastecimento de água.

E a sub-bacia que menos se destaca é a do médio Guamá 2, com valor de 0,48, composta pelos municípios de Bonito, Capitão Poço, Irituia, Ourém, Santa Luzia do Pará e São Miguel do Guamá, sendo que dois destes não possuíam informações referentes a dois dos índices analisados e outros dois municípios apresentam baixos valores com relação ao indicador social geral.

## 6.5 Análise dos dados de gestão

A análise da gestão dos municípios foi realizada a partir da média dos valores obtidos por meio da atribuição do peso para cada variável analisada (detalhes numéricos no Apêndice C). E a partir desta foi gerado um valor referente ao indicador de gestão para cada município, como pode ser observado na Tabela 41.

Tabela 41 - Indicadores de gestão por município.

<b>Municípios</b>	<b>Indicador de Gestão</b>	<b>Municípios</b>	<b>Indicador de Gestão</b>
Bonito	0,06	Marituba	0,48
Bujarú	0,19	Acará	0,54
São Domingos do Capim	0,19	Santa Izabel do Pará	0,56
Inhangapi	0,21	Ourém	0,60
Benevides	0,23	Ananindeua	0,62
Garrafão do Norte	0,23	Concórdia do Pará	0,75
Santa Luzia do Pará	0,29	São Miguel do Guamá	0,75
Capitão Poço	0,35	Castanhal	0,90
Mãe do Rio	0,35	Belém	0,94
Irituia	0,38		

A partir destes dados, pode-se observar que a maioria dos municípios apresentam valores abaixo de 0,50, o que significa que os mesmos possuem uma gestão ambiental fragilizada, o que também reflete da gestão dos recursos hídricos. Estes municípios apresentaram a existência de poucas características elencadas, as quais contribuem para a maior eficiência ou não no processo de gestão.

Por exemplo, o município de Bonito, o qual obteve menor valor referente a esse indicador, apresentou apenas uma característica relevante para a gestão, das 13 elencadas na Tabela 08, representada apenas pelo grau de cobertura pelo cadastro ambiental rural – CAR. Enquanto o município de Belém, que obteve o maior valor, teve todos os requisitos atendidos.

Com exceção do município de Bonito, todos os outros municípios possuem secretaria municipal de meio ambiente, sendo que em 5 destes (São Domingos do Capim, Santa Luzia do Pará, Mãe do Rio, Capitão Poço e Benevides) estas são associadas a outras secretarias, como a de agricultura e turismo.

Apenas os municípios de Belém e Castanhal possuem o Plano Municipal de Saneamento Básico, instituídos no ano de 2014. Porém todas as prefeituras deveriam ter

elaborado os seus planos, já que segundo a Lei de Saneamento Básico (Lei n.º 11.445/2007), institui a obrigatoriedade do mesmo.

Em geral, os municípios pertencentes à bacia hidrográfica do rio Guamá, precisam fortalecer as ações voltadas para a gestão ambiental no intuito manter a conservação dos recursos naturais, contribuindo também para o aumento na qualidade de vida da população. Investimentos na área ambiental, em municípios onde as condições de gestão são incipientes, devem ser destinados a ações mais pontuais e prioritárias, as quais oferecem um ganho ambiental em longo prazo, como por exemplo, investimento em ações simples de educação ambiental, a qual é capaz de contribuir para a mudança do posicionamento da população em relação à temática ambiental. Essas ações são fundamentais para o fortalecimento do município como um todo, levando em consideração a sua configuração organizacional e estratégica.

Vale lembrar que muitos destes municípios de análise nem possuem habilitação para a gestão ambiental, o que significa que os mesmos não possuem o poder de licenciar, executar ações de educação ambiental, fiscalização e regularização de todas as atividades que causem impacto ambiental local, sendo dependentes sempre de decisões ligadas ao governo do Estado do Pará (PARÁ, 2015).

Após a análise dos municípios foi realizada uma média ponderada para a obtenção dos valores de indicadores de gestão para as sub-bacias (Tabela 42), utilizando a área dos municípios em relação a estas (detalhes de cálculos no Apêndice D).

Tabela 42 - Indicador de gestão por sub-bacia.

<b>Sub-bacia</b>	<b>Indicador de Gestão</b>
Igarapé Apeú	0,62
Rio Bujarú	0,56
Médio Guamá 1	0,53
Médio Guamá 2	0,42
Baixo Guamá	0,40
Igarapé Mãe do Rio	0,37
Alto Guamá	0,29
Rio Sujo	0,26

Nota-se que a sub-bacia que apresenta maior valor quanto a este indicador é a do Igarapé Apeú, a qual compõe os municípios de Castanhal e Santa Izabel do Pará que obtiveram valores acima de 0,50 e Inhangapi que teve um baixo indicador de gestão. Já as sub-bacias do rio Sujo e do alto Guamá apresentaram os menores valores, isto se dá devido os

municípios de ambas possuem indicadores abaixo dos 0,40, caracterizando os municípios que precisam de ações mais imediatas para o fortalecimento da gestão ambiental.

## 6.6 Sustentabilidade hídrica da bacia do rio Guamá

A sustentabilidade hídrica foi calculada inicialmente por sub-bacia, onde foram enquadrados os resultados de acordo com o cada indicador: hidrológico, que leva em consideração o potencial de escoamento; ambiental, o qual consiste na porcentagem de áreas vegetadas; social, que apresenta a média ponderada dos índices analisado por município; e de gestão, que representa as características voltadas ao potencial dos municípios a esta variável (Figuras 22 a 25). Com esses resultados foi possível compará-las a partir da observação de quais destas apresentaram melhores resultados quanto a cada indicador.

Figura 22 - Classificação das sub-bacias de acordo com o indicador hidrológico.

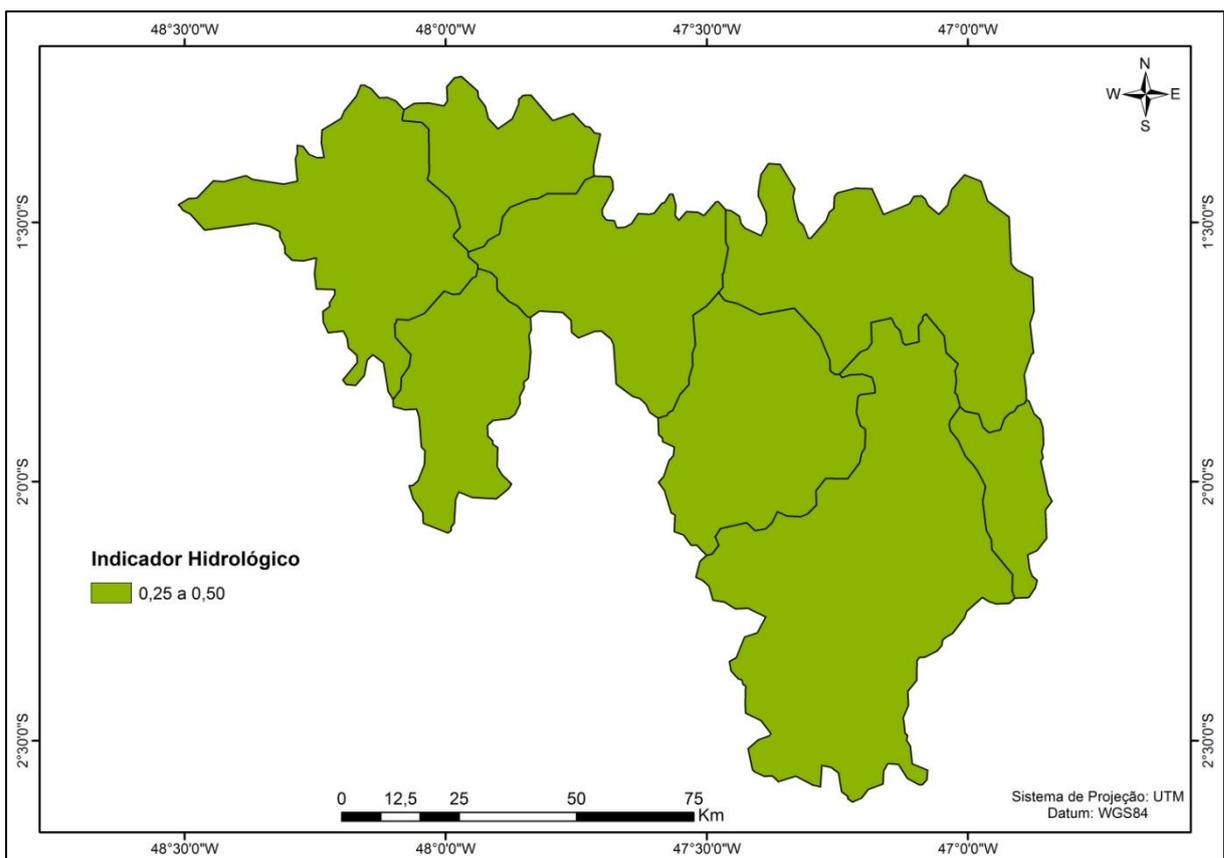


Figura 23 - Classificação das sub-bacias de acordo com o indicador ambiental.

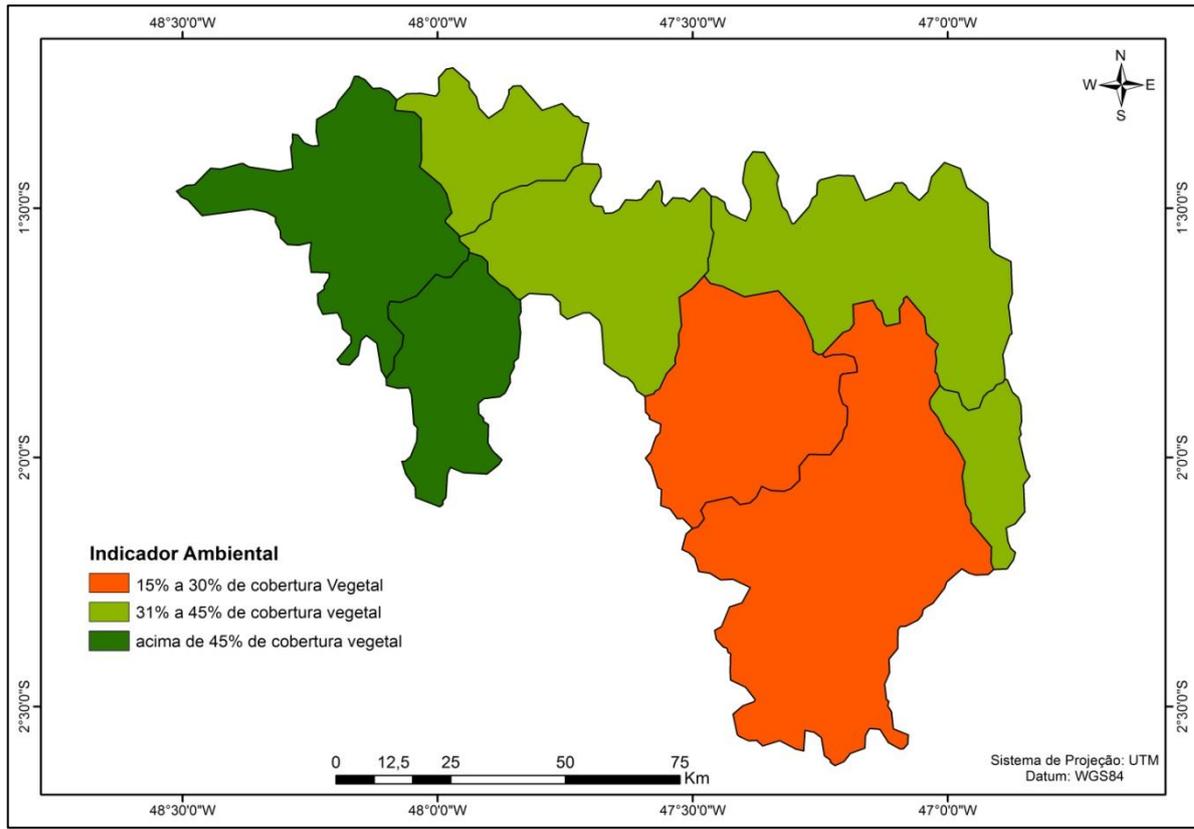


Figura 24 - Classificação das sub-bacias de acordo com o indicador social.

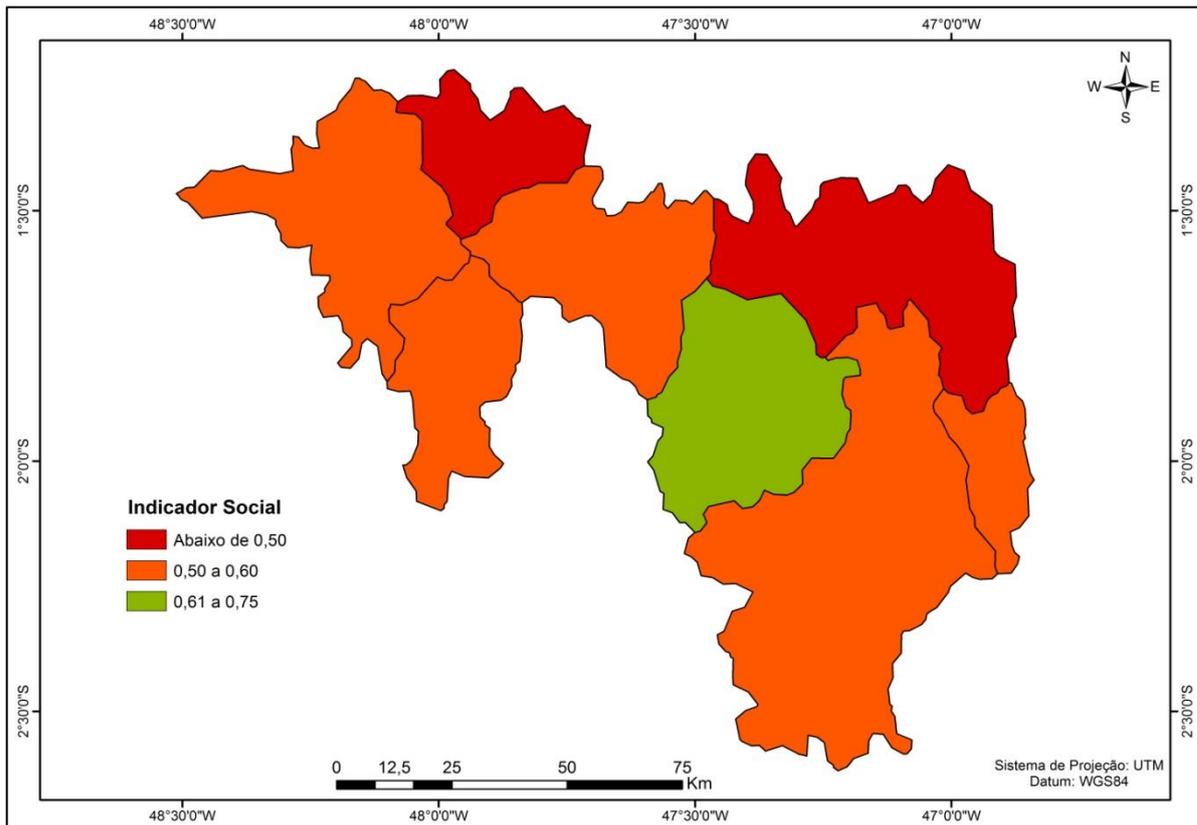
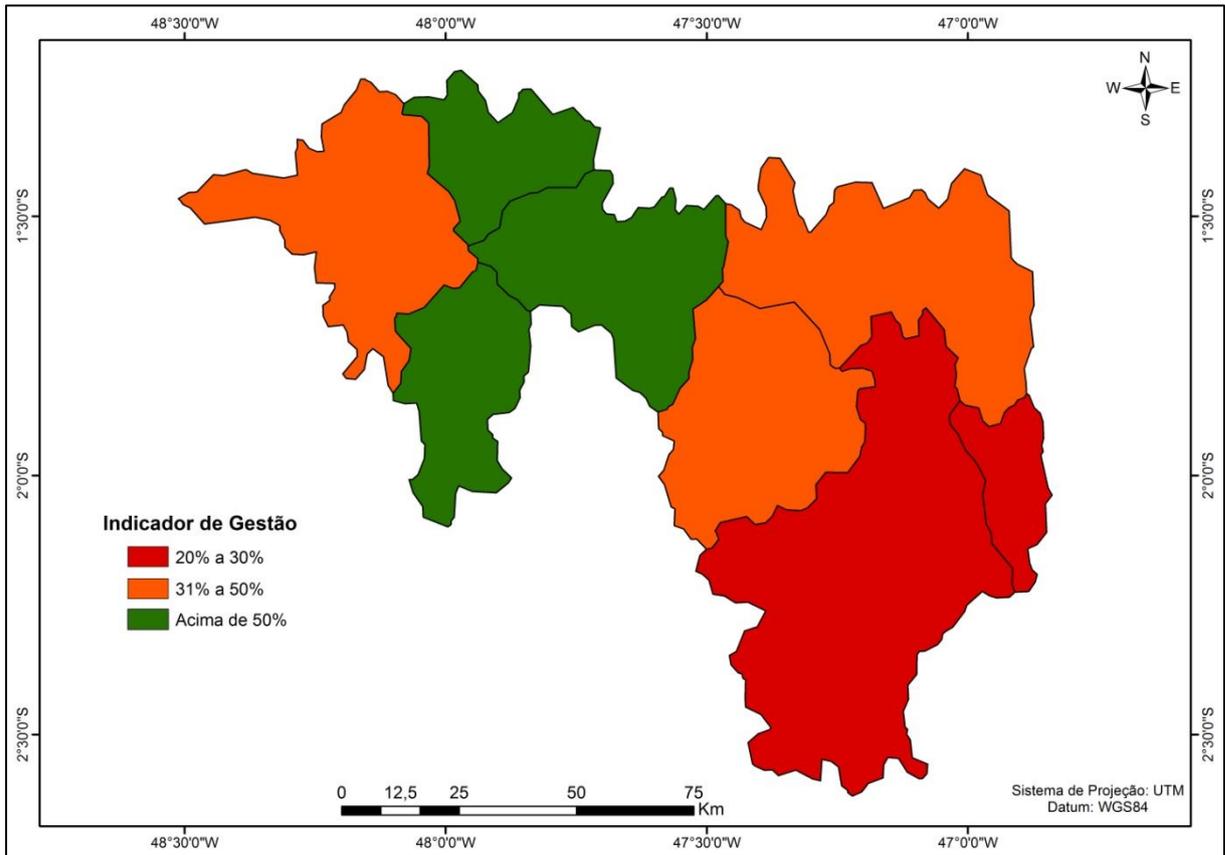


Figura 25 - Classificação das sub-bacias de acordo com o indicador de gestão.



Nota-se com relação ao indicador hidrológico que todas as sub-bacias se enquadram em uma categoria intermediária de sustentabilidade, já que elas obtiveram valores semelhantes e que variam de 0,25 a 0,50, levando em consideração o potencial de escoamento, o qual é um fator amplamente influenciado pelas condições do solo e uso e cobertura.

A estimativa do escoamento superficial é essencial para a avaliação do potencial de rendimento de água em uma bacia hidrográfica, contribuindo também para o planejamento de medidas capazes de conservar as características do solo e água, redução de processos de assoreamento e riscos de inundações (MUÑOZ-ROBLES et al., 2011).

Já para o indicador ambiental, foi observado que as sub-bacias do baixo Guamá e do rio Bujarú apresentaram-se como as que possuem maior área coberta por vegetação, sendo estas superiores a metade dos seus respectivos territórios, adequando-se a um padrão sustentável. Já as sub-bacias do igarapé Apeú, do médio Guamá 1 e 2 e do rio Sujo, foram as que apresentaram cobertura vegetal entre 31 a 45% de toda a sua área, sendo classificadas com características intermediárias para este indicador. E por fim, as sub-bacias do igarapé Mãe do

Rio e do alto Guamá, que apresentaram a menor quantidade de cobertura florestal entre as demais, representando de 15 a 30% de sua área.

A cobertura vegetal é de fundamental importância para o funcionamento de diversos processos que ocorrem em um ecossistema, como por exemplo, os processos de infiltração ou escoamento, balanço de energia, manutenção de condições do clima, dentre outros. Mudanças na cobertura vegetal causadas pelo desmatamento ou implantação de atividades agropecuárias podem acarretar diversos impactos ambientais negativos, como assoreamento de rios, compactação do solo, desencadeamento de processos erosivos, dentre outros (SILVA, 2014a).

O indicador social foi o que apresentou os piores resultados, sendo que as sub-bacias do igarapé Apeú e do médio Guamá 2 apresentaram os resultados menos significativos, obtendo valores inferiores a 0,50, o que caracteriza essas sub-bacias como insustentáveis ao ponto de vista desta variável. As sub-bacias do baixo e alto Guamá, dos rios Sujo e Bujarú e do médio Guamá 1 demonstram condições que variam de 0,50 a 0,60, tornando-as pobres de acordo com esta características. Já a sub-bacia do igarapé Mãe do Rio foi a única que apresentou características intermediárias, tendo seu valor entre 0,61 a 0,70.

Para os valores do indicador social, fica evidente a necessidade de buscar alternativas que contribuam para o melhoramento dos índices analisados, no intuito da obtenção de circunstâncias as quais apresentem uma situação ideal na qualidade de vida da população e garantia de qualidade nos serviços básicos.

Por fim, é apresentado o indicador referente à gestão das sub-bacias, sendo que as do alto Guamá e do rio Sujo apresentam os valores mais baixos, que variam de 20 a 30% de capacidade institucional, este valor reflete as condições ruins em que se encontram a gestão ambiental dos municípios constituintes. As sub-bacias do baixo Guamá, médio Guamá 2 e igarapé Mãe do Rio, se enquadraram em características boas, tendo seus valores em um intervalo de 31% a 50%, e as do igarapé Apeú, rio Bujarú e médio Guamá 1 foram as que se mostraram com melhores condições de gestão, apresentando resultados acima de 50%.

A gestão ambiental tem fundamental importância para a organização dos municípios e conseqüentemente, das sub-bacias. O investimento em ações voltadas a este critério representa uma estratégia benéfica para a manutenção das sub-bacias, além de fortalecer e conservar as relações de interdependência que ocorrem em seu território (MARTINS et al., 2010).

A sustentabilidade hídrica leva em consideração a integração de todos esses fatores, já que os mesmos, de uma maneira ou de outra se complementam e interagem. O ISH é a média

global dos quatro indicadores, como apresentado na equação 8, e a partir desta análise de indicadores, foi possível obter os valores referentes ao índice de sustentabilidade hídrica para cada sub-bacia e seus respectivos desempenhos (Tabela 43 e Figuras 26 e 27).

Tabela 43 - Índice de sustentabilidade das sub-bacias.

Sub-bacia	ISH	Desempenho
Rio Bujarú	0,69	Bom / potencialmente sustentável
Médio Guamá 1	0,63	Bom / potencialmente sustentável
Baixo Guamá	0,63	Bom / potencialmente sustentável
Igarapé Mãe do Rio	0,56	Médio / intermediário
Igarapé Apeú	0,56	Médio / intermediário
Médio Guamá 2	0,50	Médio / intermediário
Rio Sujo	0,50	Médio / intermediário
Alto Guamá	0,44	Médio / intermediário

Figura 26 - Espacialização dos valores obtidos para o ISH por sub-bacia.

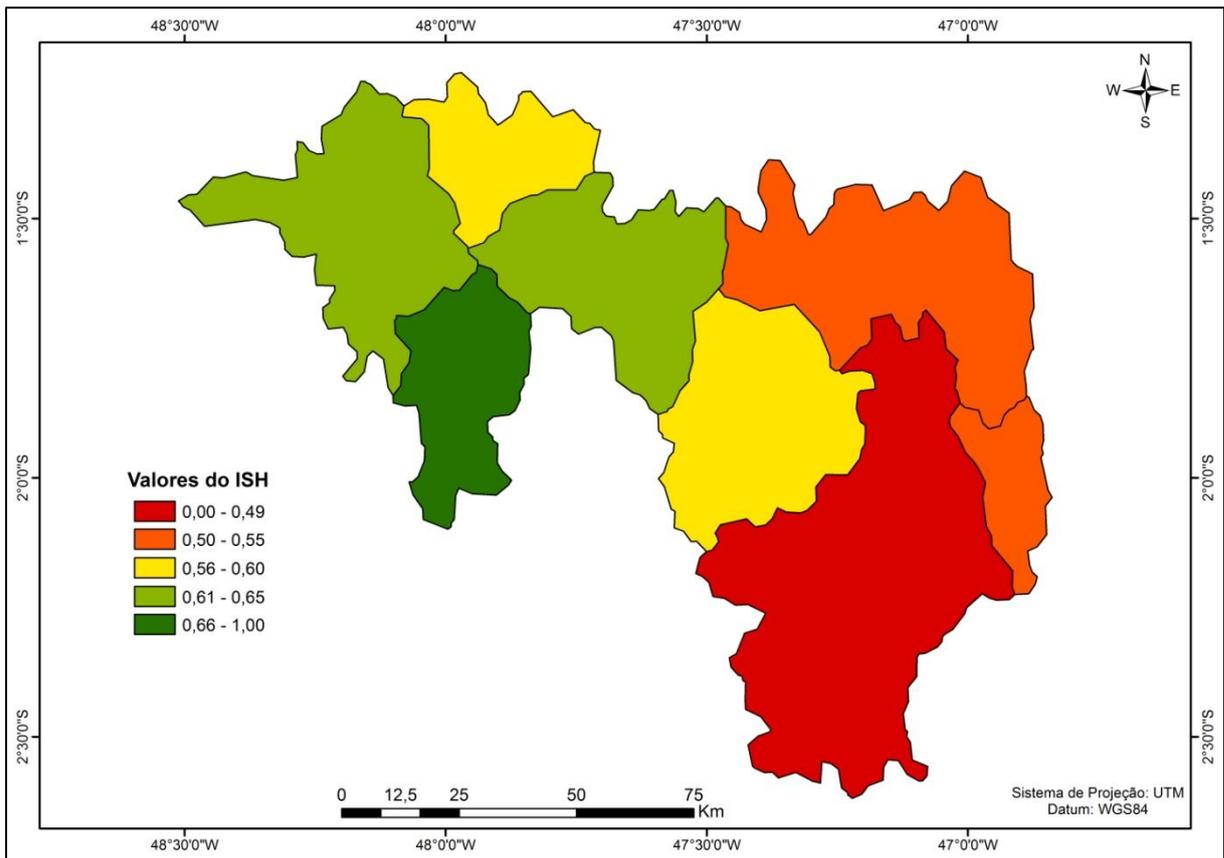
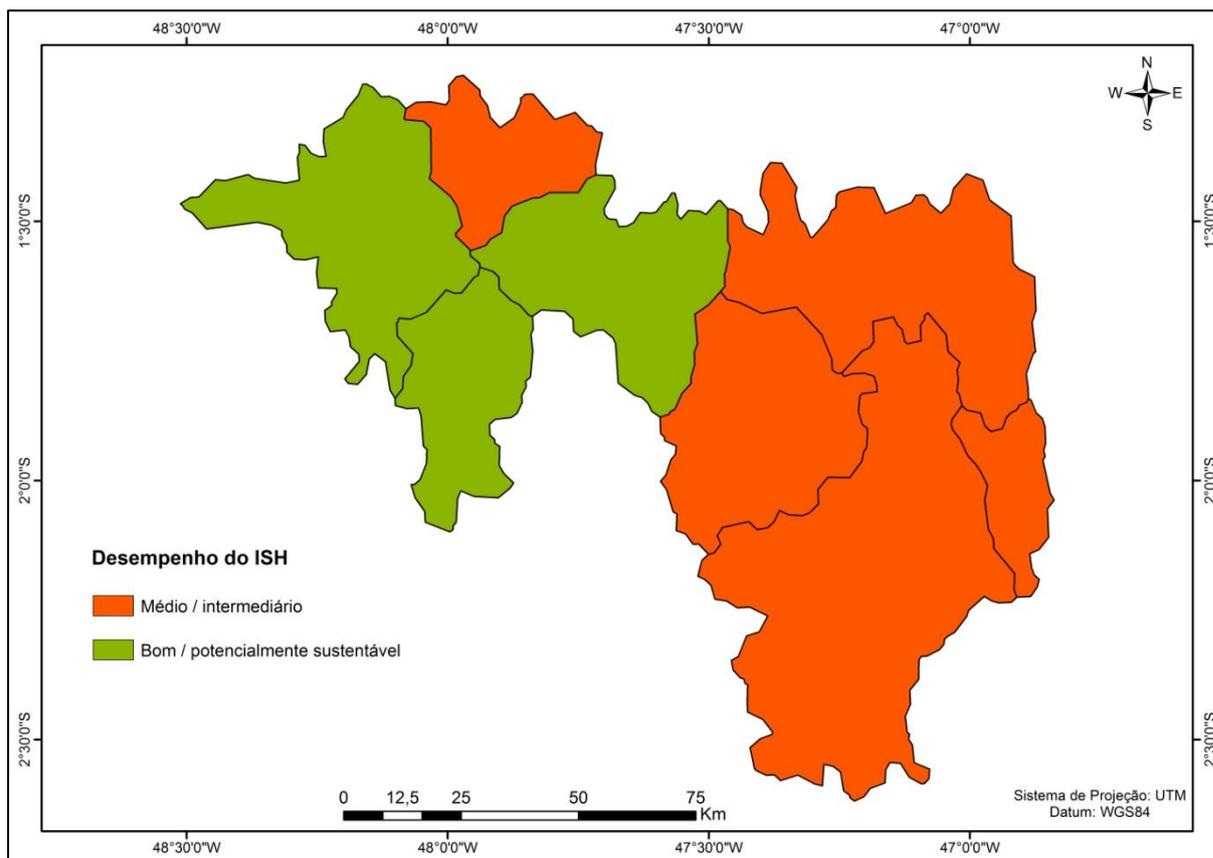


Figura 27 - Espacialização do desempenho obtido pelas sub-bacia de acordo com os valores do ISH.



No contexto geral, três sub-bacias obtiveram um desempenho potencialmente sustentável, sendo estas do baixo Guamá, do rio Bujarú e médio Guamá 1, com valores superiores a 0,60, apesar desse resultado, é importante que haja a elaboração de estratégias que sejam capazes de fortalecer os indicadores, possibilitando assim que as mesmas possam evoluir para um desempenho sustentável. O indicador que contribuiu de forma negativa para esta classificação foi o social, o que o torna prioritário diante das medidas potencializadoras para a sustentabilidade das sub-bacias.

A sub-bacia do rio Bujarú, foi a que obteve um maior valor do ISH, representado por 0,69. Este desempenho se deu devido a mesma apresentar valores máximos com relação ao enquadramento dos indicadores ambiental e de gestão, já que na mesma mais da metade de seu território possui cobertura vegetal, e a integração dos seus municípios demonstra características de uma gestão fortalecida.

Outra sub-bacia que obteve um desempenho bom quanto a sustentabilidade foi a do baixo Guamá, com 0,63. Seu indicador mais representativo foi o ambiental, pois esta, assim como a sub-bacia anterior, possui mais 50% de seu território composto por cobertura vegetal.

Outro indicador que contribuiu para esta classificação foi o de gestão, sendo que a mesma se deu num intervalo de 31 a 50% de eficiência, devido as características dos municípios pertencentes a mesma.

E a última sub-bacia que obteve um desempenho de potencialmente sustentável e também com ISH referente a 0,63, foi a do médio Guamá 1. Os indicadores mais representativos neste caso, também foram o ambiental e o de gestão, mas ao contrário da sub-bacia anterior, o que mais contribuiu para este fato foi este último, onde foi obtida a pontuação máxima para esta categoria, apresentando um potencial acima dos 50%. Já com relação a cobertura vegetal, esta se encontra com 37,76% da mesma, tendo uma característica representativa.

As demais sub-bacias apresentaram características que as classificam na faixa de desempenho como intermediárias para a sustentabilidade, apresentando valores que variam de 0,41 a 0,60, sendo assim, são as que precisam de mais investimentos e aplicações de estratégias que contribuam para que o papel das mesmas, em relação à sustentabilidade hídrica, seja ampliado.

A sub-bacia do alto Guamá foi a que apresentou menores valores em relação ao índice de sustentabilidade hídrica, sendo representado por apenas 0,44, isto se deu devido a mesma apresentar valores medianos em relação aos indicadores hidrológico, ambiental e de gestão, e pobres para o social. A maior implicação observada refere-se a sua grande extensão, sendo esta a maior sub-bacia dentre as demais e é gerida por apenas 3 municípios (Capitão Poço, Garrafão do Norte e Irituia), tornando as possíveis medidas para reverter esse cenário mais complexas.

A do médio Guamá 2 teve seu valor do ISH igual a 0,50, tendo o seu pior desempenho em relação ao indicador social com valor abaixo dos 0,50, isto se dá principalmente devido os municípios que apresentam maior representatividade espacial nesta, terem indicadores muito baixos, como por exemplo, Ourém e Capitão Poço. Com relação ao indicador de gestão, esteve em uma faixa também intermediária, a representatividade da cobertura vegetal chega a 35,02% caracterizando o indicador ambiental e um potencial de escoamento dentro da média em comparação com as demais sub-bacias.

Para a sub-bacia do Rio Sujo, foi obtido o valor de 0,50 para o ISH que também teve o indicador social como o que contribuiu negativamente para este valor. Esta é composta por pelos municípios de Garrafão do Norte, Santa Luzia do Pará e Capitão Poço, sendo que estes dois últimos apresentaram uma média baixa com relação a este indicador, mas ao contrário da

sub-bacia do alto Guamá, apresenta uma menor extensão de área, contribuindo assim para que haja uma menor complexidade com relação ao fortalecimento de indicadores. Esta sub-bacia tem seu indicador ambiental relativamente bom, com uma cobertura de 37,05% e o de gestão é mediano apesar de obter o menor desempenho entre as demais sub-bacias.

A sub-bacia do igarapé Apeú apresenta ótimos indicadores de gestão, estando acima de 50%, e um bom indicador ambiental com 39,23% de cobertura vegetal. Porém, como apresentado nas demais sub-bacias, apresentou um dos piores resultados com relação ao indicador social estando abaixo dos 0,50, obtendo um índice de sustentabilidade hídrica referente a 0,56.

E por fim a sub-bacia do igarapé Mãe do Rio, que também teve seu ISH representado por 0,56, que foi a média de um indicador ambiental que se enquadra como o pior dentre as demais sub-bacias, representando 24,07% de cobertura vegetal, um bom indicador de gestão, obtendo um valor que está na faixa entre 31 a 50% e um mediano indicador social para a sustentabilidade, sendo esta a sub-bacia que apresentou uma melhor classificação entre as demais diante deste, obtendo um valor que está entre 0,51 a 0,75. Este fato se deu pela disposição dos municípios nos limites desta e da boa avaliação destes quanto a esse indicador.

A partir desta análise, percebe-se a importância que o indicador social apresentou perante as sub-bacias contribuindo negativamente para a classificação das mesmas em relação ao índice de sustentabilidade hídrica, apresentando assim, a limitação que estas possuem diante deste parâmetro, ou seja, é exatamente esse o indicador que os gestores devem concentrar seus esforços, no intuito de aumentar a sustentabilidade de suas sub-bacias sem, entretanto, esquecer-se das outras variáveis.

Também é notável que o indicador hidrológico não contribui de maneira negativa nem positiva para a classificação das sub-bacias, já que os valores obtidos são muito similares para todas, onde enquadram-se na faixa entre 0,25 a 0,50. Apesar deste fato, não o torna irrelevante, já que é fundamental para a obtenção de uma sustentabilidade hídrica, e com isso é demonstrado que entre 25 a 35% de toda a chuva incidente na bacia é convertida em escoamento.

Os indicadores de gestão e ambiental obtiveram respostas similares ao serem enquadrados no cálculo do índice de sustentabilidade hídricas, o que não exclui a importância dos mesmos.

A partir da obtenção dos valores do ISH para cada sub-bacia, foi realizada uma média ponderada, levando em consideração as áreas das mesmas, como sugerido na metodologia

proposta por Chaves e Alipaz (2007), para obtenção do índice de sustentabilidade hídrica da bacia hidrográfica do rio Guamá como um todo. Com isso, a mesma teve um desempenho médio, obtendo o valor de 0,54.

Esse resultado evidencia a situação da bacia em relação à sustentabilidade hídrica, demonstrando a necessidade de definir programas de gestão hídrica capazes de potencializar o panorama apresentado, por meio de atuações mais responsáveis por parte das entidades reguladoras da gestão e demais setores da sociedade.

A sustentabilidade hídrica sugere as condições necessárias para que as bacias tenham condições de recarga, compatível com a demanda existente, visando sempre um consumo igual ou inferior à sua capacidade de recuperação (TAMASAUSKAS et al., 2016). Além disso, os indicadores analisados demonstram que o processo de uso e ocupação do território da bacia hidrográfica do Guamá contribui para a obtenção da sustentabilidade hídrica, já que estes exercem influência de caráter positivo ou negativo sobre a mesma.

## 7 CONCLUSÃO

Por meio do mapa de uso e cobertura do solo foi possível analisar quantitativamente, a área e número de fragmentos de vegetação e a partir dos índices de ecologia de paisagem, a composição e a configuração das áreas vegetadas foram caracterizadas. Estes índices permitiram uma melhor análise das sub-bacias da bacia do rio Guamá, quando avaliados em conjunto, permitindo assim a obtenção de um panorama mais detalhado a respeito da fragmentação florestal.

As áreas vegetadas das sub-bacias analisadas encontram-se bastante fragmentadas, devido à presença de um número elevado de pequenos fragmentos, provando assim, o grande impacto das atividades antrópicas na área de influência direta da bacia, sendo assim, é de fundamental importância a preservação dos remanescentes que são necessários para manutenção dos sistemas ecológicos.

O modelo hidrológico curva número mostrou-se eficiente para uma análise pontual dos ambientes referente aos fatores de escoamento, já que cada região possui características mais específicas voltadas a precipitação, tipos de solo, escoamento, dentre outros. Porém torna-se mais subjetivo na escolha de seus parâmetros e nas estimativas, devido a dimensão das sub-bacias e suas respectivas classes de uso e cobertura do solo.

No caso das sub-bacias da bacia do rio Guamá, o uso do solo influencia nos resultados referentes ao escoamento superficial, porém por se tratarem de extensões significativas, notou-se uma tendência de aumento desta característica em relação a área de cada classe, ou seja, nas sub-bacias em que área vegetada era a classe dominante, o escoamento era maior nessas áreas, assim como, se as áreas de pastagem foram predominantes, o escoamento também era maior nestas áreas.

Para o indicador hidrológico, as sub-bacias apresentaram um comportamento semelhante, sendo que as do igarapé Apeú e do rio Bujarú apresentaram valores mais altos quanto ao escoamento (0,33) e as do rio Sujo e alto Guamá os menores valores (0,28). Em relação ao indicador ambiental, a que mais se destacou foi a do baixo Guamá, obtendo uma cobertura vegetal de 57,87% de seu território, e a que obteve menor expressividade quanto a este fator foi a do igarapé Mãe do Rio com 24,07%. No indicador social, a sub-bacia do igarapé Mãe do Rio apresentou maior representatividade, com 0,66, e a do médio Guamá 2 com a menor (0,48). E por fim, para o indicador de gestão, as sub-bacias que obtiveram maior e menor categorização, foram a do igarapé Apeú (0,62) e do rio sujo (0,26) respectivamente.

O ISH foi mais representativo nas sub-bacias onde existe um maior escoamento superficial, maior concentração áreas vegetadas, onde a qualidade de vida foi significativa e a gestão mais fortalecida, sendo assim, os resultados obtidos indicam que as sub-bacias do baixo Guamá (0,63), do médio Guamá 1 (0,63) e do rio Bujarú (0,69) apresentam condições boas de sustentabilidade. Já as sub-bacias do alto Guamá (0,44), igarapé Mãe do Rio (0,56), rio Sujo (0,50), médio Guamá 2 (0,50) e do igarapé Apeú (0,56), encontram-se com desempenho médio. Com isso, a sustentabilidade hídrica da bacia do rio Guamá é intermediária com valor de 0,54.

Foi possível identificar que a pesquisa realizada em escala de bacia hidrográfica possibilitou a análise em conjunto dos aspectos hidrológicos, ambientais, sociais e de gestão. Considerando o contexto em que se encontra a bacia hidrográfica do rio Guamá, são necessárias medidas voltadas ao planejamento estratégico ligado à gestão e manejo da mesma, onde os gestores e demais setores da sociedade devem trabalhar de maneira mais eficiente para minimizar as pressões sobre a vegetação remanescente, para reforçar a capacidade institucional, e para melhorar a qualidade dos recursos e de vida da população, com o intuito de melhorar a sustentabilidade da bacia como um todo.

## REFERÊNCIAS

- AMARAL, A. B.; RIOS, A. S. Geoprocessamento: mapeamento do uso e ocupação do solo no alto curso do Rio Piedade. **Revista de Geografia**, Uberlândia/MG, v. 2, n. 1, p. 1-8, 2012.
- ARAÚJO NETO, J. R.; PALÁCIO, H. A. Q.; ANDRADE, E. M.; SANTOS, J. C. N.; PINHEIRO, E. A. R. Otimização do número de curva (CN-SCS) para diferentes manejos na região semiárida, Ceará, Brasil. **Irriga**, Botucatu/SP. Edição especial, p. 264-279, 2012.
- BARROSO, D. F. R.; FIGUEIREDO, R. O.; PIRES, C. S. Avaliação da sustentabilidade ambiental de sistemas agropecuários em microbacias do nordeste paraense a partir de parâmetros físico-químicos. **Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Pará**, Belém/PA, v. 2, n. 2, p. 1-12, 2015.
- BEZERRA, C. G. **Estudo da fragmentação florestal e ecologia da paisagem na sub-bacia do Córrego Horizonte, Alegre, ES**. 2010. 55 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro/ES, 2010.
- BEZERRA, C. G.; SANTOS, A. R.; PIROVANI, D. B.; PIMENTEL, L. B.; EUGENIO, F. C. Estudo da fragmentação florestal e ecologia da paisagem na sub-bacia hidrográfica do córrego horizonte, Alegre, ES. **Espaço & Geografia**, Brasília/DF, v. 14, n. 2, p. 257-277, 2011.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Manual técnico de uso da terra: manuais técnicos em geociências**. Brasília, DF: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2013. 171 p.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 09 de Setembro de 2015.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo agropecuário 2006**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>>. Acesso em: 23 de Agosto de 2016.
- BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Introdução ao geoprocessamento**. 2013. Disponível em: <[http://www.dsr.inpe.br/intro\\_sr.htm](http://www.dsr.inpe.br/intro_sr.htm)>. Acesso em 15 de Julho de 2015.
- BRASIL. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). **Atlas do desenvolvimento humano nas regiões metropolitanas brasileiras**. Brasília, DF, 2014.
- BRASIL. Sistema nacional de informações sobre o saneamento (SNIS). **Séries históricas**. 2010. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/>>. Acesso em: 28 de setembro de 2016.
- BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C., GUERRA, A. J. T. (orgs). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 153 – 192.
- BRUNSDEN, D. A critical assessment of the sensitivity concept in geomorphology. **Catena**, v. 42, n. 2-4, p. 99-123, 2001.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Clarendon Press, Oxford. 1987. 193 p.

CALZAVARA, S. F.; FERNANDEZ, O. V. Q. Uso e ocupação do solo e número de curva (CN) na bacia hidrográfica do córrego Matilde Cuê, Marechal Cândido Rondon (PR). **Geoingá**, Maringá/PR, v. 7, n. 1, p. 185-209, 2015.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos/SP, 345 f, 2001. Disponível em: <www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>. Acesso em 20 de Julho de 2015.

CÂMARA, G. Representação computacional de dados geográficos. In: CÂMARA, G., CASANOVA, M. A., DAVIS JUNIOR, C., VINHAS, L., QUEIROZ, G. **Bancos de dados geográficos**. Curitiba/PR: Editora MundoGEO. 2005. p.1-44.

CARRÃO, H.; CAETANO, M.; NEVES, N. LANDIC: Cálculo de indicadores de paisagem em ambiente SIG. In: ENCONTRO DE UTILIZADORES DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – ESIG, 2001. Oeiras/Portugal. **Anais...** Lisboa: Associação dos Utilizadores de Sistemas de Informação Geográfica, 2001.

CARVALHO, J. R. M.; CURI, W. F.; CARVALHO, E. K. M. A.; CURI, R. C. Proposta e validação de indicadores hidroambientais para bacias hidrográficas: estudo de caso na sub-bacia do alto curso do Rio Paraíba, PB. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia/MG, v. 23, n. 2, p. 295-310, 2011.

CARVALHO, R. G. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente/SP, Volume Especial, n. 36, p. 26-43, 2014.

CASIMIRO, P. C. **Uso do solo, teledeteccção e estrutura da paisagem, ensaio metodológico - conselho de Mértola**. 2002. 585 f. Tese (Doutorado em Geografia e Planejamento Regional). Universidade Nova de Lisboa, Lisboa/Portugal, 2002.

CHAVES, H. M. L.; ALIPAZ, S. M. F. An integrated indicator based on basin hydrology, environment, life, and policy: the watershed sustainability index. **Water Resources Management**, v. 21, n. 5, p. 883-895, 2007.

CHRISTOFOLETTI, A.; PEREZ FILHO, A. Estudo comparativo das formas de bacias hidrográficas do território paulista. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro/RJ, v. 34, n. 249, p. 72-79, 1976.

CUNHA, B.; GUERRA, J. T. Degradação ambiental. In: CUNHA, S. B., GUERRA, A. J. T. (orgs). **Geomorfologia e meio ambiente**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

FARIAS, T. Q. Direito à água e sustentabilidade hídrica. **Âmbito Jurídico**, Rio Grande/RS, v. 10, n. 48, p. 1-2, 2007.

FEARNSIDE, F. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 113-123, 2005.

FEARNSIDE, P. M. Land-tenure issues as factors in environmental destruction in Brazilian Amazonia: the case of southern Pará. **World Development**, v. 29, n. 8, p. 1361-1372, 2001.

FEITOSA, A.; FECHINE, J. A. L.; FERREIRA, C. W. S.; ARAÚJO, M. S. B. Modelagem dinâmica de escoamento superficial influenciando a susceptibilidade à erosão dos solos num município do semi-árido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 11, n. 2, p. 75-82, 2010.

FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos Avançados**, São Paulo/SP, v. 19, n. 53, p. 157-156, 2005.

FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. **Landscape ecology**. New York, John Wilwy e Sons. 1986. 619 p.

GITIK, T.; RANJAN, S. Estimation of surface runoff using NRCS curve number procedure in Buriganga watershed, Assam, India - A geospatial approach. **International Research Journal of Earth Sciences**, v. 2, n. 5, p. 1-7, 2014.

GOMIG, K.; LINDER, E. A.; KOBİYAMA, M. Áreas de influência das estações pluviométricas na bacia rio do Peixe/SC pelo método de polígonos de Thiessen utilizando imagem de satélite e SIG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis/SC. **Anais...** Florianópolis/SC, 2011, v. 8, p. 3373-3380.

GRIGIO, A. M.; AMARO, V. E.; DIODATO, M. A.; VITAL, H. Análise multitemporal do uso e ocupação do solo, em áreas de atuação da indústria petrolífera, com base em produtos de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica: município de Guamaré (RN). **Geografia**, Rio Claro/SP, v. 30, n.1, p. 177-197, 2005.

HABITAT CONSERVATION TRUST FUND (HTCF). **Mission creek sustainable watershed indicators workbook**. British Columbia. 2003. 24 p.

HERRMANN, B. C.; RODRIGUES, E.; LIMA, A. A. Paisagem como condicionadora de bordas de fragmentos florestais. **Revista Floresta**, Curitiba/PR, v. 35, n. 1, p. 13-22, 2005.

JARVINEN, O. Conservation of endangered plant populations: single large or several small reserves? **Oikos**, v. 38, n. 1, p. 301-307, 1982.

JESUÍNO, S. A. **Análise ambiental da bacia hidrográfica do rio Apeú com base na fragmentação da vegetação**. 2010. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém/PA, 2010.

LACERDA, L. D. Manguezais: florestas a beira-mar. **Ciência Hoje**, v. 3, n. 13, p. 63-70 1999.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, p. 159-174, 1977.

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

LEITE, E. F.; ROSA, R. Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Formiga, Tocantins. **Revista Eletrônica de Geografia**, v. 4, n.12, p. 90-106, 2012.

LIMA, A. M. M.; PONTE, M. X. O estudo da paisagem e o planejamento estratégico como bases da gestão da oferta hídrica no estado do Pará: discussão teórica e metodológica. **Geociências**, São Paulo/SP, v. 28, n. 3, p. 319-332, 2009.

LIMA, A. M. M.; CRUZ, F. M.; CAVALCANTE, L. M.; CHAVES, L. M. L.; IMBIRIBA JUNIOR, M.; SANTOS, V. J. C. A Gestão da Oferta Hídrica no Estado do Pará e seus Aspectos Condicionantes. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, n. 3. p. 69-83. 2010.

LIMA, R. N. S; ROCHA, C. H. B. Técnicas de sensoriamento remoto e métricas de ecologia da paisagem aplicadas na análise da fragmentação florestal no município de Juiz de Fora - MG em 1987 e 2008. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2011, Curitiba/PR. **Anais...** Curitiba/PR, 2011, v. 15, p. 2067-2074.

LOPES, M. N. G.; DE SOUSA. E. B.; FERREIRA, D. B. S. Climatologia regional da precipitação no estado do Pará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 12, n. 9, p. 84-102, 2013.

LUCAS, D. F. **Análise espacial dos fragmentos florestais no município de São Gonçalo do Rio Abaixo/MG**. 2011. 55 f. Monografia (Especialização em Geoprocessamento), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, 2011.

MANCUSO, W. P. Investimento eleitoral no Brasil: balanço da literatura (2001–2012) e agenda de pesquisa. **Revista de Sociologia e Política**, v. 23, n. 54, p. 155-183, 2015.

MARTINS, A. A.; SOUZA, C. S. M.; FERREIRA, R. S.; SICILIANO, A. A importância da gestão ambiental com foco na sustentabilidade ambiental. **Avesso do Avesso**, v. 8, n. 8, p. 1-16, 2010.

MCGARIGAL, K; MARKS, B. J. **FRAGSTATS**: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Portland: Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1994. 141p.

MELLEK, J. E. **Análise hidrológica e aplicação do método de curva número em bacia vertente sob cobertura florestal**. 2015. 205 F. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba/PR, 2015.

METZGER, J. P. Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro/RJ, v. 71, n. 3-I, 445-463, 1999.

METZGER, J. P. Como restaurar a conectividade em paisagens fragmentadas? In: KAGEYAMA, P. Y. (org.), **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu/SP.: FEPAF, 2003. cap. 3.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3ª Ed. Viçosa, Editora: UFV, 2005. 320 p.

MUÑOZ-ROBLES, C.; REID, N.; TIGHE, M.; BRIGGS, S. V.; WILSON, B. Soil hydrological and erosional responses in patches and inter-patches in vegetation states in semiarid Australia. **Geoderma**, v. 160, p. 524–534, 2011.

OLIVEIRA, R. R. S.; WATRIN, O. S.; VALENTE, M. A.; PIMENTEL, G. M. Análise da vulnerabilidade natural dos solos à erosão como subsídio ao planejamento territorial em área da microbacia do igarapé Peripindeua, Nordeste Paraense. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2011, Curitiba/PR. **Anais...** Curitiba/PR, 2011, v. 15, p. 4783-4790.

PARÁ. Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS). **Habilitação para a gestão ambiental**. Disponível em: <<https://www.semas.pa.gov.br/>> Acesso em: 22 de novembro de 2015.

PARÁ. Sistema de Informações de Indicadores Sociais. 2010. Disponível em: <<https://www2.mppa.mp.br/sistemas/gcsubsites/index.php?action=MenuOrgao.show&id=2098&oOrgao=53>>. Acesso em: 07 de novembro de 2016.

PARÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA). **Política de recursos hídricos do estado do Pará**. Belém, PA: Secretaria de Estado de Meio Ambiente – SEMA, 2012. 117 p.

PEREIRA, M. A. S.; NEVES, N. A. G.; FIGUEIREDO, D. F. C. Considerações sobre a fragmentação territorial e as redes de corredores ecológicos. **Revista Geografia**, Londrina/PR, v. 16, n. 2, p. 5-24, 2007.

PEREIRA, B. W. F. **Análise da estrutura da paisagem da microbacia do rio Peixe-Boi, nordeste paraense, com base na fragmentação da vegetação arbórea**. 2012. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém/PA, 2012.

PEREIRA, B. W. F.; MACIEL, M. N. M.; COSTA, M. S. S.; SOARES, J. A. C.; CORREA, D. L.; BRAGA, T. G. M.; DIAS, P. H. N. Uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, nordeste Paraense. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2013, Foz do Iguaçu/PR. **Anais...** Foz do Iguaçu/PR, 2013, v. 16, p. 7125-7131.

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, p. 171-179, 2012.

POLETTE, M. Paisagem: uma reflexão sobre um amplo conceito. **Turismo - Visão e Ação**, v. 2, n. 3, p. 83-94, 1999.

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

PRATA, S. S.; MIRANDA, I. S.; ALVES, S. A. O.; FARIAS, F.C.; JARDIM, F. C. S. Floristic gradient of the northeast paraense secondary forests. **Acta Amazônica**, v. 40, n. 3, p. 523-534, 2010.

PRATES, R. C.; BACHA, C. J. C. Os processos de desenvolvimento e desmatamento da Amazônia. **Economia e Sociedade**, Campinas/SP, v. 20, n. 3, p. 601-636, 2011.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). **Atlas do desenvolvimento humano**. 2013.

PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. Precipitação média anual e vazão específica média de longa duração, na bacia do São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande/PB, v. 8, n. 2/3, p. 247-253, 2004.

RAPIDEYE. **Satellite imagery product specifications**. Disponível em: <[www.rapideye.com](http://www.rapideye.com)>. Acesso em: 04 de dezembro de 2015.

RIBEIRO, C. R.; PIZZO, H. S. Avaliação da sustentabilidade hídrica de Juiz de Fora/MG. **Mercator**, Fortaleza/CE, v. 10, n. 21, p. 171-188, 2011.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n 6, p. 1141-1153, 2009.

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/MG, v.19, n. 1, p. 41-66, 2009.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 16, p. 81-90, 2005.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 7 ed. Uberlândia: EDUFU, 2009.

RUDOLPHO, L. S.; BRAGHIROLI, G.; REFOSCO, J. C.; SANTIAGO, A. G.; SABOYA, R. T. Aplicação de técnicas de geoprocessamento e métricas da paisagem na análise temporal da cobertura florestal da Bacia do Ribeirão Fortaleza em Blumenau/SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2013, Foz do Iguaçu/PR. **Anais...** Foz do Iguaçu/PR, 2013, v. 16, p. 1742-1749.

SANTOS, O. C. O. **Análise do uso do solo e dos recursos hídricos na microbacia do igarapé Apeú, nordeste do estado do Pará**. 2006. 270 f. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, 2006.

SANTOS, O. C. O. A geografia física e as bacias hidrográficas na Amazônia. **Revista GeoAmazônia**, Belém/PA, v. 1, n. 2, p. 17-27, 2014.

SAITO, N. S.; MOREIRA, M. A.; SANTOS, A. R. Análise da paisagem visando a restauração por corredores ecológicos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2013, Foz do Iguaçu/PR. **Anais...** Foz do Iguaçu/PR, 2013, v. 16, p. 3306-3313.

SILVA, V. H. **Estimativas do escoamento superficial em microbacia hidrográfica sob diferentes condições de uso da terra.** 2014. 205 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro/ES, 2014a.

SILVA, A. K. L. **Impacto da expansão da palma de óleo sobre o escoamento superficial e produção de sedimentos nas sub-bacias hidrográficas não monitoradas dos rios Bujarú e Mariquita no nordeste do estado do Pará, Amazônia Oriental.** 2016. 325 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, 2016.

SILVA, P. R. Os rios paraenses: uma breve descrição potamográfica. **Boletim Amazônico de Geografia**, Belém/PA, v. 1, n. 2, p. 88-104, 2014b.

SOUZA, S. R.; MACIEL, M. N. M.; OLIVEIRA, F. A.; JESUÍNO, S. A. Dinâmica da paisagem na bacia hidrográfica do rio Apeú, nordeste do Pará, Brasil. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba/PR, v. 9, n. 2, p. 141-150, 2011.

SOUZA, C. G.; ZANELLA, L.; BORÉM, R. A. T.; CARVALHO, L. M. T.; ALVES, H. M. R.; VOLPATO, M. M. L. Análise da Fragmentação florestal da Área de Proteção Ambiental Coqueiral, Coqueiral – MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria/RS, v. 24, n. 3, p. 631-644, 2014.

TAMASAUSKAS, P. F. L. F.; SOUZA, L. F. P.; LIMA, A. M. M.; PIMENTEL, M. A. S.; ROCHA, E. J. P. Métodos de avaliação da influência das áreas ripárias na sustentabilidade hidrológica em bacias hidrográficas no nordeste do estado do Pará. **Caderno de Geografia**, v. 26, n. 45, p. 172-186, 2016.

TROLL, C. Luftbildplan and ökologische bodenforschung. **Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde Zu Berlin**, p. 241–298, 1939.

TUNDISI, José Galizia. **O futuro dos recursos.** [S.l.]: Ed. Multi Ciência, 2003.

TURNER, M. G. Landscape ecology: the effect of pattern on process. **Annual Review of Ecology and Systematic**, v. 20, p. 171-197, 1989.

UNITED STATES DEPARTEMENT OF AGRICULTURE (USDA). **National engineering handbook.** USA: Department of Agriculture, Soil Conservation Service, 2012. Chapter 9, p. 1-20.

VALENTE, R. O. A.; VETTORAZZI, C. A. Análise da estrutura da paisagem na bacia do Rio Corumbataí, SP. **Scientia Forestalis**, n. 62, p. 114-129, 2002.

VALERI, S. V.; SENÔ, M. A. A. F. A importância dos corredores ecológicos para a fauna e a sustentabilidade de remanescentes florestais. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE DIREITO AMBIENTAL: FAUNA, POLÍTICAS PÚBLICAS E INSTRUMENTOS LEGAIS, 2004, São Paulo/SP. **Anais...** São Paulo/SP, 2004, v. 1. p. 699-709.

VETTORAZZI, C. A. Técnicas de geoprocessamento no monitoramento de áreas florestadas. **Série técnica IPEF**. Universidade de São Paulo – Piracicaba, v. 10, n. 29, p. 45-51, 1996. Disponível em: <[www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr29/cap06.pdf](http://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr29/cap06.pdf)> Acesso em: 23 de Julho de 2015.

VIEIRA, P. M. S.; STUDART, T. M. C. Proposta metodológica para o desenvolvimento de um índice de sustentabilidade hidro-ambiental de áreas serranas no semiárido brasileiro - Estudo de Caso: Maciço de Baturité, Ceará. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14 n. 4, p. 125-136, 2009.

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

WATRIN, O. S.; CRUZ, C. B. M.; SHIMABUKURO, Y. E. Análise evolutiva da cobertura vegetal e do uso da terra em projetos de assentamentos na fronteira agrícola amazônica, utilizando geotecnologias. **Geografia**, v. 30, n. 1, p. 59-76, 2005.

WATRIN, O. S.; VENTURIERI, A. Métricas de paisagem na avaliação da dinâmica do uso da terra em projetos de assentamentos no Sudeste Paraense. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2005, Goiânia/GO. **Anais...** Goiânia/GO, 2005, p. 3433-3440.

WATRIN, O. S.; GERHARD, P.; MACIEL, M.N.M. Dinâmica do uso da terra e configuração da paisagem em antigas áreas de colonização de base econômica familiar, no nordeste do estado do Pará. **Geografia**, v. 34, n. 3, p.455-472, 2009.

WEISS, C. V. C.; LIMA, L. T.; TERCEIRO, A. M.; GAUER, N. P. Mapeamento do uso e ocupação do solo utilizando imagens de satélite do sensor TM/Landsat 5 no litoral sul do Rio Grande do Sul, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2013, Foz do Iguaçu/PR. **Anais...** Foz do Iguaçu/PR, 2013, v. 16, p. 9209-9215.

**APÊNDICES**

**APÊNDICE A - VALORES DE PRECIPITAÇÃO GERADOS A PARTIR DOS  
POLÍGONOS DE THIESSEN.**

<b>Sub-bacia</b>	<b>Estação</b>	<b>Precipitação da estação (mm)</b>	<b>Área do polígono na sub-bacia (ha)</b>	<b>Precipitação Média (mm)</b>
Baixo Guamá	148002	3.185,95	28.229,61	548,53
	148003	2.901,30	37.211,57	658,46
	148017	2.361,84	89.129,99	1.283,91
	147007	2.433,64	2.029,47	30,12
	148009	2.707,98	7.360,12	121,56
Igarapé Apeú	147008	2.237,53	32,70	0,97
	148003	2.901,30	873,06	33,89
	147007	2.433,64	60.122,39	1.957,71
	148017	2.361,84	13.709,84	433,25
Rio Bujarú	148009	2.707,98	42.645,19	1.166,26
	147008	2.237,53	38.345,32	866,48
	148017	2.361,84	18.028,72	430,02
Médio Guamá 1	147011	2.436,91	60.714,97	1.040,94
	147008	2.237,53	72.379,07	1.139,39
	147007	2.433,64	2.470,25	42,29
	148017	2.361,84	6.573,01	109,22
Médio Guamá 2	147016	2.136,36	105.370,77	1.177,75
	146011	2.253,35	49.147,62	579,41
	147011	2.436,91	36.616,10	466,84
Igarapé Mãe do Rio	247004	2.032,90	13.283,35	173,94
	147016	2.136,36	5.120,75	70,46
	147011	2.436,91	136.840,42	2.148,01
Alto Guamá	247004	2.032,90	228.995,52	1.403,70
	147016	2.136,36	88.013,12	566,96
	247005	1.860,55	6.465,78	36,27
	147011	2.436,91	8.164,88	59,99
Rio Sujo	147016	2.136,36	16.607,49	771,08
	247005	1.860,54	3.689,03	149,16
	146011	2.253,34	25.716,01	1.259,37

**APÊNDICE B - MÉDIA PONDERADA PARA OS INDICADORES SOCIAIS.**

<b>Sub-bacia</b>	<b>Município</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Índice</b>	<b>Área total da bacia (ha)</b>	<b>Média ponderada</b>	<b>Média por Sub-bacia</b>
Alto Guamá	Capitão Poço	194.989,20	0,47	331.639,30	0,28	0,57
	Garrafão do Norte	135.559,30	0,70		0,29	
	Irituia	1.090,80	0,68		0,00	
Baixo Guamá	Acará	8.602,99	0,57	163.960,76	0,03	0,55
	Ananindeua	1.765,94	0,52		0,01	
	Belém	11.396,15	0,70		0,05	
	Benevides	6.023,22	0,68		0,02	
	Bujarú	68.235,87	0,54		0,22	
	Inhangapi	10.607,28	0,45		0,03	
	Marituba	3.380,54	0,45		0,01	
	Santa Isabel do Pará	53.948,77	0,55		0,18	
Rio Sujo	Garrafão do Norte	20.873,82	0,70	46.012,53	0,32	0,56
	Santa Luzia do Pará	25.128,97	0,44		0,24	
	Capitão Poço	9,73	0,47		0,00	
Rio Bujarú	Acará	983,41	0,57	99.019,23	0,00	0,51
	Bujarú	22.995,38	0,54		0,13	
	Concórdia do Pará	64.408,81	0,49		0,32	
	São Domingos do Capim	1.0631,63	0,58		0,06	
Igarapé Apeú	Castanhal	41.670,26	0,51	74.737,99	0,29	0,49
	Inhangapi	29.625,76	0,45		0,18	
	Santa Isabel do Pará	3.441,97	0,55		0,02	
Médio Guamá 1	Bujarú	3.841,67	0,54	142.137,30	0,01	0,57
	Castanhal	4.707,58	0,51		0,02	
	Inhangapi	6.989,34	0,45		0,02	
	Irituia	17.361,19	0,68		0,09	
	São Miguel do Guamá	74.173,13	0,56		0,29	
	São Domingos do Capim	35.044,41	0,58		0,14	
	Mãe do Rio	19,98	0,66		0,00	
Médio Guamá 2	Bonito	7.789,50	0,52	191.134,49	0,02	0,48
	Capitão Poço	70.396,73	0,47		0,17	
	Irituia	9.165,56	0,68		0,03	
	Ourém	41.006,61	0,46		0,10	
	Santa Luzia do Pará	41.822,04	0,44		0,10	
	São Miguel do Guamá	20.954,05	0,56		0,06	
Igarapé Mãe do Rio	Capitão Poço	9.570,93	0,47	155.244,52	0,03	0,66
	Irituia	105.523,15	0,68		0,46	
	Mãe do Rio	40.098,26	0,66		0,17	
	São Domingos do Capim	52,18	0,58		0,00	

### APÊNDICE C - VARIÁVEIS DE GESTÃO DOS MUNICÍPIOS.

Variáveis para a análise de gestão dos municípios 1.

(continua)

Variáveis	Classificação	Peso	Acará	Ananindeua	Belém	Benevides	Bonito	Bujarú	Capitão Poço	Castanhal	Concórdia do Pará
Legislação Ambiental	Existente	1	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	Inexistente	0									
Secretaria do Meio Ambiente	Individual	1	1,00	1,00	1,00	0,50	0,00	1,00	0,50	1,00	1,00
	Associada	0,5									
Conselho Municipal de Meio Ambiente	Ausente	0	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	Existente	1									
Participação no Programa Municípios Verdes	Inexistente	0	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00
	Sim	1									
Realiza Licenciamento Ambiental	Não	0	1,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	Alto Impacto	1									
	Baixo Impacto	0,5									
Grau de Cobertura pelo Cadastro Ambiental Rural (CAR)	Não	0	1,00	1,00	0,75	0,50	0,75	0,50	1,00	0,75	0,75
	≤ 10%	0									
	10% < G ≤ 20%	0,25									
	20% < G ≤ 30%	0,5									
	30% < G ≤ 50%	0,75									
> 50%	1										
Acesso às Informações Sobre Gestão Ambiental via Internet	Sim	1	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	Não	0									
Realiza Ações de Educação Ambiental no Município	Sim	1	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Não	0									
Possui Plano Diretor Municipal	Sim	1	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00
	Não	0									
Possui Plano de Saneamento Básico	Sim	1	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
	Não	0									
Possui Política de Saneamento	Sim	1	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
	Não	0									
Possui Habilitação para a Gestão Ambiental	Sim	1	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	Não	0									
Possui Fundo Municipal de Meio Ambiente	Sim	1	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	Não	0									



**APÊNDICE D - MÉDIA PONDERADA PARA OS INDICADORES DE GESTÃO.**

<b>Sub-bacia</b>	<b>Município</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Índice</b>	<b>Área total da bacia (ha)</b>	<b>Média ponderada</b>	<b>Média por Sub-bacia</b>
Alto Guamá	Capitão Poço	194.989,20	0,35	331.639,30	0,20	0,29
	Garrafão do Norte	135.559,30	0,23		0,09	
	Irituia	1.090,80	0,38		0,00	
Baixo Guamá	Acará	8.602,99	0,54	163.960,76	0,03	0,40
	Ananindeua	1.765,94	0,62		0,01	
	Belém	11.396,15	0,94		0,07	
	Benevides	6.023,22	0,23		0,01	
	Bujarú	68.235,87	0,19		0,08	
	Inhangapi	10.607,28	0,21		0,01	
	Marituba	3.380,54	0,48		0,01	
	Santa Izabel do Pará	53.948,77	0,56		0,18	
Rio Sujo	Garrafão do Norte	20.873,82	0,23	46.012,53	0,10	0,26
	Santa Luzia do Pará	25.128,97	0,29		0,16	
	Capitão Poço	9,73	0,35		0,00	
Rio Bujarú	Acará	983,41	0,54	99.019,23	0,01	0,56
	Bujarú	22.995,38	0,19		0,04	
	Concórdia do Pará	64.408,81	0,75		0,49	
	São Domingos do Capim	1.0631,63	0,19		0,02	
Igarapé Apeú	Castanhal	41.670,26	0,90	74.737,99	0,51	0,62
	Inhangapi	29.625,76	0,21		0,08	
	Santa Izabel do Pará	3.441,97	0,56		0,03	
Médio Guamá 1	Bujarú	3.841,67	0,19	142.137,30	0,00	0,53
	Castanhal	4.707,58	0,90		0,03	
	Inhangapi	6.989,34	0,21		0,01	
	Irituia	17.361,19	0,38		0,05	
	São Miguel do Guamá	74.173,13	0,75		0,39	
	São Domingos do Capim	35.044,41	0,19		0,05	
	Mãe do Rio	19,98	0,35		0,00	
Médio Guamá 2	Bonito	7.789,50	0,06	191.134,49	0,00	0,42
	Capitão Poço	70.396,73	0,35		0,13	
	Irituia	9.165,56	0,38		0,02	
	Ourém	41.006,61	0,60		0,13	
	Santa Luzia do Pará	41.822,04	0,29		0,06	
	São Miguel do Guamá	20.954,05	0,75		0,08	
Igarapé Mãe do Rio	Capitão Poço	9.570,93	0,35	155.244,52	0,02	0,37
	Irituia	105.523,15	0,38		0,26	
	Mãe do Rio	40.098,26	0,35		0,09	
	São Domingos do Capim	52,18	0,19		0,00	

**ANEXOS**

**ANEXO A - EQUAÇÕES DOS ÍNDICES DE DENSIDADE, TAMANHO, VARIABILIDADE MÉTRICA, TAMANHO, ÁREA NUCLEAR E PROXIMIDADE.**

(continua)

Índice	Equação	Detalhamento
Número de Fragmentos (NP)	$NP = n_i$	$n_i$ = número de fragmentos da classe. Unidade: número de fragmentos de uma determinada classe. Limite: $NP \geq 1$ , sem limite.
Densidade de Fragmentos (PD)	$PD = \frac{n_i}{A} \times 10000 \times 100$	$n_i$ = número de fragmentos da classe. $A$ = área total da paisagem. Unidade: Número de fragmentos por 100 ha. Limite: $PD > 0$ , sem limite.
Tamanho Médio dos Fragmentos (MPS)	$MPS = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \times \left(\frac{1}{10000}\right)$	$a_{ij}$ = área do fragmento $i$ na classe $j$ . $j = 1$ a $n \rightarrow$ número de fragmentos. $n_i$ = número de fragmentos da classe. Unidade: hectare (ha). Limite: $MPS > 0$ , sem limite.
Desvio Padrão do Tamanho Médio de Fragmentos (PSSD)	$PSSD = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \left[ a_{ij} - \left( \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \right) \right]^2}{n_i}} \times \left(\frac{1}{10000}\right)$	$a_{ij}$ = área do fragmento $i$ na classe $j$ . $j = 1$ a $n \rightarrow$ número de fragmentos. $n_i$ = número de fragmentos da classe. Unidade: hectare (ha) Limite: $PSSD > 0$ , sem limite.
Coefficiente de Variação do Tamanho Médio de Fragmentos (PSCV)	$PSCV = \frac{PSSD}{MPS} \times 100$	$PSSD$ = desvio padrão do tamanho dos fragmentos. $MPS$ = tamanho médio dos fragmentos. Unidade: porcentagem (%). Limite: $PSCV > 0$ , sem limite.
Índice de Forma Média (MSI)	$MSI = \frac{\sum_{j=1}^n \left( \frac{0,25p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right)}{n_i}$	$p_{ij}$ = perímetro do fragmento $ij$ . $a_{ij}$ = área do fragmento $i$ na classe $j$ . $j = 1$ a $n \rightarrow$ número de fragmentos. $n_i$ = número de fragmentos da classe. Unidade: adimensional.
Índice de Forma Média Ponderado pela Área (AWMSI)	$AWMSI = \sum_{j=1}^n \left[ \left( \frac{0,25p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right) \times \left( \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \right]$	$p_{ij}$ = perímetro do fragmento $ij$ . $a_{ij}$ = área do fragmento $i$ na classe $j$ . $j = 1$ a $n \rightarrow$ número de fragmentos. Unidade: adimensional. Limite: $AWMSI \geq 1$ , sem limite.
Índice de Dimensão Fractal Média (MPFD)	$MPFD = \sum_{j=1}^n \left( \frac{2,1n(0,25p_{ij})}{1na_{ij}} \right) / n_i$	$p_{ij}$ = perímetro do fragmento $ij$ . $a_{ij}$ = área do fragmento $i$ na classe $j$ . $n_i$ = número de fragmentos da classe. Unidade: adimensional Limite: $1 \leq MPFD \leq 2$ .
Número de Fragmentos com Área Nuclear (NCA)	$NCA = \sum_{j=1}^n n_{ij}^c$	$n_{ij}^c$ = número de áreas interiores dos fragmentos. $j = 1$ a $n \rightarrow$ número de fragmentos. Unidade: adimensional. Limite: $NCA \geq 0$ , sem limite.

(conclusão)

Índice	Fórmula	Detalhamento
Área Central Total (TCA)	$TCA = \sum_{j=1}^n a_{ij}^c \times \left(\frac{1}{10000}\right)$	$a_{ij}^c$ = área interior do fragmento ij. j = 1 a n → número de fragmentos Unidade: hectare (ha). Limite: TCA > 0, sem limite.
Índice de Área Nuclear Total (TCAI)	$TCAI = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^c}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \times (100)$	$a_{ij}^c$ = área interior do fragmento ij. j = 1 a n → número de fragmentos. Unidade: porcentagem (%). Limite: 0 TCAI ≤ <100.
Distância média entre fragmentos (MNN)	$MNN = \frac{\sum_{j=1}^{n'} h_{ij}}{n'_i}$	$h_{ij}$ = distância (m) do fragmento ij ao vizinho mais próximo de mesma classe. $n' = n'_i$ = número de fragmentos da classe i na paisagem, que tenham vizinho próximo. Unidade: metros (m). Limite: MNN > 0, sem limite.
Desvio Padrão para a Distância Média entre Fragmentos (NNSD)	$NNSD = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n'} h_{ij} - \left(\frac{\sum_{j=1}^{n'} h_{ij}}{n'_i}\right)^2}{n'_i}}$	$h_{ij}$ = distância (m) do fragmento ij ao vizinho mais próximo de mesma classe. j = 1 a n → número de fragmentos. $n' = n'_i$ = número de fragmento da classe i na paisagem que tenha vizinho próximo. Unidade: metros (m). Limite: NNSD ≥ 0, sem limite.
Coefficiente de Variação para a Distância Média entre Fragmentos (NNCV)	$NNCV = \frac{NNSD}{MNN} \times 100$	NNSD = desvio padrão do vizinho mais próximo. MNN = distância média do vizinho mais próximo. Unidade: porcentagem (%). Limite: NNCV ≥ 0, sem limite.
Índice de Proximidade Média (MPI)	$MPI = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}^2}}{n_i}$	s = número de fragmentos dentro de uma vizinhança específica. $a_{ijs}$ = área (ha) do fragmento ijs dentro de uma vizinhança específica de fragmento ij. $h_{ijs}$ = distância entre fragmentos ijs e fragmentos ij. j = 1 a n → número de fragmentos; e $n_i$ = número de fragmentos da classe. Unidade: adimensional. Limite: MPI ≥ 0.
Área do fragmento (AREA)	$AREA = a_{ij} \left(\frac{1}{10000}\right)$	$a_{ij}$ = área do fragmento i na classe j. Unidade: hectares (ha). Limite: AREA > 0, sem limite.

Fonte: Adaptado de McGarigal e Marks (1994).