



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE MEIO AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE
RECURSOS NATURAIS E DESENVOLVIMENTO
LOCAL NA AMAZÔNIA



LUCYANA BARROS SANTOS

**MODELAGEM DE USO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
MARAPANIM NO NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ**

BELÉM
2018

LUCYANA BARROS SANTOS

**MODELAGEM DE USO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
MARAPANIM NO NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ**

Dissertação de Mestrado apresentada para a obtenção do título de Mestre em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia, Núcleo de Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará.
Área de concentração: Gestão dos recursos naturais.

Orientador: Prof. Dr. Norbert Fenzl.
Coorientador: Prof. Dr. Otávio do Canto.

BELÉM
2018

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

S237m Santos, Lucyana Barros.
Modelagem de uso da terra na bacia hidrográfica do Rio Marapanim no Nordeste do estado do Pará / Lucyana Barros Santos. — 2018.
117 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Norbert Fenzl
Coorientador(a): Prof. Dr. Otávio do Canto
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia, Núcleo do Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

1. Recursos naturais. 2. Bacia hidrográfica. 3. Uso da terra. 4. Gestão territorial. I. Título.

CDD 333.73179

LUCYANA BARROS SANTOS

**MODELAGEM DE USO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
MARAPANIM NO NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ**

Dissertação de Mestrado apresentada para obtenção do título de Mestre em Gestão dos Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia, Núcleo de Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará.

Área de concentração: Gestão dos recursos naturais.

Orientador: Prof. Dr. Norbert Fenzl.

Coorientador: Prof. Dr. Otávio do Canto.

Defendida e aprovada em: 29 /12 /2018

Banca examinadora:

Prof. Dr. Norbert Fenzl – Orientador

Prof. Dr. Rodolpho Zahluth Bastos

Prof. Dr. Giovane da Silva Mota

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter estado comigo para que eu pudesse vencer os obstáculos e as minhas fraquezas e ter chegado até aqui.

Ao PPGEDAM/NUMA, Professores e equipe técnica administrativa pela oportunidade, suporte e para que eu pudesse realizar este trabalho de pesquisa. Em especial aos meus estimados orientador e co-orientador, Prof. Dr. Norbert Fenzl e Prof. Dr. Otávio do Canto, pelo apoio, direcionamento e conselhos, sem os quais eu não teria conseguido terminar a jornada do mestrado.

À direção do CRA/INPE, Dra. Alessandra Gomes e Dr. Marcos Adami que me possibilitaram exercer minha função e ainda assim permanecer no mestrado. Obrigada Dr. Marcos pelo apoio, incentivo e por não me deixar desistir.

Minha gratidão à equipe de modelagem de uso da terra do CCST/INPE, Dra. Ana Paula de Aguiar, ao Dr. Pedro Andrade e em especial ao Dr. Gilney Bezerra e à querida Cássia Gama pela atenção, orientação e auxílio em todas as dúvidas referentes ao TerraME e ao LuccME.

Sou imensamente grata às minhas incentivadoras amigas Andréa Coelho e Márcia Barros, pelas ideias, sugestões e ensinamentos para as coisas que deveriam ser aplicadas e pelo carinho diante das horas mais difíceis e para que eu estivesse focada nos meus objetivos. Espero que possamos estar sempre juntas por muito tempo.

Sou grata à Laís Moreira dos Santos por toda ajuda com a grafia, formatação do texto, leitura.

Agradeço à Larisse Souza por ter me ajudado na confecção do Diagrama de Sankey que faz parte dos meus resultados.

Minha eterna gratidão à Arlete Almeida pelo apoio amoroso, por me colocar no prumo quando eu estava perdida, por me incentivar e me dar forças para terminar.

Aos colegas de turma, por termos vencido os desafios e compartilhado do sucesso a cada etapa vencida, em especial aos meus queridos amigos pela afinidade e companheirismo: Cátia Araújo, Irene Guerreiro, Hilário Vasconcelos, Andreza Ranieri, Paula Zumero e Sidney Fortunato.

A meus amados pais, João e Maria e meus irmãos, pela confiança, incentivo e amor e por compreenderem a profissão que eu escolhi seguir. Minha eterna gratidão à minha irmã Adriana por ter me ajudado com meu filho quando eu precisei estar ausente.

Agradeço aos meus amados esposo e filho, Gilmar e Pietro, pelo amor incondicional e por nunca terem reclamado do quão ausente eu estive. E por me darem o apoio necessário a continuar vencendo as barreiras e desafios que a vida me coloque. Amo muito vocês.

*“Louvado sejas, meu Senhor, por nossa irmã a mãe Terra
que nos sustenta e governa, e produz frutos diversos e
coloridas flores e ervas”
São Francisco de Assis*

RESUMO

Analisar a dinâmica do desmatamento, a partir dos usos da terra, auxiliar o entendimento dos processos atuais e refletir acerca do futuro. Para tanto, o objeto de estudo foi a bacia hidrográfica do Rio Marapanim, localizada na região Nordeste do estado do Pará, que se constitui em uma das fronteiras de colonização agrícola mais antiga da Amazônia, e que teve um processo de ocupação desordenada que culminou com forte pressão sobre sua cobertura vegetal. O intenso uso da terra descaracterizou a paisagem natural advinda da aceleração econômica contribuindo para a transformação de florestas e de ecossistemas naturais em áreas alteradas, comprometendo assim os recursos naturais. Metodologicamente, trata-se de uma pesquisa de abordagem quantitativa, cujo estudo de mapeamento do uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica, permitiu, por meio de parâmetros estatísticos, o acompanhamento das alterações naturais ou introduzidas pelo homem. Atualmente a região passa por uma alteração em sua dinâmica de uso da terra frente à uma nova fronteira agro energética através da introdução e expansão do dendê, que emerge como uma caminho para conter o crescimento da soja e da pecuária. Foi realizada análise das transformações da paisagem por meio de técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelagem dinâmica. Foram construídos modelos dinâmicos através da utilização do arcabouço de modelagem LuccME, desenvolvido pelo Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e colaboradores a fim de representar computacionalmente as mudanças de uso da terra e seus fatores determinantes. Foram feitas simulações para o período de 2008-2017. Os resultados revelam que 80% da área da bacia foi desmatada e que os poucos remanescentes presentes na área da bacia estão sendo convertidas às atividades de agricultura e pecuária. Para além desse grave quadro de supressão vegetal, a fragmentação da floresta ocasiona fragmentação de habitat e perda de biodiversidade. Para reversão desse quadro, recomenda-se como alternativa a articulação de políticas públicas eficientes, estruturadas e contínuas e ações ligadas à estruturação proposto nos planos diretores dos municípios, à gestão integrada, à formação de cadeia produtiva que garanta o uso sustentável dos recursos naturais, ao incentivo da criação de UCs, posto que esta possui apenas duas, ambas de uso sustentável. As políticas públicas permitiriam a conservação e proteção dos remanescentes florestais, e contribuiriam com a melhora do quadro ambiental na região da bacia hidrográfica do Rio Marapanim (PA).

Palavras-chave: Recursos naturais. Bacia hidrográfica. Uso da terra. Gestão territorial.

ABSTRACT

To analyze the dynamics of deforestation from the land use, to help understand the current processes and reflect upon the future. For this purpose, the object for this study was the Marapanim River hydrographic basin, located in the Northeast region of the State of Pará (PA), situated in one of the oldest agricultural colonization borders in the Amazon, which suffered a disordered occupation process culminating with strong pressure over its vegetation cover. The intense land use mischaracterized the natural landscape arising from economic acceleration contributing to the transformation of the forest and natural ecosystems in changed areas, compromising the natural resources. Methodologically, it is a research with quantitative approach, which mapping studies of the land use and occupation in the river basin allowed, through statistic parameters, the monitoring of the natural or human-made changes. Currently, the region undergoes a change in its land use dynamic before a new agro-energetic border through the introduction and expansion of *dendê*, which emerges as a way to contain the soy and livestock growth. It was made an analysis of the landscape transformations through techniques of remote sensing, geo-processing, and dynamic modeling. Dynamic models were created through the use of the LuccME modeling framework, developed by the *Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST)* of the *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)* and collaborators in order to computationally represent the changes in land use and their determining factors. It was made simulations for the period of 2008-2017. The results show that 80% of the basin area was deforested and that the few remains present in the basin area are being converted to agricultural and livestock activity. In addition to this grave scenario of vegetal suppressing, the fragmentation of the forest causes the fragmentation of habitat and loss of biodiversity. To change this situation, it is recommended as an alternative the articulation of efficient, structured, and continuous public policies as well as actions connected to the structuring proposed in the municipalities master plans, to the integrated management, to the formation of production chain that guarantees the sustainable use of the natural resources, to the incentive for the creation of UCs, given that there are only two, both of sustainable use. The public policies would allow the conservation and protection of the forestry remains and would contribute to the improvement in the environmental situation in the area of the hydrographic basin of the *Marapanim* River (PA).

Keywords: Natural resources. River basin. Land use. Territorial management.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Categorias, fatores determinantes potenciais e operadores utilizados para o preenchimento do espaço celular.....	54
Tabela 2 – Desflorestamento nos municípios na área na bacia hidrográfica do Rio Marapanim	69
Tabela 3 – Quantificação das áreas (Km ²) mapeadas e percentual das classes de uso da terra e cobertura vegetal na área na bacia hidrográfica do Rio Marapanim ..	73
Tabela 4 – Evolução e quantificação das áreas (Km ²) mapeadas nos municípios para as classes de uso da terra e cobertura vegetal na área na bacia hidrográfica do Rio Marapanim	75
Tabela 5 – Matrizes de transição entre os mapas dos anos de 1984-2008 e 2008-2017 na área na bacia hidrográfica do Rio Marapanim, com áreas em Km ² e percentual.....	76
Tabela 6 – Valores de demanda anual (Km ²) para cada classe de uso da terra para o período de simulação 2008 a 2017	79
Tabela 7 – Correlação.....	105

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Descrição das Classes de Uso e Cobertura da terra e sua aparência da Imagem Landsat.....	48
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura dos principais componentes dos modelos de uso da terra LUCC espacialmente explícitos	31
Figura 2 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Marapanim na imagem de satélite Landsat 8 do ano de 2017	34
Figura 3 – Mapa de aptidão agrícola das áreas alteradas da bacia hidrográfica do Rio Marapanim	36
Figura 4 – Mapa de solos das áreas alteradas da bacia hidrográfica do Rio Marapanim	37
Figura 5 – Modelo Conceitual do desenvolvimento da pesquisa.....	40
Figura 6 – Sistematização dos dados no software TerraAmazon	42
Figura 7 – Imagem Landsat/Thematic Mapper 5 (TM5) do ano de 1984 contendo o layer da segmentação	42
Figura 8 – Imagem classificada.....	43
Figura 9 – Imagem editada	44
Figura 10 – Mapa com o trajeto de campo realizado em dezembro de 2017.....	45
Figura 11 – Fotos georreferenciadas de algumas classes temáticas de uso da terra capturadas durante o trabalho de campo amostradas espacialmente no Google Earth Pro.....	46
Figura 12 – Compatibilização de dados no Espaço Celular	50
Figura 13 – Espaço celular com diferentes resoluções espaciais	51
Figura 14 – Mapa de uso da terra e cobertura vegetal do ano de 1984 da bacia hidrográfica do Rio Marapanim	52
Figura 15 – Mapa de uso da terra e cobertura vegetal do ano de 2008 da bacia hidrográfica do Rio Marapanim	52
Figura 16 – Mapa de uso da terra e cobertura vegetal do ano de 2017 da bacia hidrográfica do Rio Marapanim	53
Figura 17 – Mapa de localização das sedes municipais e rios presentes na bacia hidrográfica do Rio Marapanim	55
Figura 18 – Mapa de localização das rodovias estaduais e federais presentes na bacia hidrográfica do Rio Marapanim.....	56
Figura 19 – Mapa da taxa populacional rural dos municípios com sede localizada dentro da área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim.....	56

Figura 20 – Mapa da distribuição espacial das propriedades rurais nos municípios com sede localizada dentro da área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim	57
Figura 21 – Mapa da distribuição espacial dos assentamentos na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim	57
Figura 22 – Mapa da distribuição espacial das unidades de conservação na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim	58
Figura 23 – Mapa do ZAE Dendê na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim	58
Figura 24 – Mapa da taxa (%) de produção de dendê dos municípios com sede localizada dentro da área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim.....	59
Figura 25 – Mapa da lavoura permanente dos municípios com sede localizada dentro da área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim.....	59
Figura 26 – Mapa da pecuária dos municípios com sede localizada dentro da área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim.....	60
Figura 27 – Mapa de altitude na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim	60
Figura 28 – Mapa da precipitação média anual na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim	61
Figura 29 – Mapa da temperatura média anual na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim	61
Figura 30 – Mapa de aptidão agrícola das áreas alteradas da área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim	62
Figura 31 – Mapa categorizado da densidade de focos de calor (2008) na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim.....	62
Figura 32 – Amostra da matriz de correlação gerada através do software R.....	63
Figura 33 – Valores de demanda anual para o período de simulação 2008 a 2017 .	64
Figura 34 – Alocação das variáveis resultantes da regressão multivariada espacial para parametrização da componente potencial.....	65
Figura 35 – Processos de mudanças entre as classes de uso da terra	66
Figura 36 – Diferença entre modelos com dados de uso da terra contínuos e discretos.....	67
Figura 37 – Exemplo de validação por múltipla resolução (agregação de células por meio de janelas de amostragem)	67
Figura 38 – Uso da terra e cobertura vegetal nos anos de 1984 (a), 2008 (b) e 2017 (c).....	72
Figura 39 – Mapa de localização do PA Luiz Lopes Sobrinho em São Francisco do	

Pará na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim	75
Figura 40 – Diagrama de Sankey com a transição dos usos da terra no período de 1984, 2008 e 2017 na área na bacia hidrográfica do Rio Marapanim	78
Figura 41 – Etapas de construção do modelo de uso da terra no LuccME	83
Figura 42 – Dado real, dado simulado e a diferença percentual entre o dado real e o simulado para a variáveis dependentes AGROPECUÁRIA e SILVICULTURA, modelo 1 e 2.....	84
Figura 43 – Dado real, dado simulado e a diferença percentual entre o dado real e o simulado para a variáveis dependentes VS e FLORESTA, modelo 1 e 2	87

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) dos municípios na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim	35
Gráfico 2 – Porcentagem dos municípios na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim	68
Gráfico 3 – Evolução do desflorestamento anual a partir dos dados do PRODES/INPE na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim	70
Gráfico 4 – Conjunto de variáveis selecionadas para o uso da terra AGROPECUÁRIA na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim	80
Gráfico 5 – Conjunto de variáveis selecionadas para o uso da terra SILVICULTURA na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim	81
Gráfico 6 – Conjunto de variáveis selecionadas para o uso da terra VS na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim	81
Gráfico 7 – Conjunto de variáveis selecionadas para o uso da terra FLORESTA na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim	82

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CEHR	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CLUE	Conversion of Land Use and Effects
CCST	Centro de Ciência do Sistema Terrestre
CRA	Centro Regional da Amazônia
DIP	Digital Image Processing
EGO	Environment for Geoprocessing Objects
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETM	Enhanced Thematic Mapper
FUNCATE	Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais
GEOMOD	Geomatic Modeling
GPS	Global Positioning System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LUCC	Land Use Cover Changes
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NUMA	Núcleo de Meio Ambiente
OLI	Operational Land Imager
PA	Pará
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PPCDAm	Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal
PRODES	Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite
QGIS	Quantum GIS
RADAMBRASIL	Projeto Radar da Amazônia

SEMAS	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
TIRS	Thermal Infrared Sensor
TM	Thematic Mapper
UFPA	Universidade Federal do Pará
USGS	United State Geological Survey
ZAE	Zoneamento Agroecológico

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	17
1 INTRODUÇÃO	20
1.1 Objetivos	24
1.1.1 Objetivo Geral	24
1.1.2 Objetivos Específicos	24
2 ESTRUTURA METODOLÓGICA	25
2.1 Referencial Teórico	25
2.1.1 A Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento e Gestão	25
2.1.2 Uso da Terra	26
2.1.3 Geoprocessamento	27
2.1.4 Modelagem	29
2.1.5 Cenários	31
3 METODOLOGIA E MÉTODOS UTILIZADOS	33
3.1 Área De Estudo	33
3.1.1 A Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim	33
3.2 Métodos de Pesquisa	38
3.2.1 Organização e Sistematização dos Dados	41
3.2.2 Segmentação e Classificação das Imagens Digitais	42
3.2.3 Edição das Imagens	43
3.2.4 Trabalho de Campo	44
3.2.5 Definição e Descrição das Classes de Uso da Terra	46
3.2.6 Modelagem	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
4.1 Área de Estudo	68
4.2 Classificação e Análise da Dinâmica de Uso Da Terra e Cobertura Vegetal nos anos de 1984, 2008 e 2017	70
4.3 Modelagem	78
4.3.1 Parametrização das Componentes	79
4.3.2 Simulação dos Modelos para o período 2008-2017	83
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
REFERÊNCIAS	94
APÊNDICE A – Correlograma gerado com os dados da tabela de correlação	104
APÊNDICE B – Tabela de correlação	105
APÊNDICE C – Código do modelo 1 (arquivo main)	106
APÊNDICE D – Validação das Classes de Uso da Terra no LuccME	106

APRESENTAÇÃO

Antes de iniciarmos as discussões que proponho com esta pesquisa, apresento de forma contextualizada o porquê do objeto de estudo ser uma bacia hidrográfica, escolha justificável pela minha trajetória profissional ao longo de 22 anos trabalhando com a temática, bem como com modelagem e uso da terra. A expertise adquirida em mais de duas décadas me levou a escolher o Programa de Pós-Graduação em Gestão dos Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia (PPGEDAM) do Núcleo de Meio Ambiente (NUMA) da Universidade Federal do Pará (UFPA), para realizar o Mestrado Profissional.

Desde 1996 desenvolvo trabalhos com o compromisso de gerar informações científicas e me capacitar como recurso humano qualificado como forma contribuir para o avanço de discussões voltadas para questões ambientais e sistemas sustentáveis de uso e manejo da terra. Comecei minha carreira na, hoje, Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS) – antiga SECTAM, atuando com o desenvolvimento de atividades na área de análise processos de Licenciamento Ambiental com o intuito de adquirir conhecimento desse instrumento de comando e controle que visa promover o desenvolvimento sustentável. No Laboratório de Sensoriamento Remoto pude exercitar e adquirir habilidades na área de Geoprocessamento, através da interpretação, tratamento e classificação de imagens de satélite para auxiliar na avaliação dos processos de licenciamento.

De 1999 a 2004 atuei como Assistente de Pesquisa I, no Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), empreendendo pesquisas de fenologia reprodutiva tecnologia e produção de sementes e manejo florestal e análises de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Durante quatro meses, em 2002, fui Analista de Geoprocessamento na Geoambiente Sensoriamento Remoto, em São José dos Campos (SP), interpretando, mapeando, quantificando e analisando a dinâmica para os remanescentes florestais de Mata Atlântica (Estados de Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) e ecossistemas associados.

De 2003 a 2006, fui bolsistas de produtividade em pesquisa no Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), a mais antiga instituição científica da Amazônia. Pela minha formação como Engenheira Florestal, participei do desenvolvimento de pesquisas nos Projetos *“Avaliação e Monitoramento das Comunidades de*

Vertebrados na Área de Influência do Reservatório da UHE Tucuruí: Subprograma de Monitoramento, Manejo e Conservação de Aves; “Geo-referenciamento e cálculo da extensão de ocorrência efetiva de espécies de animais e plantas candidatos a lista de ameaçados no Estado do Pará (BIOTA-PARÁ), e “Geração de banco de dados relacionados à classificação de uso e cobertura na Estação Científica Ferreira Penna, Caxiuanã”.

No Instituto de Conservação Ambiental do Brasil – The Nature Conservancy, fui Analista em Sistema de Informação Geográfica do Programa da Amazônia, entre os anos de 2006 e 2015. A experiência me permitiu criar atividades de suporte técnico, supervisão e análise/modelagem em tecnologias de SIG à equipe do Programa de Conservação da Amazônia, bem como gerência/organização/manutenção da base de dados e planejamento/execução/capacitação individual e/ou em grupo para outros funcionários, estagiários, parceiros e colaboradores sobre as ferramentas de SIG e de conservação ambiental, interpretação visual de imagens de satélite de alta resolução (SPOT, RapidEye), registro e mosaico das mesmas.

De 2015 a 2018 fui contratada como Especialista em Geoprocessamento Pleno pela Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais (FUNCATE), de São José dos Campos (SP). Estive lotada no Centro Regional da Amazônia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em Belém, onde atuei como líder técnica, na supervisão e auditoria do projeto Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra na Amazônia Legal (projetos TerraClass, Prodes Pretérito, Prodes Incerteza), na gerência/organização/manutenção da base de dados e planejamento/execução/capacitação individual e/ou em grupo para a equipe de trabalho, estagiários, sobre interpretação visual de imagens de satélite Landsat para o conhecimento e o entendimento das dinâmicas e processos que resultaram no desmatamento na Amazônia Legal Brasileira utilizando o software TerraAmazon.

A experiência internacional veio com a participação em projetos e subprojetos de cooperação internacional. De 1999 Woods Hole Research Center (WHRC) atuei no subprojeto “Efeito da exclusão artificial de chuvas na fenologia reprodutiva e foliar qualitativa e quantitativa das árvores e cipós de uma floresta na Amazônia Oriental”, vinculado à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Amazônia Oriental e de 2000 a 2003 junto ao junto ao Studies of Human Impact on Forests and Floodplains (SHIFT) participei do subprojeto “Aperfeiçoamento e validação de

técnicas de enriquecimento de capoeira na Amazônia Oriental”, vinculado à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Amazônia Oriental.

Reitero a atividade administrativa de quando fui responsável pelo Gerenciamento de dados do satélite NOAA, na Embrapa Amazônia Oriental, de 2000 a 2002, através de convênio IPAM/Embrapa/INPE.

Por fim, a participação em cursos de aperfeiçoamento contribuiu bastante para minha formação e aprendizagem sobre bacia hidrográfica. Destaco o minicurso “Modelagem Análise Espacial para Tomada de Decisão Pública”, realizado pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), em 2012; Curso “Análise Espacial de Bacias Hidrográficas, também realizado pela UERJ, em 2013; Curso Internacional “Uso del Modelo **SWAT** como Herramienta para Manejo de Cuencas Hidrográficas” – CATIE, Turrialba – Costa Rica e Curso “ENVI Básico para Sensoriamento Remoto/SIG”, realizado pela SulSoft Serviços de Processamento de Dados Ltda, ambos em 2014. Em 2018, participei da disciplina “Modelagem de Mudanças de Uso e Cobertura da Terra”, na Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em São José dos Campos (SP).

As habilidades adquiridas em mais de duas décadas de trabalho, quer seja como bolsista, aluno e profissional precisavam ainda assim de algo que concretizasse tudo e me permitisse alçar voos mais altos. Com Programa de Pós-Graduação em Gestão dos Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia (PPGEDAM) do Núcleo de Meio Ambiente (NUMA) da UFPA, através de mestrado profissional eu pude garantir formação à gestão e à aplicação de conhecimentos, com vistas a contribuir para uma melhor tomada de decisão na prática profissional no que envolve gestão pública profissional e aproveitamento sustentável de recursos naturais.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a Amazônia vem passando por um processo acelerado em consequência das mudanças de uso da terra e dos índices elevados de desmatamento, cujos impactos ambientais e socioeconômicos vem atuando desde a escala local até global (ALVES et al., 2009; ROMÃO et. al, 2017). Uma vez que a floresta é destruída pela ação dos desmatamentos e/ou das queimadas, esta passa a colaborar com os efeitos nas mudanças climáticas (FEARNSIDE et al., 2013).

A floresta Amazônica já perdeu aproximadamente 20% de sua cobertura vegetal original, ocasionando a redução da biodiversidade, provocada pela destruição dos habitats, alteração do ciclo hidrológico (ALMEIDA et al., 2016; TUNDISI, 2003). E é essa rica biodiversidade que torna a Amazônia única, e a floresta se encarrega de ocultar a heterogeneidade da região (ARÁGON, 2015).

Segundo TOLEDO et al.(2015) o impacto nas paisagens e a transformações ocorridas na Amazônia foram provenientes da aceleração econômica que contribuiu para o intenso processo de transformação de florestas e de ecossistemas naturais em áreas alteradas, que ainda mantém sua capacidade de regeneração natural.

Dentre os nove estados que compreendem integralmente a Amazônia Legal Brasileira, o Pará é o estado que tem se destacado com os maiores índices de desflorestamento, atingindo uma área total desmatada de 145.559 Km² no acumulado até 2017, com destaque para atividades agropecuárias, minerais, energéticas e florestais tidas como importante frente de expansão. Sua contribuição é de 33,95% da área total desflorestada da Amazônia Legal Brasileira, que corresponde a 428.721 Km² (PRODES/INPE, 2017), com destaque para a região do nordeste do estado do Pará.

O Nordeste Paraense teve sua organização e arranjo socioespacial ligado aos quilômetros de rios navegáveis e aos inúmeros igarapés, ao longo dos quais surgiram as vilas e povoados, que deram origem a cidades conectadas através da dinâmica fluvial, onde as embarcações significavam o principal meio de transporte. O aparecimento dos núcleos urbanos foi favorecido devido à valorização das estradas no interior do estado do Pará e à construção da Estrada de Ferro Belém-Bragança (CONCEIÇÃO, 2002; LEANDRO & SILVA, 2012; REBELLO & HOMMA, 2017; COELHO et al, 2018). A Estrada de Ferro foi um marco no povoamento da região e

alavancou a fronteira agrícola com a finalidade de abastecer Belém e o interior com produtos alimentícios, fibras e insumos energéticos (REBELLO & HOMMA, 2017).

No decorrer dos anos, a região do Nordeste Paraense passou por profundas transformações em sua paisagem, advindas de atividades tradicionais, como a agricultura itinerante – onde os agricultores produziam arroz, feijão, mandioca, milho, malva, algodão, pimenta-do-reino – o extrativismo florestal e animal (apicultura, avicultura) e a criação de gado bovino (KITAMURA et al., 1983; REBELLO & HOMMA, 2017). Dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (PRODES/INPE, 2015) demonstram que 56% da região do Nordeste Paraense até o ano de 2015 teve seu território desmatado. Este processo de intensificação do desmatamento se deu através da introdução do agronegócio e da mineração na região, o que vem afetando significativamente a manutenção da biodiversidade e a qualidade de vida das populações locais (COELHO et al., 2018).

Nesse contexto, localizadas no Nordeste Paraense e ocupando 75% da área de estudo, as microrregiões da Zona Bragantina e Salgado (IBGE, 1991), são apontadas como as zonas de expansão e colonização mais antigas da Amazônia. A Bragantina segundo Rebello & Homma (2017) *apud* Pará (1873) possuía a predominância de áreas cobertas por florestas que eram a força da terra. O Salgado por está na faixa costeira apresentava condições favoráveis ao povoamento, uma vez que por via fluvial e marítima podia se chegar à Belém e ao litoral maranhense, respectivamente (FURTADO & PIMENTEL, 2010). A dinâmica histórica de uso da terra nestas microrregiões estava relacionada diretamente às atividades agrícolas associadas a derruba e queima das matas para abastecimento dos mercados de Belém (FURTADO & PIMENTEL, 2010; REBELLO & HOMMA, 2017).

Atualmente a região do Nordeste Paraense apresenta uma nova fronteira agro energética, que vem alterando a dinâmica de uso da terra, através da introdução e expansão da dendeicultura, que surge como uma alternativa para frear o crescimento da soja e da pecuária. Esta atividade está ligada a interesses do setor de produção de agrocombustíveis e alimentos e que, evidentemente, traz implicações sociais e ambientais ao espaço agrário regional (VILLELA, 2014; GOMES et al., 2016; COELHO et al., 2018).

A relevância de empenhos de conservação para a área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim aponta-se como uma questão importante, uma vez que esta se encontra localizada em um dos Centros de Endemismo da Amazônia, no Centro de

Endemismo Belém, que segundo Almeida & Vieira (2010, p. 97) “configura-se como a área mais antiga de ocupação humana na Amazônia brasileira e a mais desmatada, com apenas 23% de sua cobertura florestal intacta”.

Além disso, a bacia hidrográfica do Rio Marapanim se encontra com 80% de sua área desflorestada até o ano de 2017 (PRODES/INPE, 2017), decorrente da intensa pressão sofrida sobre sua cobertura florestal no decorrer do seu processo de ocupação. Assim, torna-se de fundamental importância o estabelecimento de ações e políticas públicas que auxiliem na gestão desta bacia a fim de evitar risco aos seus recursos naturais, causando assoreamento de igarapés, desmatamento de florestas remanescentes e nascentes, bem como o aumento do descarte de efluentes domésticos e industriais nos cursos d’água que a formam (NICOLOD; ZAMBONI & BARROSO, 2009).

Com a promulgação da Lei 9.433 de janeiro de 1997, através da qual foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), os assuntos relativos ao planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos passaram a ganhar espaço no Brasil. O art. 1º, inciso V desta política baseia-se no fundamento de que a bacia hidrográfica é a unidade territorial de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH).

Com o objetivo de auxiliar na compreensão de alternativas futuras para uma delimitada região e os impactos das ações empregadas e suas tendências (SOARES-FILHO et al. 2004; SOARES-FILHO et al., 2005; SOARES-FILHO et al., 2006; AGUIAR, 2006), estudos na Amazônia vêm associando dados de dinâmica da paisagem à análise estatística, modelagem dinâmica e criação de cenários territoriais (MERTENS et al. 2002; AGUIAR et al. 2007).

O entendimento do processo de ocupação da bacia, associado ao conhecimento da realidade local, são essenciais para a construção e quantificação das relações no tempo e no espaço, permitindo o entendimento do modelo de desenvolvimento econômico, social e ambiental. A partir desse conhecimento, pode-se pensar em delinear cenários capazes de satisfazer os diversos interesses, bem como identificar as ameaças à população que habita a região onde a bacia está inserida.

Nesse sentido, estamos diante de um desafio de compatibilizar a gestão dos recursos naturais e o desenvolvimento local às dinâmicas de uso da terra na

Amazônia, de modo a conduzir a um desenvolvimento ecologicamente sustentável e socialmente justo.

A bacia hidrográfica do Rio Marapanim aprovou recente no Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) a resolução que estabelece os critérios de criação do comitê para que este possa ser criado no estado. Acredita-se que a pesquisa contribuirá de maneira significativa na discussão que envolve a gestão dos recursos naturais e o desenvolvimento sustentável local, além de subsidiar a ação que o Núcleo de Meio Ambiente da Universidade Federal do Pará (NUMA/UFGPA) poderia dar ao primeiro comitê de bacia hidrográfica do Pará.

Levando em consideração o processo de (re) produção na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim, busca-se responder as seguintes questões: “Quais são as dinâmicas de uso da terra encontradas na área da bacia levando-se em consideração o histórico da área?” e “Como a análise da dinâmica de uso da terra pode fornecer subsídios para formulação de políticas de desenvolvimento de acordo com a realidade local?”.

A hipótese levantada nesta pesquisa é de que, mantendo a atual dinâmica do uso e cobertura da terra existente na região onde a bacia hidrográfica do Rio Marapanim está localizada haverá perda dos remanescentes florestais, o que intensificará a pressão sobre os recursos naturais e a biodiversidade.

Esta pesquisa está organizada da seguinte forma: A seção **1** apresenta os aspectos gerais, com a introdução ao tema pesquisado, a hipótese e os objetivos geral e específicos, que nortearam a pesquisa; na seção **2** foi abordada a estrutura metodológica, com o referencial teórico que deu embasamento à pesquisa; a seção **3** trata da metodologia de pesquisa e da área de estudo; a seção **4** discute resultados encontrados e discussões dos mesmos; e a seção **5** trata das considerações finais.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

A presente pesquisa tem como objetivo geral a elaboração de modelagem de uso da terra para a bacia hidrográfica do Rio Marapanim, através da análise das transformações da paisagem.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- a) Quantificar e analisar a dinâmica do uso da terra na bacia do Rio Marapanim, considerando as medidas de ordenamento do território na região na qual a referida bacia se insere, entre os anos de 1984, 2008 e 2017;
- b) Parametrizar modelos dinâmicos que representem computacionalmente as mudanças de uso da terra utilizando a ferramenta LuccME/INPE; e
- c) Utilizar os modelos dinâmicos para projetar cenários até 2030.

2 ESTRUTURA METODOLÓGICA

2.1 Referencial Teórico

O referencial teórico da pesquisa está baseado em autores que abordam a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão; o uso e cobertura da terra que são as alterações naturais ou provocadas pela ação do homem; as geotecnologias, modelos dinâmicos; e cenários que irão construir um futuro em função do histórico de uso da terra.

2.1.1 A Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento e Gestão

Esta pesquisa foi elaborada tomando como base a Lei 9.433 de janeiro de 1997, que instituiu a PNRH e em seu art. 1º, inciso V, o qual está fundamentado na bacia hidrográfica como uma unidade territorial para implementação da PNRH e atuação do SINGREH, e no inciso VI, que estabelece que a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

A bacia hidrográfica é constituída por um conjunto de superfícies com determinada inclinação e um conjunto de canais, formados por cursos d'água que confluem, resultando em um leito único no seu exutório (TUCCI, 1997).

A bacia hidrográfica é a unidade de interação das águas com o meio físico, biótico, social, econômico e cultural. Esta, ou o conjunto destas interligadas, deve ser entendida como unidade territorial, levando em consideração a experiência dos países desenvolvidos no planejamento e gestão integrada dos recursos hídricos (YASSUDA, 1993).

Para Pinheiro et al. (2009), a gestão dos recursos hídricos tem, nas bacias hidrográficas, uma estratégia que visa proteger e restaurar a qualidade ambiental e, conseqüentemente, os ecossistemas aquáticos. As bacias hidrográficas são áreas de homogeneidade em termos de características climáticas, geomorfológicas e hídricas, que irão influenciar as questões econômicas e sociais da população que habita esta região. Desse modo, a demarcação de limites/territórios tendo as bacias hidrográficas como base se torna fundamental, quando sabemos que a possibilidade de gerir a qualidade dos recursos hídricos dessas está institucionalizada nos níveis Federal e Estadual (RODRIGUES et al., 2007).

A gestão de bacias hidrográficas é essencial para o controle da degradação, além de ajudar na renovação e manutenção do bom funcionamento do ciclo hidrológico e ecológico, visto que a manutenção das florestas nativas é extremamente importante para o ciclo hidrológico, desempenhando um papel na distribuição de energia e água na superfície e influenciando os processos de interceptação, infiltração, escoamento superficial e erosão (BALBINOT et al., 2008).

Para Rodrigues et. al (2007), os comitês deveriam atuar como fóruns regionais, organizando os atores sociais, individuais ou coletivos, impactados e dependentes da bacia hidrográfica. Estes atores exporiam seus desejos para o território, na medida em que estão representados o governo do Estado, as principais empresas e a sociedade civil (apud ALVES et al., 2000), superando assim o seu atual papel.

Para que se possam avaliar os impactos causados pela ação das atividades antrópicas, a bacia hidrográfica foi abordada nesta pesquisa como uma unidade para o planejamento, gestão e conservação do ambiente natural.

2.1.2 Uso da Terra

Segundo IBGE (2013, p. 43), o uso da terra pode ser definido como as “atividades conduzidas pelo homem relacionadas com uma extensão de terra ou a um ecossistema, com a intenção de obter produtos e benefícios, através do uso dos recursos da terra”. É a utilização de um determinado espaço, por meio da intervenção humana, que sujeita os recursos naturais, muitas vezes, a uma posição de risco.

Esta pesquisa foi voltada para a interpretação, classificação, espacialização e análise da paisagem por meio de imagens de satélite, visando identificar as formas de uso e de ocupação do espaço territorial da bacia hidrográfica do Rio Marapanim, a fim de entender a dinâmica dos recursos naturais frente às atividades antrópicas. O conhecimento a cerca do uso da terra nesta bacia constitui uma ferramenta importante para subsidiar e direcionar o planejamento e a gestão ambiental.

Desde a colonização até o século XIX, o território brasileiro teve sua espacialização ligada às populações rurais que, desprovidas de terras, viam nas terras comuns a possibilidade de sua subsistência, iniciando, assim, a ocupação e utilização do território de forma diferenciada regionalmente (IBGE, 2013). A partir do

século XX, o Brasil passa a ter estudos pontuais de uso da terra, através de instituições como IBGE, INPE, EMBRAPA e universidades (IBGE, 2013).

A partir da década de 1980, se iniciam estudos voltados para a análise de padrões de uso da terra e análises integradas da paisagem, incorporando técnicas de sensoriamento remoto (IBGE, 2013). Dentro deste contexto, os estudos de uso da terra, que antes eram voltados para os diagnósticos e zoneamentos ambientais, se revertem para análises regionais e ordenamentos territoriais, através do reconhecimento de topologias de uso da terra e introdução do Projeto RadamBrasil (IBGE, 2013).

Segundo Becker (2004), a região amazônica despertou o interesse de atores na ocupação de seu território, os quais foram impulsionados pelo vasto arcabouço de recursos naturais e pela sua grande extensão territorial, gerando na região diferentes fronteiras de ocupação em períodos diferenciados ao longo do tempo. O impacto desta ocupação gerada pela ação humana nos recursos naturais precisa ser compreendido, para que medidas de contenção possam ser geradas, com a finalidade de garantir a proteção e a recuperação deste espaço.

A bacia hidrográfica do Rio Marapanim encontra-se inserida no Nordeste Paraense que, segundo Silva et al. (2009), apresenta um sistema variado de uso da terra como agricultura tradicional, agricultura intensiva e pastagens em diversos níveis.

Segundo Kuhn (2005), o impacto proveniente das mudanças de uso do solo, provocadas principalmente pela ação humana, está diretamente ligado à sua escala, dimensão, padrão espacial e às ativas relações entre os usos do solo. O mapeamento do uso e ocupação das terras na bacia hidrográfica é o meio mais eficiente de controle dos recursos hídricos, pois facilita o acompanhamento das alterações naturais ou antrópicas. Trata-se de uma ferramenta que ajuda a diagnosticar possíveis áreas vulneráveis à erosão, inundações, assoreamento de reservatórios e cursos d'água (VAEZA et al., 2010).

2.1.3 Geoprocessamento

A região do Nordeste Paraense, onde a área de pesquisa está inserida, passou por um processo dinâmico de ocupação e uso da terra. Sua paisagem vegetal se transformou em fragmentos de florestas secundárias e pequenas

formações de floresta. O processo de fragmentação traduz a necessidade da realização de estudos de mapeamento do uso e ocupação da terra de forma ágil, a fim de facilitar o acompanhamento das alterações naturais ou introduzidas pelo homem. Diante deste contexto, se faz oportuno estudos com ações integradas para a otimização dos resultados, combinando técnicas e produtos de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelagem dinâmica.

Para entender e acompanhar as mudanças nos padrões de uso do solo, que permitirão obter o histórico da área de estudo, sem que estejamos em contato direto com o objeto, foram utilizadas imagens de satélite obtidas através do sensoriamento remoto.

Segundo Câmara et al. (2001), a coleta de informações com a distribuição geográfica de recursos era realizada com auxílio de documentos e mapas em papel, o que prejudicava a análise por não poder combinar vários mapas e dados. Com o surgimento do Geoprocessamento, nasce a possibilidade de armazenamento e representação das informações em um ambiente computacional (CÂMARA et al., 2001).

O termo Geoprocessamento é definido por Câmara et al. (2001, p. 1) como:

Disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) ou geotecnologias são ferramentas computacionais utilizadas no Geoprocessamento que fazem a integração de informações e dados de diferentes fontes e criam os bancos de dados georreferenciados (CÂMARA et al., 2001). Estas ferramentas possibilitam a geração de análises simples e complexas e a elaboração de produtos cartográficos (CÂMARA et al., 2001). Para Alves & Azevedo (2013), a ferramenta de SIG auxilia no planejamento e monitoramento de impactos ambientais através da elaboração de mapas, a fim de garantir o uso sustentável dos recursos naturais.

As geotecnologias passaram a ter um papel importante para pesquisas e monitoramento ambiental, pois proporcionam a obtenção e manipulação de uma grande quantidade de dados e informações sobre os recursos naturais de forma mais rápida e barata e com eficiência. Hoje, temos no mercado imagens de satélite gratuitas de média resolução espacial, softwares livres de geoprocessamento e SIG de fácil acesso, manipulação e aprendizagem. Aliadas a isso, surgem novas

ferramentas, que buscam a simulação das transformações e impactos ocorridos pelas mudanças no uso do solo.

2.1.4 Modelagem

Segundo Pedrosa & Câmara (2003) apud Burrough (1998), a modelagem dinâmica busca aprimorar as limitações da tecnologia de Geoprocessamento, que se apresenta baseada numa visão estática e bidimensional do mundo. Para Câmara et al. (2002), o desenvolvimento de métodos e abstrações que possam simbolizar apropriadamente fenômenos dinâmicos é dado como um dos grandes desafios da Ciência da Geoinformação.

Através de um ambiente computacional, a modelagem dinâmica espacial propicia a simulação de eventos do mundo real que apresentem dimensão espacial e temporal. Os modelos dinâmicos espaciais possuem vastas aplicações. Estas abrangem a simulação de alterações de uso e cobertura da terra, desmatamento, expansão urbana, vulnerabilidade à erosão, degradação/desertificação, expansão da cana-de-açúcar e entre outras (SOARES-FILHO et al., 2002; ALMEIDA et al. 2003; ALMEIDA et al., 2005; AGUIAR, 2006; XIMENES et al., 2008; AMORIM & SILVA, 2009; COELHO, 2009; NASCIMENTO, 2011; MACEDO et al., 2013; VIEIRA, 2015; COHENCA, 2016; MEDEIROS, 2016).

Pedrosa & Câmara (2003) relatam que os modelos espaciais dinâmicos retratam a evolução de padrões espaciais de um sistema ao longo do tempo, além de que estes modelos devem ser capazes de responder questões chaves como as clássicas “Porquê”, “Quando” e “Onde”. Dependendo do objetivo traçado para a construção de um modelo, este é baseado em pelo menos três elementos: variáveis, relacionamentos e processos (PEDROSA & CÂMARA, 2003). Para Soares-Filho (2002), os modelos dinâmicos de simulação de mudanças de uso e cobertura da terra buscam reproduzir padrões evolutivos da paisagem, que permitem fazer uma análise futura dos impactos ecológicos sobre o meio ambiente.

Quanto à classificação, os modelos podem ser empíricos e de sistemas. Os modelos empíricos são modelos matemáticos mais simples, apresentam um número reduzido de variáveis, são eficientes em fazer previsões, porém apresentam limitações quanto à evolução espacial e à identificação das causas do sistema. Os modelos de sistemas tentam representar as interações entre todos os seus

componentes, são eficientes ao abordar a dimensão espacial e utilizam conceitos como as relações de vizinhança e o uso combinado de múltiplas escalas (PEDROSA & CÂMARA, 2003). Dessa maneira, devemos ter a compreensão do quão complexos são os processos e fatores que causaram influência direta e indireta nas mudanças da paisagem da Amazônia ao longo de um período de tempo, para que possamos gerar os modelos de sistemas com conhecimentos vindos do passado e presente, e projetar cenários de um futuro que está relacionado à percepção de ambos.

Diante da variedade de modelos encontrados na literatura esta pesquisa está direcionada à adoção dos modelos LUC (Land Use Cover Change) espacialmente explícitos, pois buscamos tentar explicar as mudanças de uso e cobertura da terra ocorridas no passado, bem como os fatores que determinaram essas mudanças; planejar e conceber mudanças futuras, sua intensidade, posicionamento no espaço, a direção e data no tempo; e projetar cenários futuros considerando passado e presente. Destacamos também que neste tipo de modelo as mudanças não são investigadas e descritas levando-se em consideração um único fator, mas um conjunto de fatores que interagem em determinado período de tempo no espaço (AGUIAR, 2006).

O modelo de sistema conhecido como sistema de simulação dinâmica espacial está fundamentado em modelos de ecossistemas que apresentam heterogeneidade espacial e processos humanos de tomada de decisão. Neste tipo de modelo, o espaço é representado como uma matriz de células, onde equações matemáticas são aplicadas a cada uma das células da matriz ao mesmo tempo. Há, ainda, a possibilidade de incorporar neste modelo processos de tomada de decisão (PEDROSA & CÂMARA, 2003).

A presente pesquisa adotou um arcabouço de modelagem espacialmente explícita para mudanças de uso e cobertura da terra LuccME (Land Use and Cover Change Modelling Environment) que é uma extensão do ambiente de modelagem TerraME¹ (Carneiro et al., 2013), desenvolvido pelo Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do INPE e colaboradores.

Os modelos espacialmente explícitos apresentam uma estrutura funcional semelhante apesar da diversidade existente de modelos como discutido em VERBURG et al., 2006 e EASTMAN et al., 2005. Esses modelos geralmente

¹ Para mais informação: <http://www.terrame.org/doku.php>

consistem em três partes essenciais: *demanda* (calculada a partir da quantidade de mudança); *potencial* (calculado através de regressões estatísticas que relacionam as variáveis com as mudanças, mostrando a adequação ou vulnerabilidade de mudança de cada célula); e *alocação* (está baseada na demanda e no potencial de mudança de cada célula para que seja feita a distribuição espacial das mudanças), como mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Estrutura dos principais componentes dos modelos de uso da terra LUCCEspacialmente explícitos



Fonte: Adaptado de Verburg et al., 2006 e Aguiar et al., 2017

2.1.5 Cenários

Os cenários são utilizados para explorar as interações entre o homem e a natureza quando utilizamos a parametrização de modelos matemáticos e computacionais (AGUIAR et al., 2014).

Segundo Raskin et al. (2005) a definição de cenários é que são histórias possíveis, que tenham importância e interesse e podem ser contadas em palavras ou números. Essas histórias esboçam caminhos futuros que podem levar a

incertezas relevantes, onde não existe um ponto final e que podem gerar uma sequência de acontecimentos possíveis de ocorrer em um tempo determinado (ALCAMO & RIBEIRO, 2001; ALCANO, 2008; WILKINSON & EIDINOW, 2008).

Segundo os autores Alcano & Ribeiro (2001) cedido do teatro o vocábulo cenário se refere ao conjunto de elementos sequenciais de uma peça, como as atividades dos intérpretes ou as modificações no arranjo dos elementos do palco.

Após a segunda Guerra Mundial a designação cenário começou a ser utilizada na área militar, a fim de relatar a forma de analisar os jogos de guerra (KAHN & WIENER, 1967). Contudo, foi a partir das últimas décadas que os cenários começaram a ter importância como uma ferramenta para a área ambiental, uma vez que as mudanças climáticas, a disponibilidade de água, o funcionamento dos ecossistemas, a qualidade do ar e as mudanças do uso da terra passaram a ser preocupações (ALCAMO & RIBEIRO, 2001; ALCANO, 2008; GIROD, 2009; WILKINSON & EIDINOW, 2008).

Os cenários expõem as situações ou fatos ocorridos no passado ou no futuro possível, causados ou limitados por um ou mais fatores do meio (BESER DE DEUS, 2013).

Os cenários levam a refletir sobre as consequências dos projetos e das políticas de desenvolvimento uma vez que são instrumentos que analisam e interpretam os caminhos e a velocidade das transformações ocorridas em um espaço de tempo (SANTOS, 2004; KILIAN, 2009).

3 METODOLOGIA E MÉTODOS UTILIZADOS

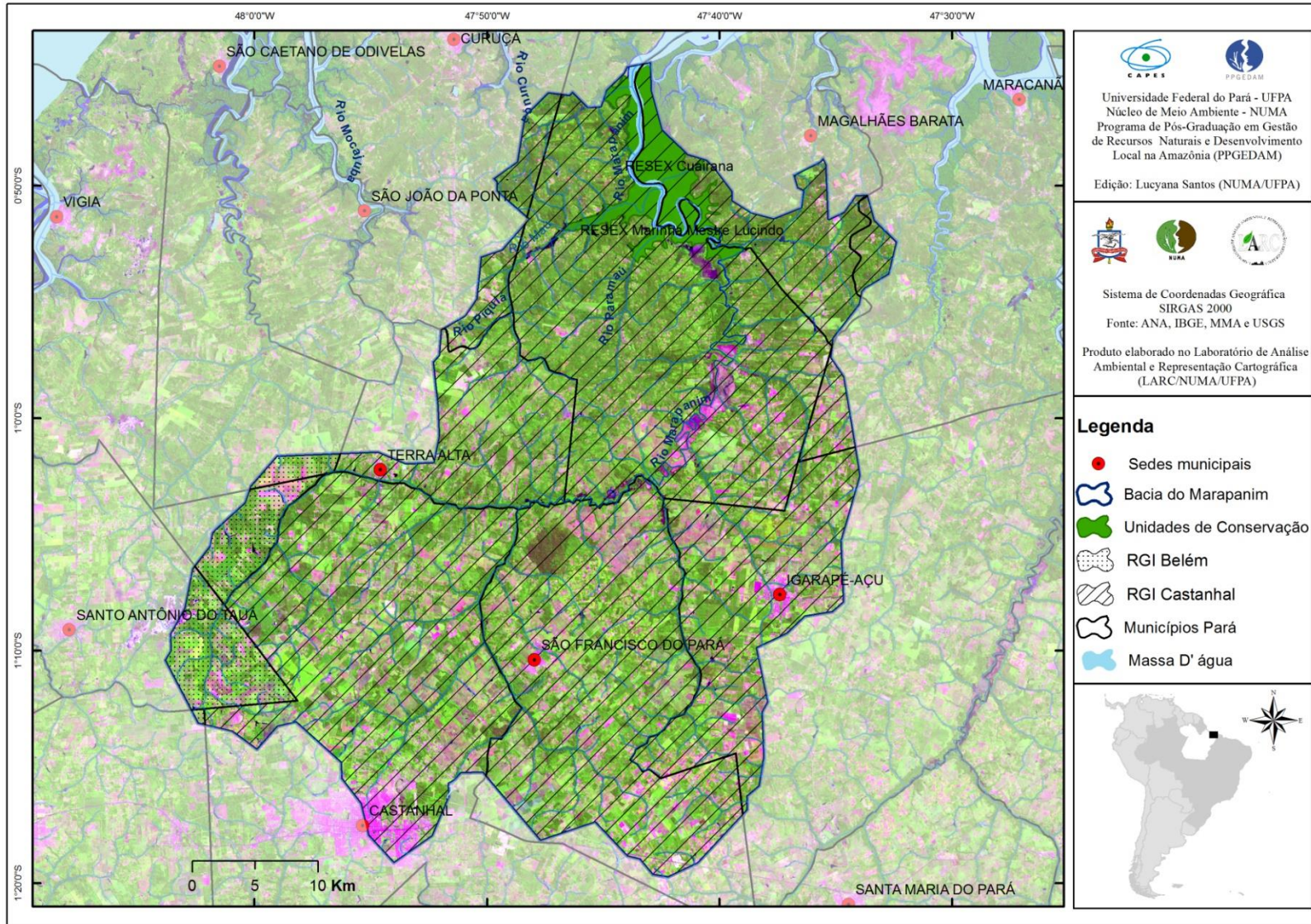
3.1 Área De Estudo

3.1.1 A Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim

A área delimitada deste estudo é oriunda da base de Codificação de Bacias Hidrográficas de Pfafstetter (1989), ordem de grandeza nível 04, número 7132, corresponde à área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim (Figura 2). Segundo a nova regionalização do IBGE (2017), que está vinculada ao intenso processo de ocupação e ampliação dos espaços produtivos e ao acelerado movimento de criação de municípios, a bacia hidrográfica do Rio Marapanim localiza-se nas Regiões Intermediárias de Belém e Castanhal ocupando 5% e 95% da área da bacia, respectivamente. Situa-se na coordenada 47°46'33"W e 01°4'1"S, com área de aproximadamente 2.096 Km².

Engloba parte territorial das áreas de 12 municípios: Castanhal, Curuçá, Igarapé-Açu, Magalhães Barata, Maracanã, Marapanim, Santa Isabel do Pará, Santo Antônio do Tauá, São Caetano de Odivelas, São Francisco do Pará, Terra Alta e Vigia. Limitando-se ao Norte pelo Oceano Atlântico, ao Sul pela bacia do rio Guamá - Moju, a Leste pela bacia do rio Gurupi, e a Oeste pela baía do Marajó. A bacia apresenta duas unidades de conservação federais de uso sustentável, onde em suas áreas é permitido a exploração e o aproveitamento econômico direto dos recursos de forma planejada e regulamentada, que são: a Reserva Extrativistas Cuiara e a Reserva Marinha Mestre Lucindo.

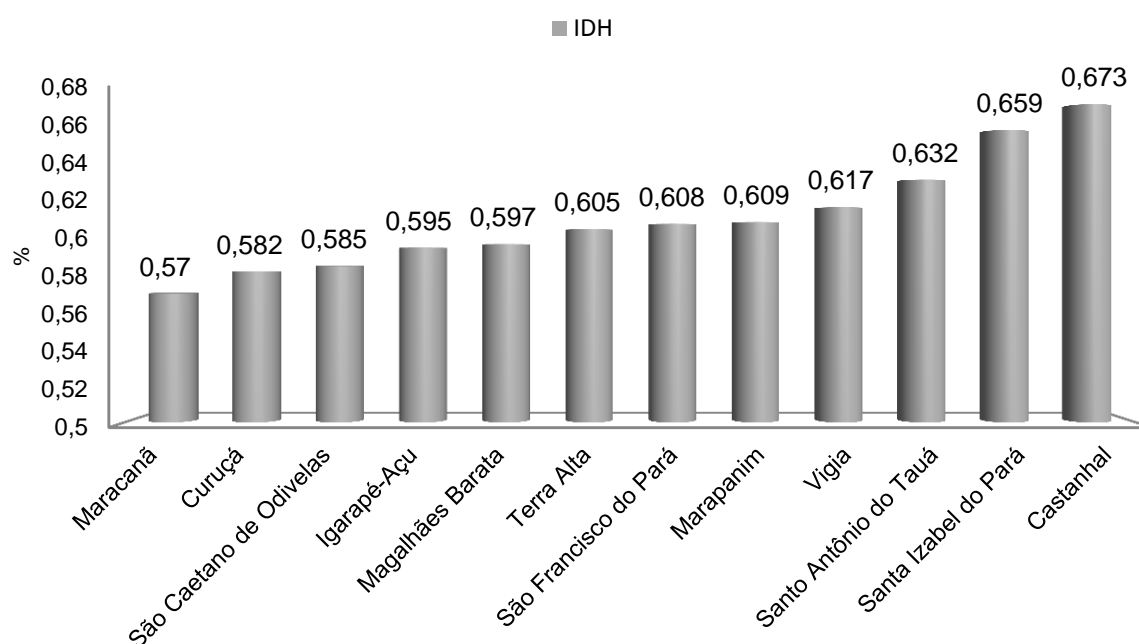
Figura 2 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Marapanim na imagem de satélite Landsat 8 do ano de 2017



Fonte: ANA (2006), IBGE (2016,2017), MMA (2014) e USGS (2017)

O gráfico 1 apresenta dados a respeito do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) dos municípios que abrangem a área de estudo. Quanto ao IDH, os municípios da bacia possuem elevada vulnerabilidade social, onde 42% possuem baixo nível de desenvolvimento humano e sete (58%), dos 12, possuem médio desenvolvimento humano. Maracanã e Curuçá são os que possuem os menores índices, 0,57 e 0,582 respectivamente (PNUD et al., 2013).

Gráfico 1 – Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) dos municípios na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim



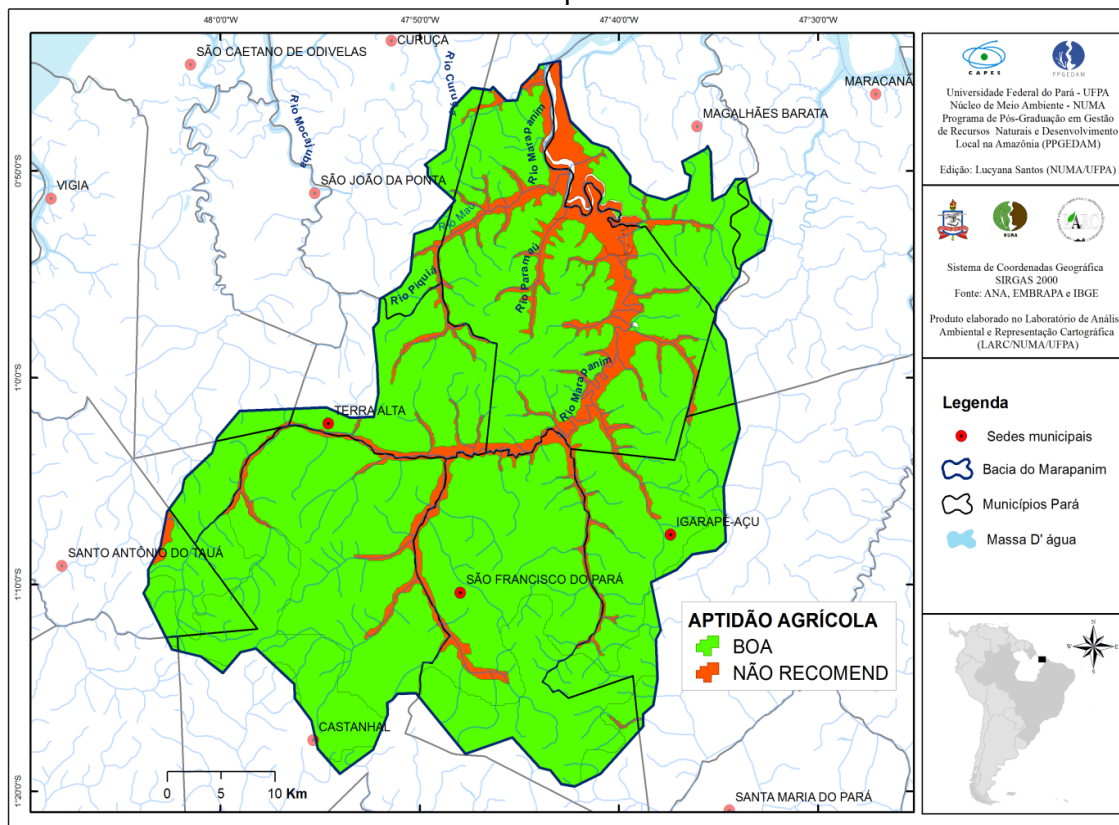
Fonte: PNUD, 2013.

A área territorial onde a bacia hidrográfica do Rio Marapanim está inserida é de clima tropical, na categoria de megatérmico úmido. Segundo a classificação de Köppen-Geiger (ALVARES et al., 2013) o clima é classificado como Am, temperatura média, durante todo o ano, em torno de 28°C. A precipitação anual é elevada, com forte concentração entre os meses de dezembro a maio e sendo mais baixa de junho a novembro.

Quanto à aptidão agrícola das áreas alteradas da bacia hidrográfica do Rio Marapanim (99,5% da área) presentes no Mapa de Solos e Aptidão Agrícola das Áreas Alteradas do estado do Pará da Embrapa Amazônia Oriental e Embrapa Solos (2016) estas foram classificadas com as denominações de boa e não recomendada seja para pecuária ou agricultura. A área da bacia classificada quanto à aptidão

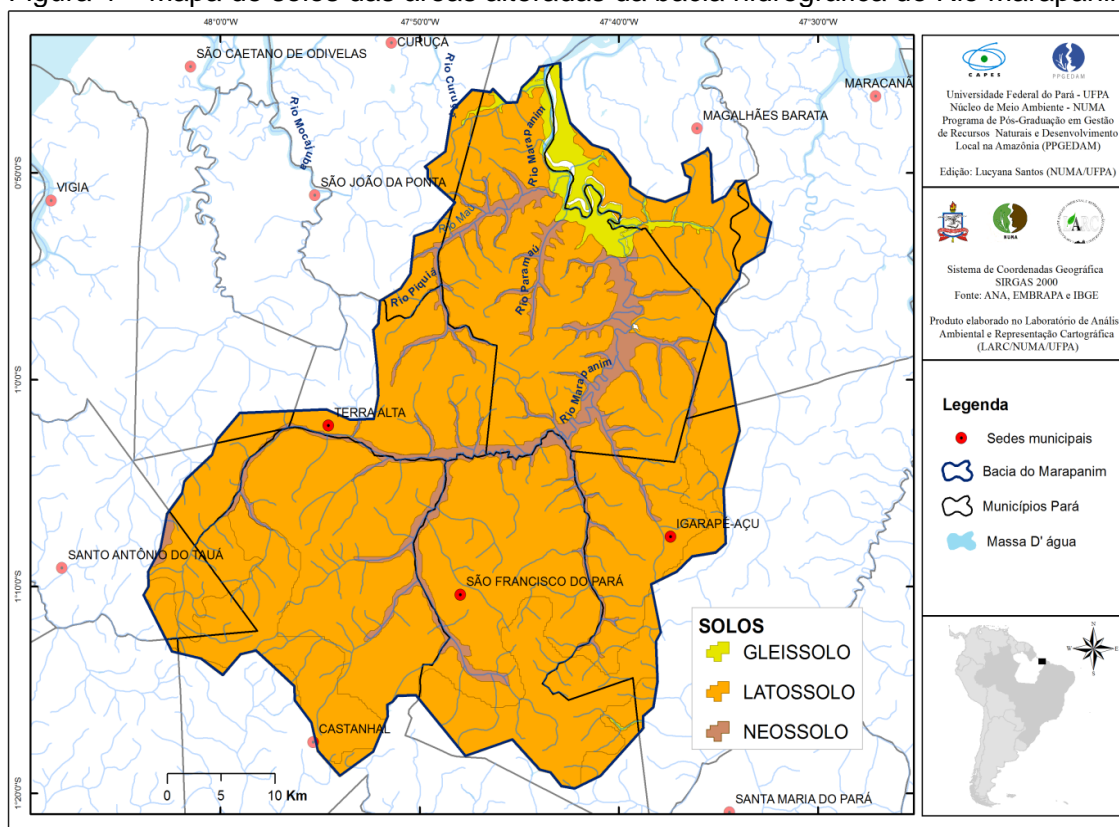
agrícola é de aproximadamente 2.086 Km² onde as classes boa e não recomendada estão ocupando 88% e 12%, respectivamente (Figura 3).

Figura 3 – Mapa de aptidão agrícola das áreas alteradas da bacia hidrográfica do Rio Marapanim



Os solos predominantes na bacia hidrográfica do Rio Marapanim, segundo proposto pelo Mapa de Solos e Aptidão Agrícola das Áreas Alteradas do estado do Pará da Embrapa Amazônia Oriental e Embrapa Solos (2016) são: Gleissolos, Latossolos e Neossolos, abrangendo 3%, 88% e 9%, respectivamente (Figura 4).

Figura 4 – Mapa de solos das áreas alteradas da bacia hidrográfica do Rio Marapanim



Fonte: ANA (2006), EMBRAPA (2016) e IBGE (2016)

A região do Nordeste Paraense onde a bacia hidrográfica do Rio Marapanim está inserida, ao longo dos anos vem apresentando um modelo de ocupação baseado tradicionalmente na extração dos recursos naturais e cujo processo migratório se iniciou a partir da década de 1950 com fluxo intenso e desordenado de nordestinos, resultado de ações governamentais que impulsionaram a vinda de grandes empreendimentos (MONTEIRO, 1997; WIESENMÜLLER, 2004, REBELLO & HOMMA, 2017).

As áreas de floresta primária foram retiradas devido às atividades agropecuárias introduzidas na região, resultando em uma paisagem inteiramente antropizada (WAGNER, 1995; VIEIRA et al. 2003), ocupada por áreas de pastagens, agricultura de subsistência e outras práticas agrícolas. Essas áreas são periodicamente abandonadas, ocasionando um processo de regeneração e formação de vegetação secundária, conhecida comumente como capoeira (LISBOA, 1989; MORTON et al., 2006; RAYOL et al., 2006), que após algum tempo volta a ser incorporada ao sistema produtivo.

As atividades econômicas predominantes na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim são: agricultura de pequeno porte (implantação de cultivos de subsistência, geralmente trabalhadores rurais que produzem diversas culturas com pouca tecnologia e mão de obra familiar), voltada para a produção de frutas e grãos; a produção animal voltada para a pecuária bovina, rebanho de galináceos, aquicultura (tambaqui, pirapitinga, tilápia entre outros) e produção de mel de abelha. Quanto às atividades de extração vegetal temos os subprodutos de exploração madeireira que possuem relevância com destaque para o carvão vegetal e a lenha (IBGE, 2016).

3.2 Métodos de Pesquisa

Segundo Jung (2004), a investigação científica nunca é absoluta ou final, possuindo um caráter temporário. A busca por avançar a fronteira da área proporciona que o conhecimento estabelecido seja modificado ou substituído pelo novo. A fim de alcançar os objetivos propostos na pesquisa, iremos tratar nesta seção da metodologia adotada para realização desta investigação científica. Tornar geométrica a representação através do delineamento de fenômenos e ordenar em série acontecimentos decisivos de uma experiência é uma tarefa primordial em que se firma o espírito científico (BACHELARD, 1996).

Jung (2004) menciona que a metodologia apresenta elementos necessários à elaboração da dissertação/tese/artigo, englobando os passos executados para a construção científica desde a escolha do procedimento para a obtenção dos dados, a identificação dos métodos, técnicas até a categorização e análises dos dados coletados. É conveniente antecipar que esta pesquisa não pretende solucionar os problemas existentes na área da bacia hidrográfica do Marapanim, mas gerar oportunidades de reflexões ao comitê gestor em criação, propor um desenvolvimento econômico e social à população que usufrui do recurso e mitigar o impacto negativo na qualidade de vida da mesma. Neste contexto, a construção da pesquisa a ser desenvolvida buscou seguir as seguintes classificações:

a) Quanto à natureza, foi adotada a aplicada, pois o objetivo foi gerar conhecimentos que irão dar suporte ao entendimento da dinâmica de uso da terra da região onde a bacia do Rio Marapanim está inserida. Acredita-se também que os conhecimentos gerados através dos cenários de uso da terra terão uma aplicação

prática e que serão dirigidos à solução dos problemas específicos e aos interesses locais.

b) Do ponto de vista da forma de abordagem ao problema de pesquisa proposto, foi considerada a abordagem quantitativa, pois utilizamos parâmetros estatísticos para analisar os dados, embora a pesquisa seja voltada ao estudo de mapeamento do uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica para o acompanhamento das alterações naturais ou introduzidas pelo homem. Considerou-se que tudo é quantificável e, portanto, as informações geradas foram traduzidas em números e posteriormente classificadas e analisadas.

c) Quanto ao objetivo, a pesquisa se propõe a ser explicativa, pois objetiva identificar os fatores que determinaram as transformações da paisagem, explicar o porquê das alterações do uso e cobertura da terra e aproximar o conhecimento da realidade.

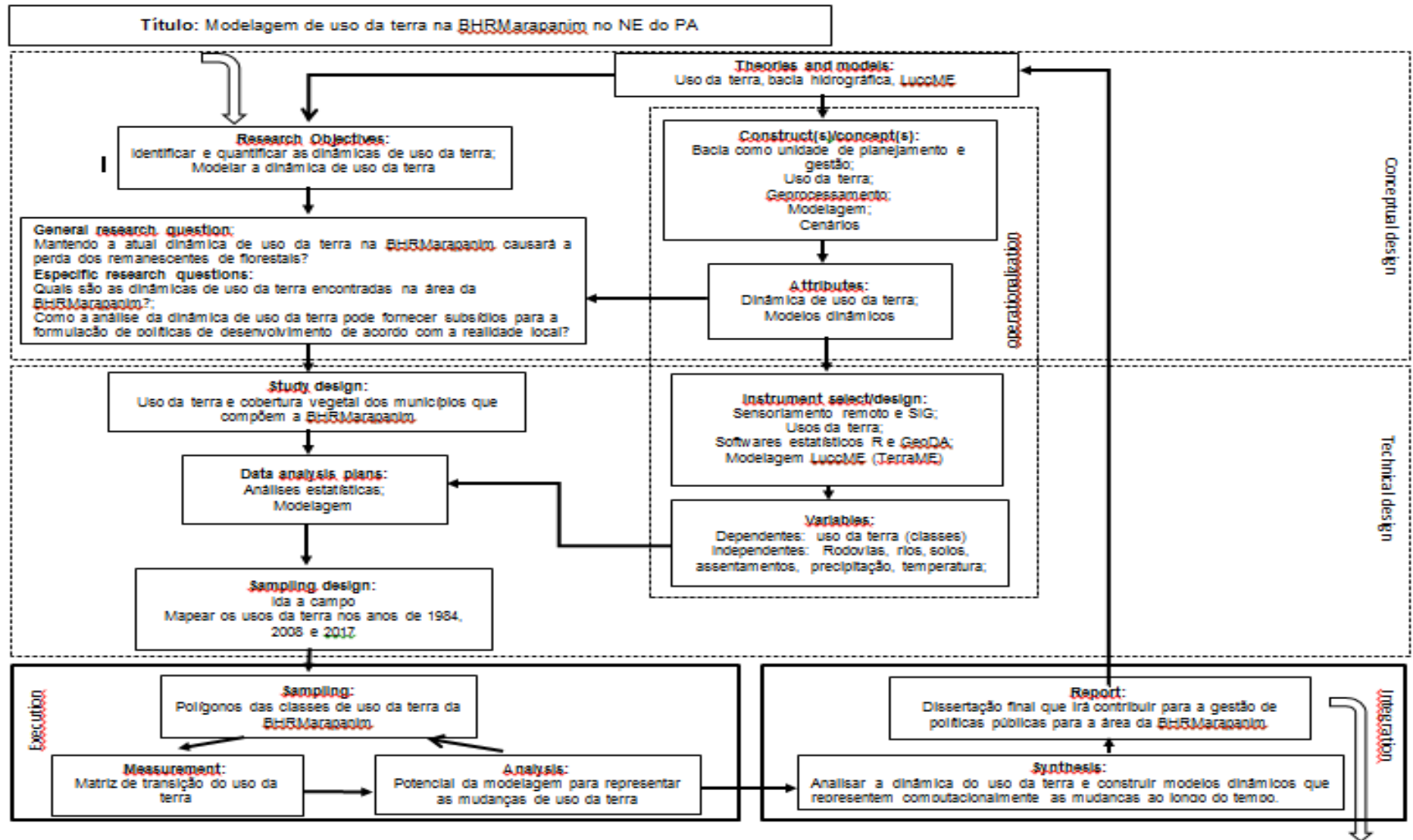
Quanto aos meios de investigação, a pesquisa foi bibliográfica e documental, realizada a partir de materiais publicados, como livros, artigos, periódicos e também a partir do conhecimento da legislação.

A determinação espacial da dinâmica do uso da terra na bacia hidrográfica do Rio Marapanim com a finalidade de construir cenários até 2030 está fundamentada na aplicação de técnicas e produtos de Sensoriamento Remoto, análise estatística e modelagem dinâmica. As etapas foram trabalhadas da seguinte forma:

- ✓ Organização e Sistematização dos dados (seção 3.2.1.1);
- ✓ Segmentação e Classificação das Imagens Digitais (seção 3.2.1.2);
- ✓ Edição das imagens (seção 3.2.1.3);
- ✓ Trabalho de Campo (seção 3.2.1.4);
- ✓ Definição e Descrição das Classes de Uso da Terra (seção 3.2.1.5)

A figura 5 mostra o designer e a esquematização da pesquisa interdisciplinar de investigação científica adaptado de Tobi & Kampen (2018) que foi utilizado para a elaboração do modelo conceitual e da estrutura da questão científica que orientou o fluxo das atividades desenvolvidas para a realização desta pesquisa.

Figura 5 – Modelo Conceitual do desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Adaptado de TOBI & KAMPEN (2018)

3.2.1 Organização e Sistematização dos Dados

Inicialmente, foi realizado um levantamento no site da USGS (earthexplorer) para a verificação e seleção das imagens que poderiam ser utilizadas nesta pesquisa. Foi realizada a busca de imagens para os satélites Landsat 4-5 TM, 7 ETM+ e 8 OLI-TIRS, no período de 01/01/1984 a 31/12/2017 e foram escolhidas imagens com o Nível 1 por atenderem aos critérios formais de qualidade geométrica e radiométrica. A escolha das imagens de satélite para o período analisado deu-se pela distribuição espacial das nuvens em cada quadrante das imagens, pois a elevada presença de nuvens em um dado quadrante inviabiliza o reconhecimento e identificação dos elementos (classes temáticas) nas mesmas.

Após a seleção das imagens digitais e para a análise multitemporal da dinâmica da cobertura e uso da terra na área de estudo, foram adotadas técnicas de processamento digital de imagens, com o uso de imagens orbitais dos satélites Landsat/Thematic Mapper 5 (TM5) dos anos de 1984 e 2008 (composição colorida das bandas 3, 4 e 5) e Landsat 8 do ano de 2017 (composição colorida das bandas 4, 5, 6), órbita-ponto 223-061, com resolução de 30x30 metros, as quais foram adquiridas no site do United States Geological Survey (USGS) Science for a Changing World (2017).

Com base no processamento e interpretação das imagens de satélite, foram mapeados os tipos de uso e cobertura da terra na área de estudo, com a escala de mapeamento de 1:50.000.

Para esta etapa, foram armazenadas as informações em formato vetor e raster (Figura 6) para compor o banco de dados geográfico, as quais foram conduzidas no software TerraAmazon (software livre desenvolvido pela Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais (FUNCATE) em parceria com o INPE para dar suporte aos projetos de monitoramento de floresta).

Figura 6 – Sistematização dos dados no software TerraAmazon



Fonte: Elaboração da autora

3.2.2 Segmentação e Classificação das Imagens Digitais

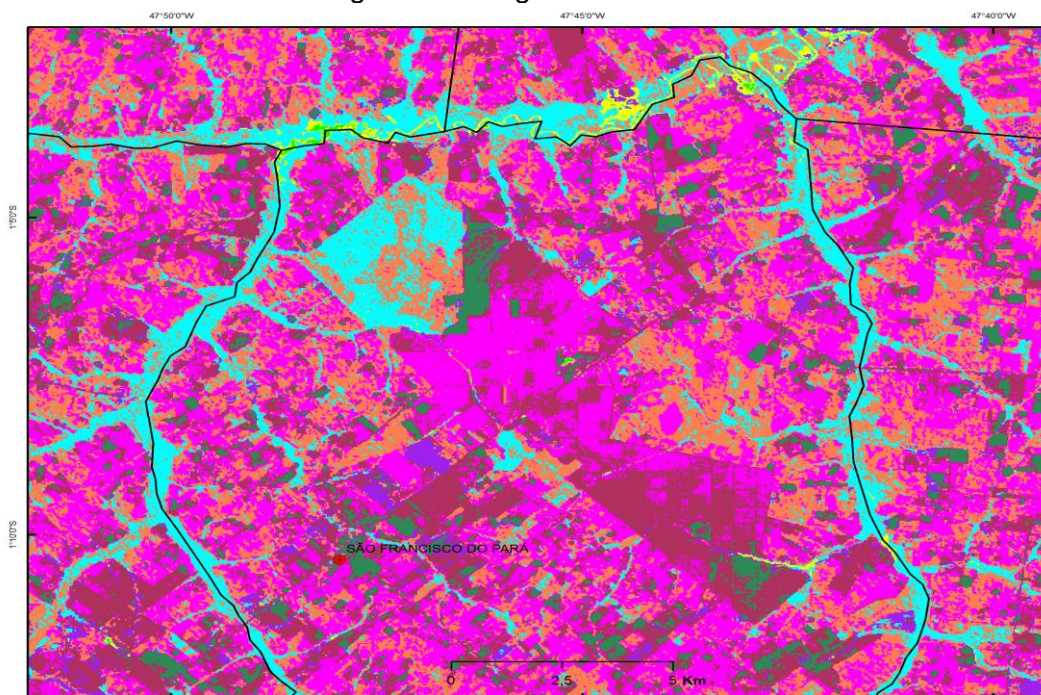
Inicialmente, as imagens multiespectrais passaram por um pré-processamento, onde foi aplicado um realce, visando melhorar a qualidade das imagens e permitindo uma melhor discriminação dos objetos. Após o pré-processamento, foi realizado o processo de Segmentação (Figura 7) em todas as imagens no software TerraAmazon plugin DIP, que tem como objetivo fragmentar as imagens em regiões homogêneas, sobre as quais foram então processadas as classificações. A segmentação consistiu na utilização do algoritmo de crescimento por regiões de pixels com similaridades entre eles.

Figura 7 – Imagem Landsat/Thematic Mapper 5 (TM5) do ano de 1984 contendo o layer da segmentação



No processo de classificação (Figura 8), todos os pixels de uma imagem digital foram classificados para produzir os mapas temáticos (CRÓSTA, 1992). Considerando os objetivos dessa pesquisa, foram produzidos mapas de uso e cobertura da terra, para produzir os sumários estatísticos dessas áreas.

Figura 8 – Imagem classificada



Nesta pesquisa, foi adotado o procedimento de classificação supervisionada na qual, segundo Crósta (1992), o usuário deve ter certo conhecimento da área a ser classificada. Este procedimento foi realizado após a segmentação, a fim de aperfeiçoar o mapeamento final, e adotou a seleção de regiões amostrais na imagem que serviram de base de referência para cada classe que foi criada.

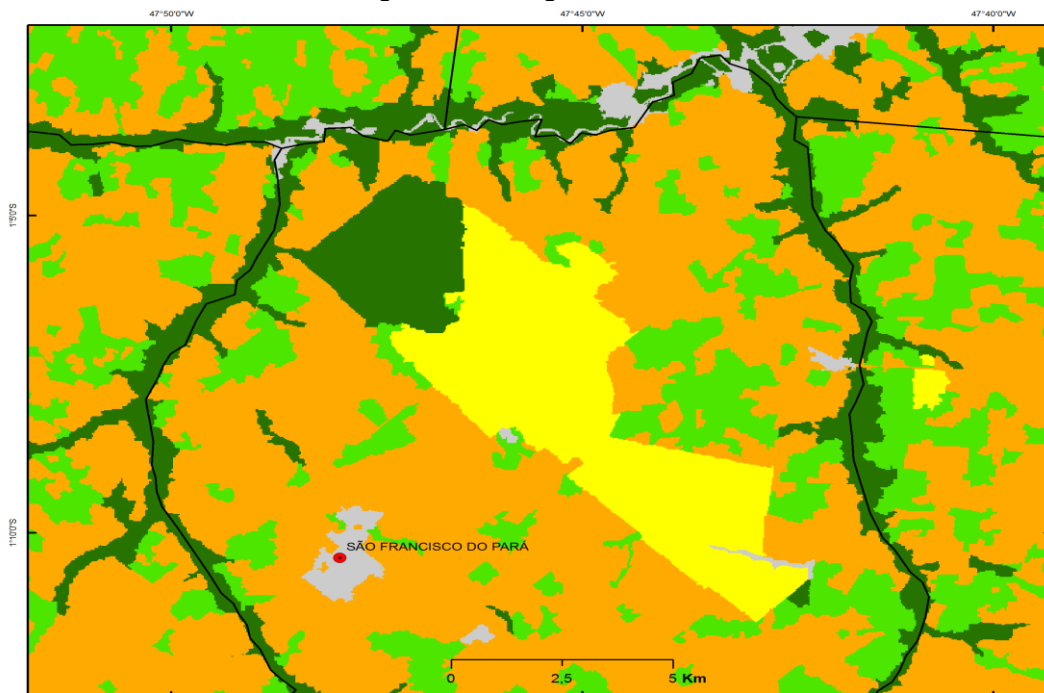
Depois de realizada a escolha das amostras, foi adotado o classificador Battacharya, que classifica um conjunto de pixels gerando áreas mais contínuas (CORREIA et al., 2007). Este tipo de classificador mede a distância média entre as distribuições de probabilidade das classes espectrais para agrupar em regiões amostrais.

3.2.3 Edição das Imagens

A partir da classificação supervisionada das imagens, com a finalidade de

geração e refinamento do mapa temático final, bem como de correção dos erros gerados no contexto de uma determinada classe, foi necessária a realização da edição das imagens, tanto no layer matricial quanto no layer vetorial (Figura 9).

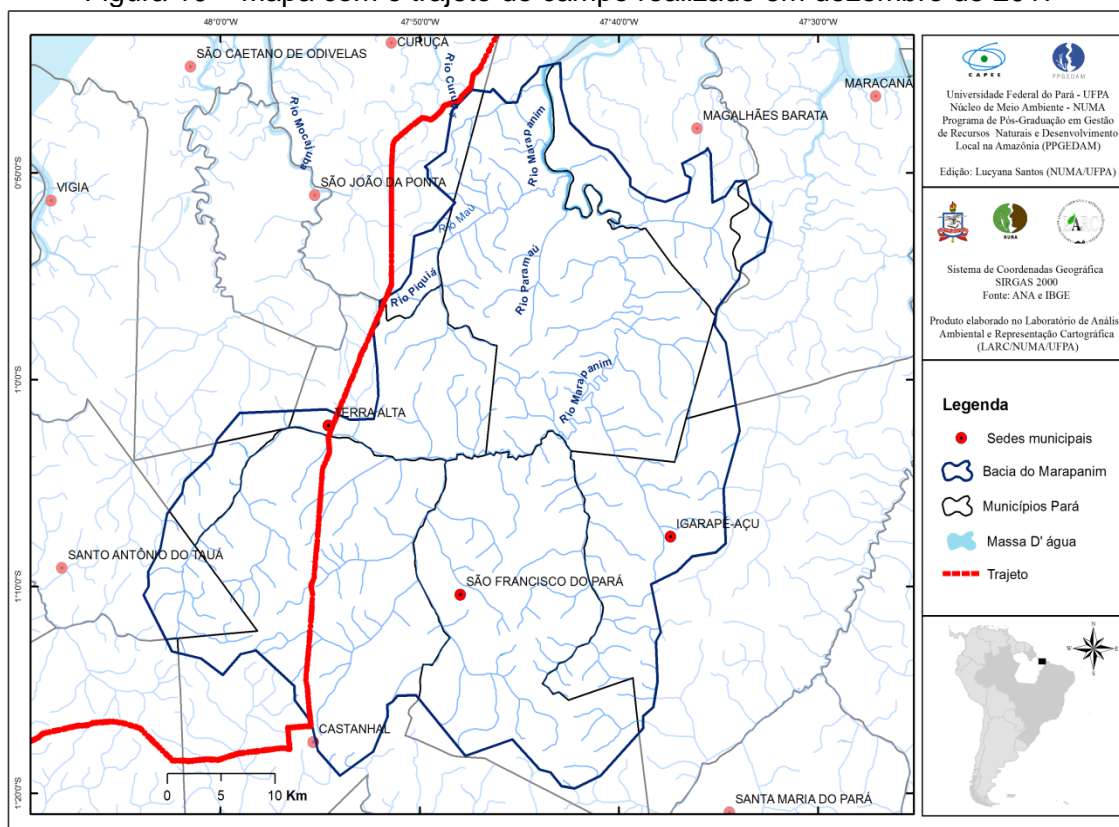
Figura 9 – Imagem editada



3.2.4 Trabalho de Campo

Foi realizado um trabalho de campo durante o mês de dezembro de 2017 (Figura 10), com duas finalidades: reconhecer o máximo de classes temáticas de uso e cobertura da terra presentes nas imagens de satélite e adquirir coordenadas geográficas de referência para a geração do mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2017. As classes temáticas foram associadas aos demais mapas de uso e cobertura da terra dos anos pretéritos.

Figura 10 – Mapa com o trajeto de campo realizado em dezembro de 2017



Fonte: Elaboração da autora

Para descarregar os dados coletados, das representações espaciais do tipo ponto e segmento de reta, georreferenciados com o Receptor GPS e executar a Navegação em Tempo Real foi utilizado Software *ArcGis10.3 for Desktop*.

As fotos georreferenciadas (Figura 11) geradas pela câmera do GPS foram transferidas para o Google Earth através do software livre QGIS 3.0 utilizando-se a função PHOTO2KMZ.

Figura 11 – Fotos georreferenciadas de algumas classes temáticas de uso da terra capturadas durante o trabalho de campo amostradas espacialmente no Google Earth Pro




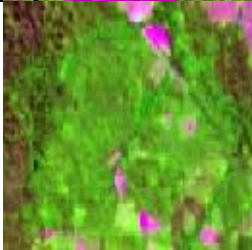
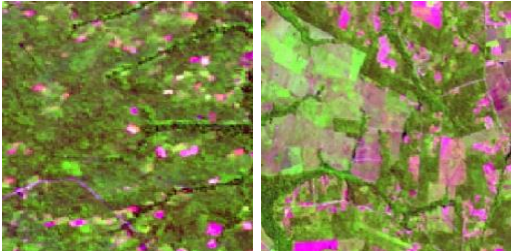

3.2.5 Definição e Descrição das Classes de Uso da Terra

A legenda temática foi gerada de posse das imagens multiespectrais dos diferentes anos observados e levando sempre em consideração a escala de trabalho (1:50.000), dadas as limitações das imagens analisadas diante da fragmentação e heterogeneidade da paisagem da área de estudo e dos elementos de interpretação das imagens.

Para a descrição das classes de uso da terra, foram adotadas e adaptadas algumas classes utilizadas no projeto TerraClass (Uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal). Este projeto representa um importante avanço no mapeamento de padrões temporais de uso e cobertura florestal, na medida em que qualifica as áreas desflorestadas mapeadas pelo PRODES/INPE. Entre os usos da terra, atividades que promovem o desmatamento são vistas como uma das maiores ameaças à proteção da sociobiodiversidade da região. Ao mesmo tempo, possibilitam monitorar a região e auxiliar na elaboração de diagnósticos com função de informar aos gestores e auxiliar no planejamento territorial da Amazônia (ALMEIDA et al., 2014).

No projeto Terraclass foram definidas 12 classes temáticas de uso e cobertura (Área Não Observada, Agricultura Anual, Área Urbana, Mineração, Mosaico de Ocupação, Outros, Pasto com Solo Exposto, Pasto Limpo, Pasto Sujo, Regeneração com Pasto, Vegetação Secundária e Desmatamento do Ano), além das três classes temáticas do Projeto PRODES, quais sejam, Floresta, Não Floresta e Hidrografia. Nesta pesquisa foram adotadas as classes Floresta, Vegetação Secundária (VS), Agropecuária (que contempla a junção das quatro classes temáticas de pasto e do mosaico de ocupação) e Silvicultura. A classe temática Outros é o agrupamento das seguintes classes: Área Não Observada (nuvens e sombra de nuvens), Área Urbana, Outros, Não Floresta e Hidrografia. O Quadro 1 apresenta uma descrição das classes temáticas de uso da terra utilizadas para interpretação dos dados (EMBRAPA-INPE, 2011), bem como, uma amostra de como estas se apresentavam na imagem Landsat.

Quadro 1 – Descrição das Classes de Uso e Cobertura da terra e sua aparência da Imagem Landsat

Descrição das Classes de uso e cobertura da terra			
Floresta	Vegetação arbórea pouco alterada ou sem alteração, com formação de dossel contínuo.		
Vegetação Secundária (VS)	Áreas que, após a supressão total da vegetação florestal, encontram-se em processo avançado de regeneração da vegetação arbustiva e/ou arbórea ou que foram utilizadas para a prática de silvicultura ou agricultura permanente com uso de espécies nativas ou exóticas.		
Agropecuária	Áreas representadas por uma associação de diversas modalidades de uso da terra. Nesta classe, a agricultura familiar é realizada de forma conjugada ao subsistema de pastagens para criação tradicional de gado.		
Silvicultura	Área com predomínio de culturas de seringa e dendê.		

Fonte: EMBRAPA-INPE, 2011

3.2.6 Modelagem

A subseção 2.1.4 descreve o processo de modelagem adotado nesta pesquisa. Utilizou-se a modelagem como ferramenta que deu apoio à análise das causas e das consequências das mudanças de uso e cobertura da terra (LUCC em inglês). Existem diversos modelos LUCC conhecidos da família de modelos: CLUE (VELDKAMP & FRESCO, 1996; VERBURG et al., 1999; VERBURG et al., 2001), Dinâmica EGO (SOARES-FILHO et al., 2002), GEOMOD (PONTIUS et al., 2001) e LuccME (CARNEIRO, 2006). Estes modelos são classificados de acordo com a finalidade, escala, abordagem ou teoria subjacente.

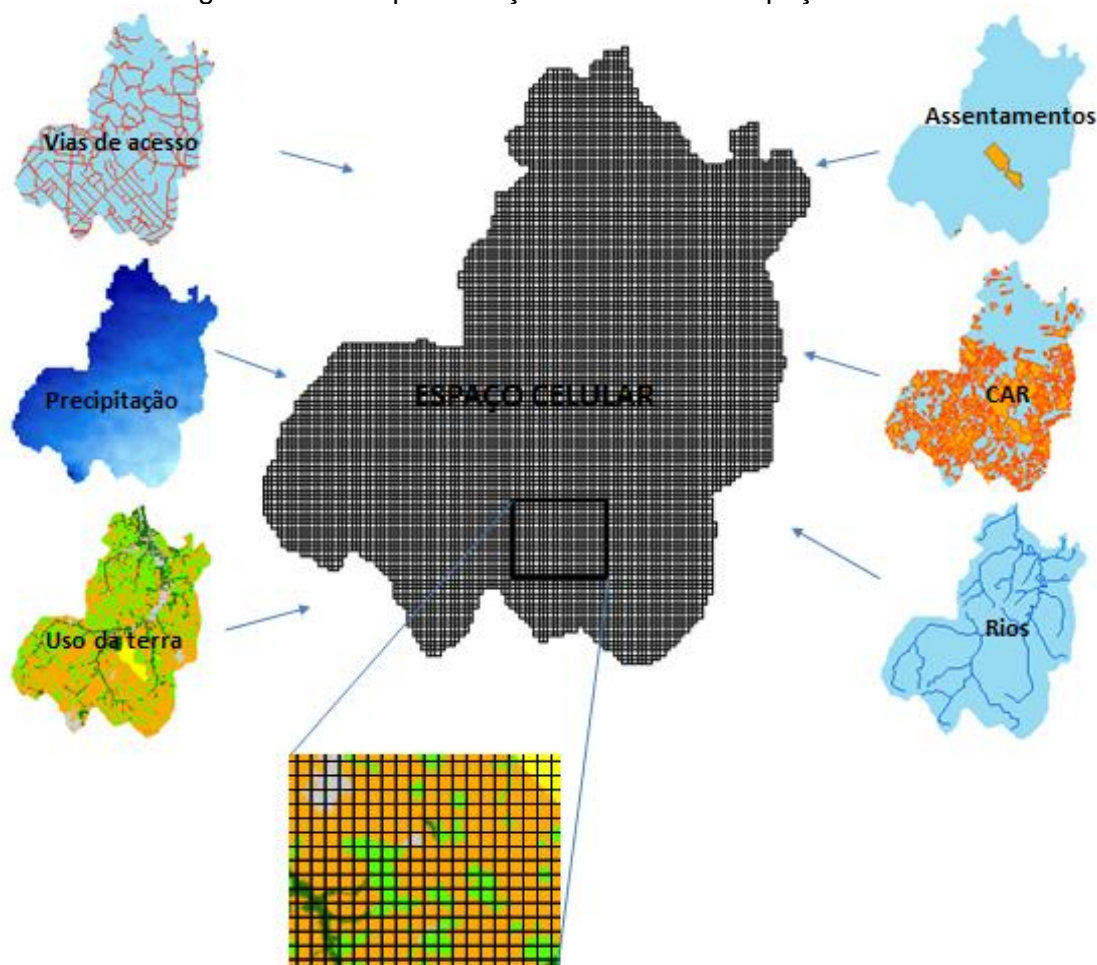
Para o modelo de simulação de mudança de uso da terra a fim de gerar cenários até 2030 foi utilizado o software LuccME 3.1, este foi desenvolvido em um ambiente computacional chamado TerraME (CARNEIRO, 2006), desenvolvido pelo Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST/INPE) e seus parceiros, com o objetivo de desenvolver modelos de mudança de uso e cobertura do solo em múltiplas escalas e em diferentes áreas de estudo, através da combinação de componentes existentes e/ou criação de seus próprios. Este tipo de modelo difere dos modelos espacialmente explícitos existentes por possuir código aberto que facilita sua modificação ou combinação com outros e permite o ajuste da estrutura do modelo de acordo com as necessidades do usuário.

Serão descritas a seguir as etapas do processo de modelagem utilizadas nesta pesquisa.

3.2.6.1 Construção de um Banco de Dados Celular

Foi selecionado um conjunto de variáveis de entrada (vetor e raster) compatibilizadas através do software ArcGIS for Desktop, versão 10.3. Dentro deste conjunto de variáveis temos dois tipos de dados: as variáveis dependentes que são os mapas de uso da terra e as independentes representadas pelos rios, localidades, estradas, solos, etc. Estes dados foram agregados em um espaço celular com resolução espacial de 0,15 Km x 0,15 Km (Figura 12) com auxílio de um plugin que realizou o preenchimento das células no software Terraview com o objetivo de compatibilizar e integrar os dados provenientes de diferentes fontes e formatos.

Figura 12 – Compatibilização de dados no Espaço Celular

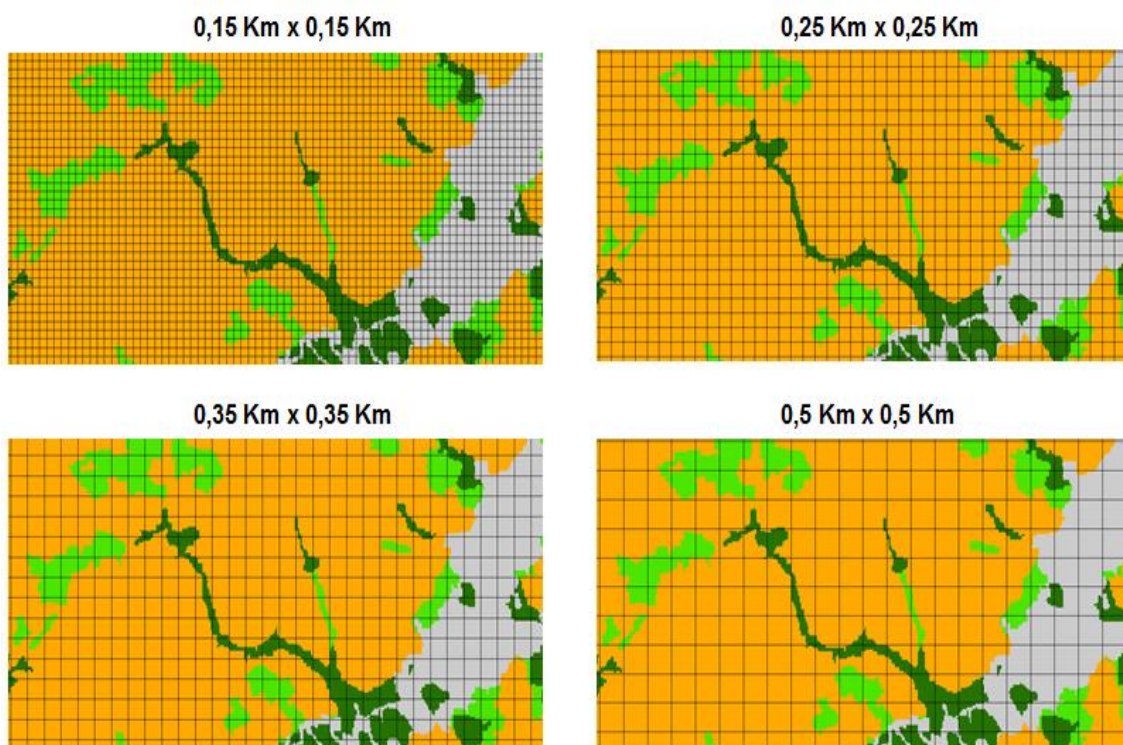


Fonte – Elaboração da autora

Foram realizados testes iniciais onde os dados de entrada foram preenchidos no espaço celular com resolução espacial de $0,01 \text{ Km}^2$, $0,0225 \text{ Km}^2$, $0,0625 \text{ Km}^2$, $0,1225 \text{ Km}^2$ e $0,25 \text{ Km}^2$ (Figura 13), com a finalidade de analisar onde poderia haver perdas de informação. O espaço celular utilizado foi de $0,0225 \text{ Km}^2$ com 94.727 células, pois o que seria ideal de $0,01 \text{ Km}^2$ o computador não executou o processamento.

Aos dados de entrada foram aplicados conforme representação geométrica (polígono, linha, ponto) diferentes operações como: Distância ao objeto mais próximo, Média de valores quantitativos dos objetos que tem alguma intersecção com a célula, Porcentagem de cada valor qualitativo cobrindo a célula, utilizando dados de polígonos ou matriz, etc.

Figura 13 – Espaço celular com diferentes resoluções espaciais



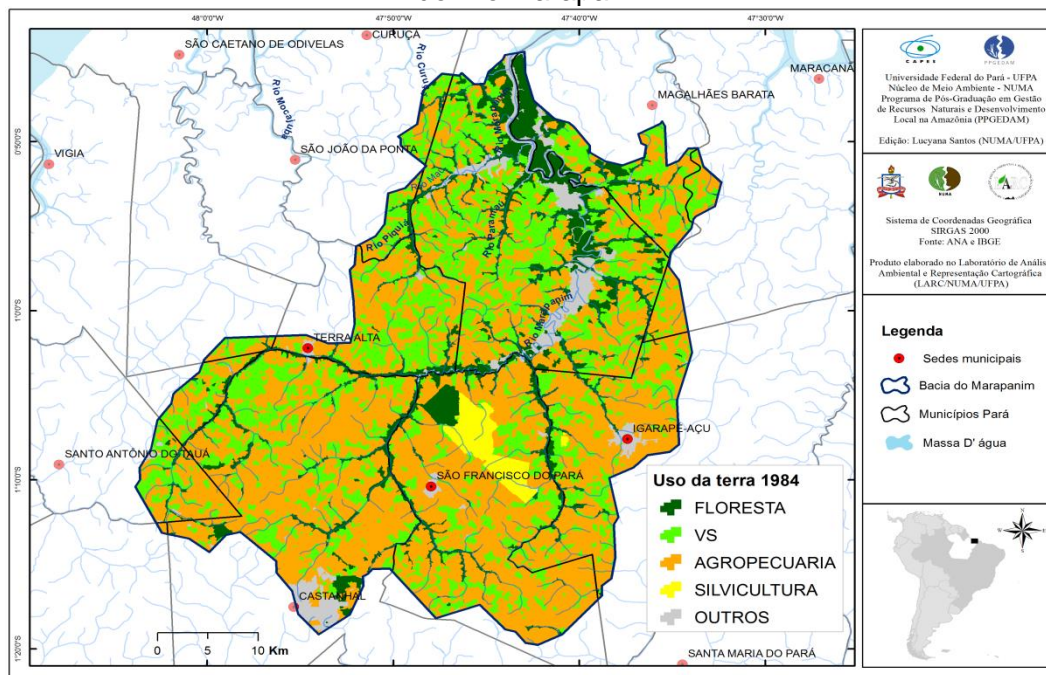
Fonte: Adaptado de Medeiros (2016)

3.2.6.2 Uso da terra e cobertura vegetal/Variáveis dependentes

Conforme mencionado na seção 3 no item 3.2.5 que discute sobre a definição e descrição das classes de uso da terra, estas foram consideradas na modelagem como variáveis dependentes e serão utilizadas para estimar os dados de demanda, que irão compor a quantidade de mudança para cada transição de uso.

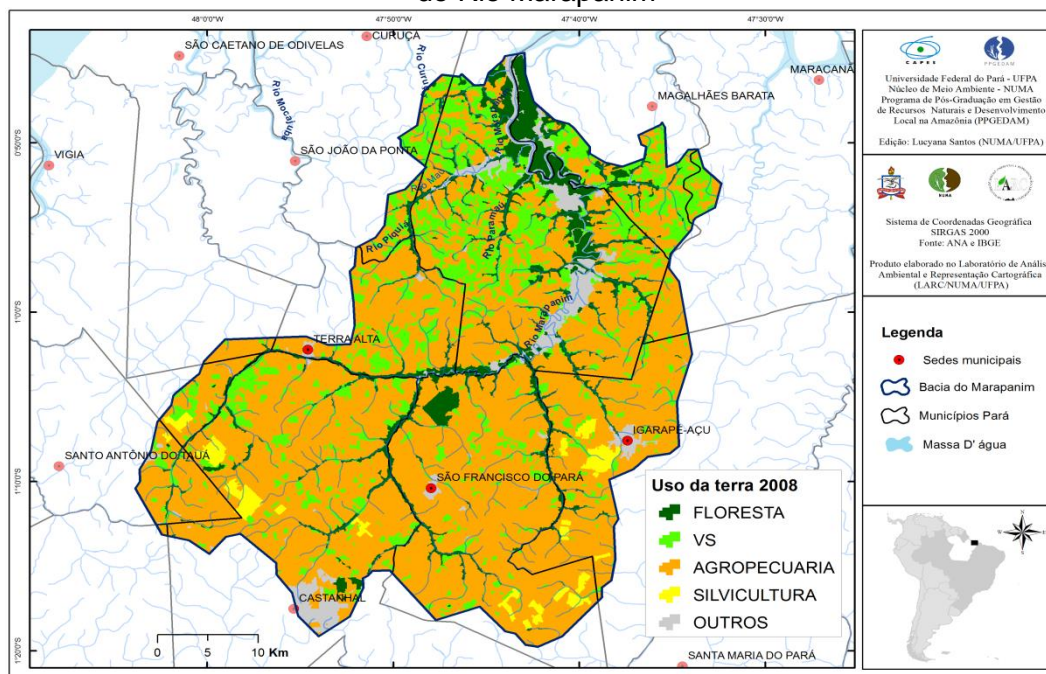
Os mapas de uso da terra gerados a partir das imagens Landsat foram mapeados na escala de 1:50.000 nos anos de 1984, 2008 e 2017 (Figuras de 14 a 16) e os dados quantificados serão detalhados no item 4.2.

Figura 14 – Mapa de uso da terra e cobertura vegetal do ano de 1984 da bacia hidrográfica do Rio Marapanim



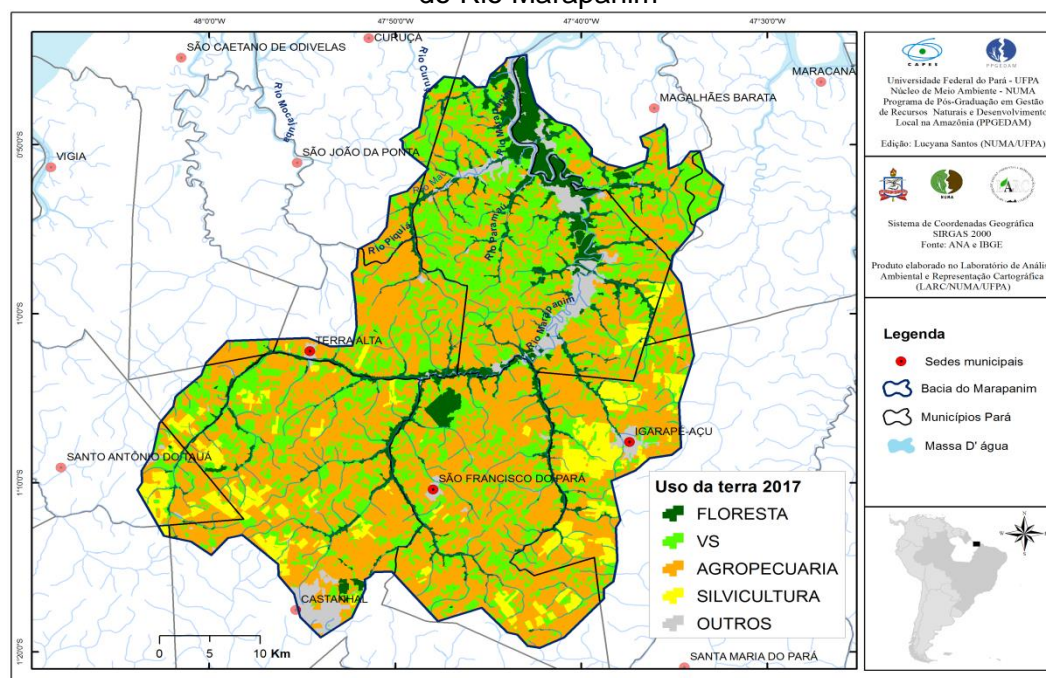
Fonte: Elaboração da autora

Figura 15 – Mapa de uso da terra e cobertura vegetal do ano de 2008 da bacia hidrográfica do Rio Marapanim



Fonte: Elaboração da autora

Figura 16 – Mapa de uso da terra e cobertura vegetal do ano de 2017 da bacia hidrográfica do Rio Marapanim



3.2.6.3 Fatores determinantes potenciais/Variáveis independentes

Para compor o banco de dados desta pesquisa foram selecionadas 16 variáveis socioeconômicas e ambientais que estariam potencialmente determinando as mudanças nos padrões de uso da terra encontrados na bacia hidrográfica do Rio Marapanim apresentadas na Tabela 1. A lista das variáveis foi composta segundo a disponibilidade de dados e para os dados de municípios foram amostrados apenas os que possuíam sede na área da bacia. Nas figuras 17 a 31 são mostradas as variáveis e sua distribuição espacial especificadas na Tabela 1. As variáveis selecionadas foram agrupadas da seguinte forma:

- Variáveis de alcançabilidade a mercados: distância a rodovias, rios e sedes municipais;
- Variáveis demográficas: taxa de crescimento populacional rural;
- Variáveis de estrutura agrária: dados de CAR referentes à distribuição/concentração de imóveis, mostrando a situação de pequenas (menores ou iguais a 55 ha.), médias (maiores que 55 até 165 ha) e grandes (maiores que 165 ha), em termos do número total de propriedades e da área dos municípios com a presença das sedes na área da bacia;

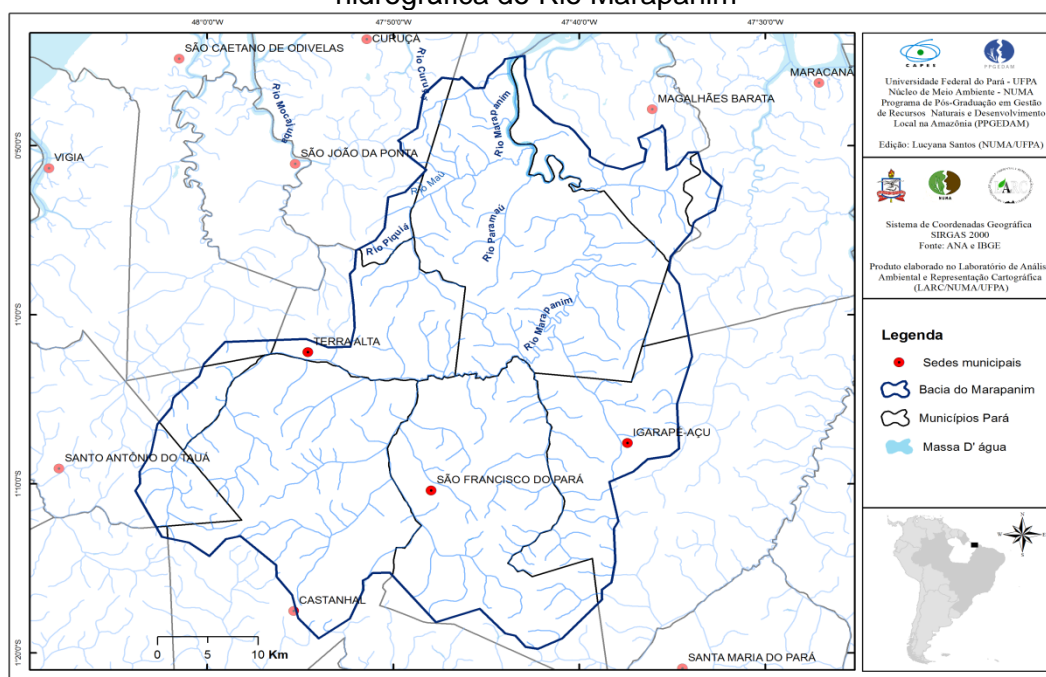
- Variáveis de políticas públicas: projetos de assentamento, unidades de conservação e Zoneamento Agroecológico do Dendê para as Áreas Desmatadas da Amazônia Legal - ZAE-Dendê;
- Variável de produtividade: dados da produção de dendê e dados de lavoura permanente e pecuária;
- Variáveis ambientais: altitude, precipitação, temperatura e aptidão do solo;
- Variáveis de monitoramento: densidade de focos de calor.

Tabela 1 – Categorias, fatores determinantes potenciais e operadores utilizados para o preenchimento do espaço celular

Categoria	Dados	Operadores	Tipo	Fonte	Período
Alcançabilidade a mercados	Sedes municipais	Distância	Ponto	IBGE	2017
	Rodovias (estradas federais e estaduais)		Linha		
	Rios		Linha		
Demográfica	População Rural	Média	Polígono	IBGE	Censo: 2000 e 2010
Estrutura agrária	CAR	Porcentagem de pequenas, médias e grandes Área total de sobreposição entre a célula e o layer de propriedades	Polígono	SEMAS	2017
	CAR				
Política pública	Assentamentos	Porcentagem de área com projetos de assentamentos	Polígono	INCRA	2018
	Unidades de Conservação	Porcentagem de áreas com unidades de conservação		MMA	2014
	ZAE dendê	Porcentagem de cada classe		Raster	EMBRAPA
Produtividade	Produção de dendê Lavoura permanente Pecuária	Média	Polígono	IBGE	2006

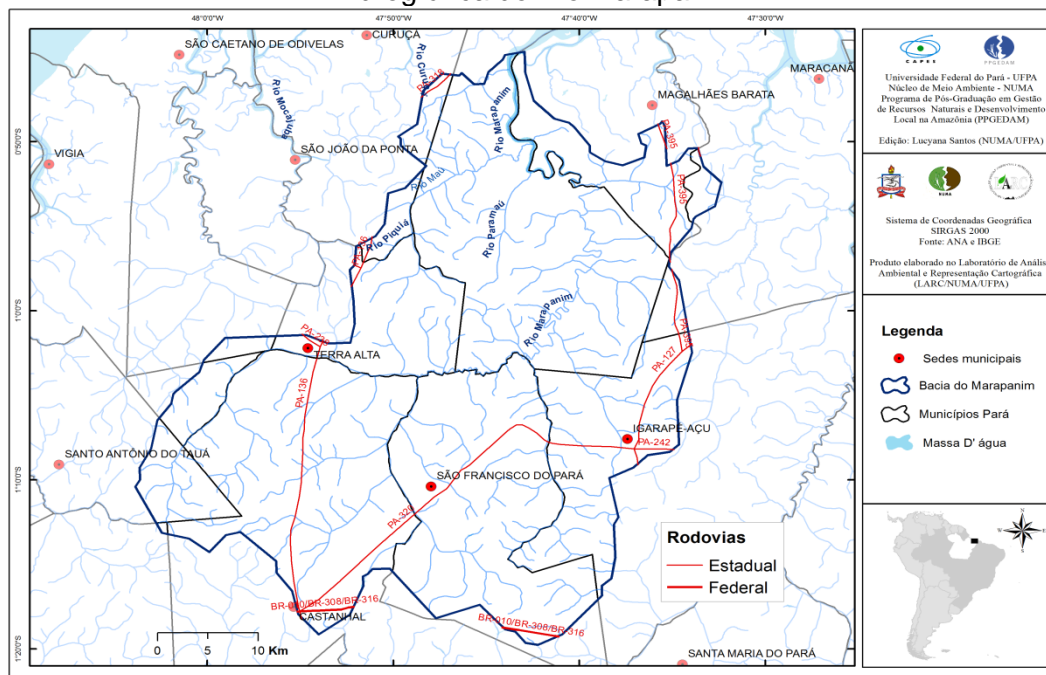
	Altitude			INPE	2011
Ambientais	Precipitação	Média		WorldClim	2017
	Temperatura		Raster		
	Aptidão do solo	Porcentagem de cada classe		INPE	2016
Monitoramento	Focos de calor	Porcentagem de cada classe	Raster	INPE	2008

Figura 17 – Mapa de localização das sedes municipais e rios presentes na bacia hidrográfica do Rio Marapanim



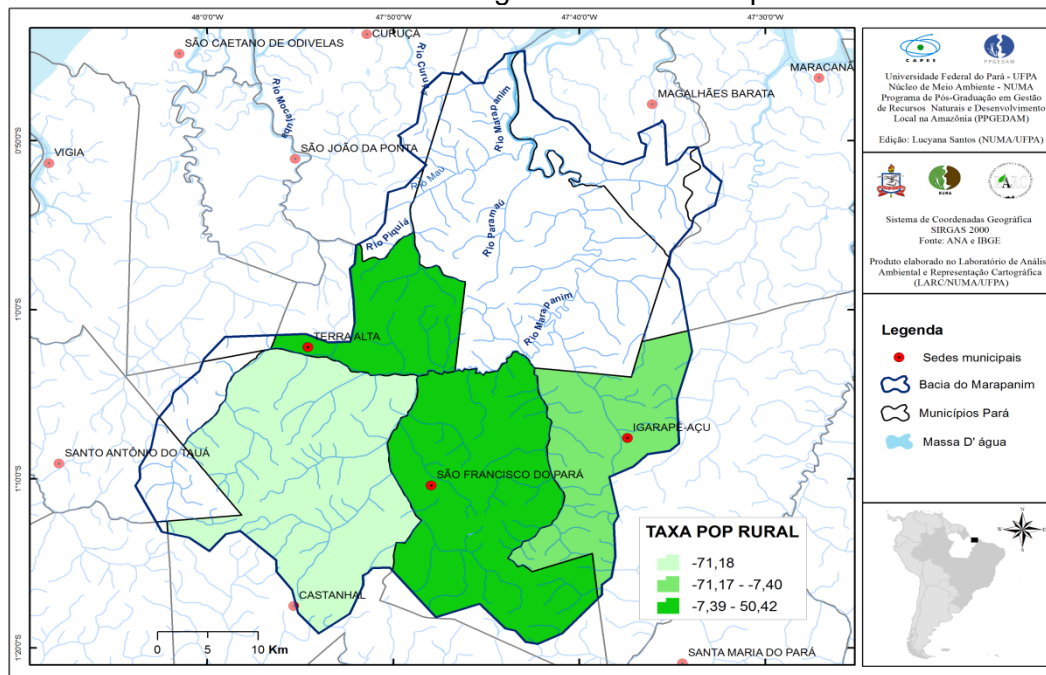
Fonte: ANA (2006) e IBGE (2016)

Figura 18 – Mapa de localização das rodovias estaduais e federais presentes na bacia hidrográfica do Rio Marapanim



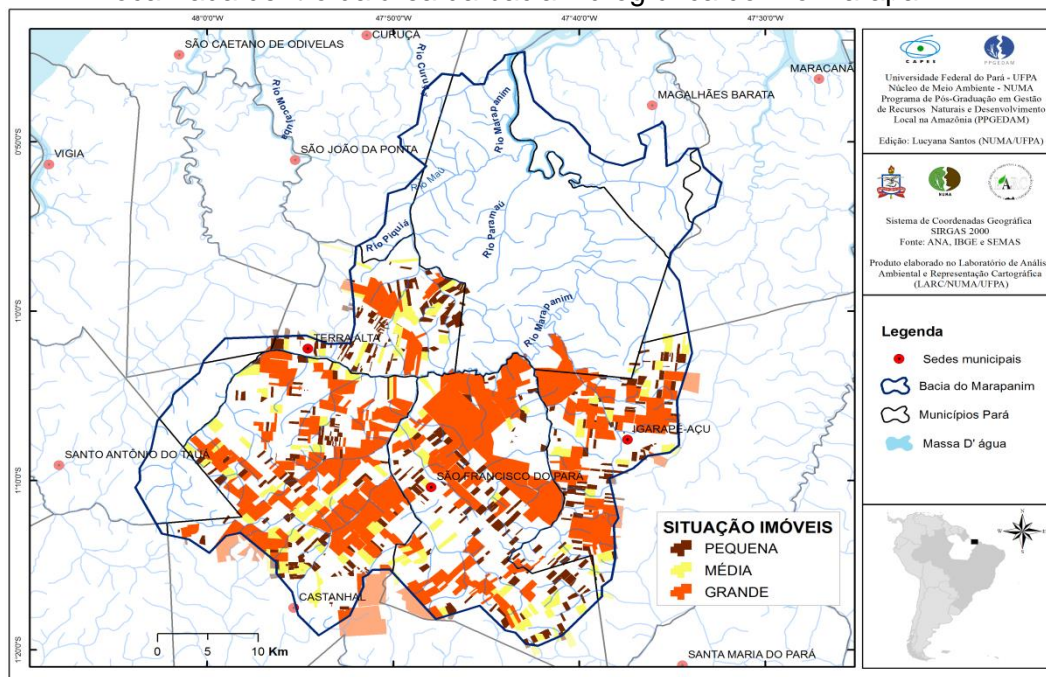
Fonte: ANA (2006) e IBGE (2016)

Figura 19 – Mapa da taxa populacional rural dos municípios com sede localizada dentro da área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim



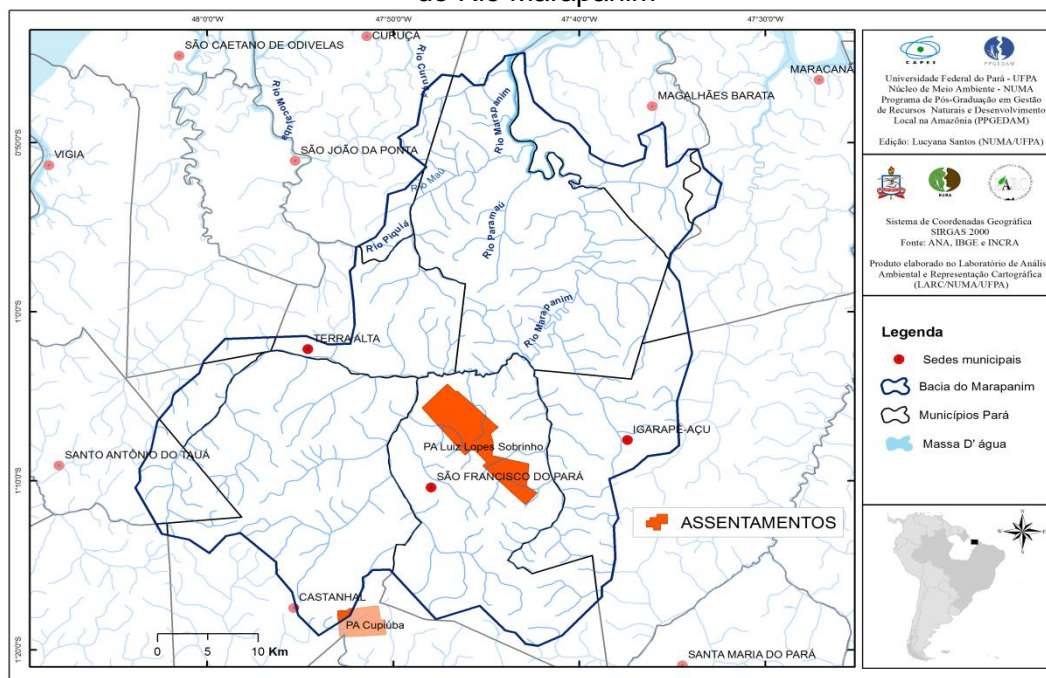
Fonte: ANA (2006) e IBGE (2000, 2010 e 2016)

Figura 20 – Mapa da distribuição espacial das propriedades rurais nos municípios com sede localizada dentro da área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim



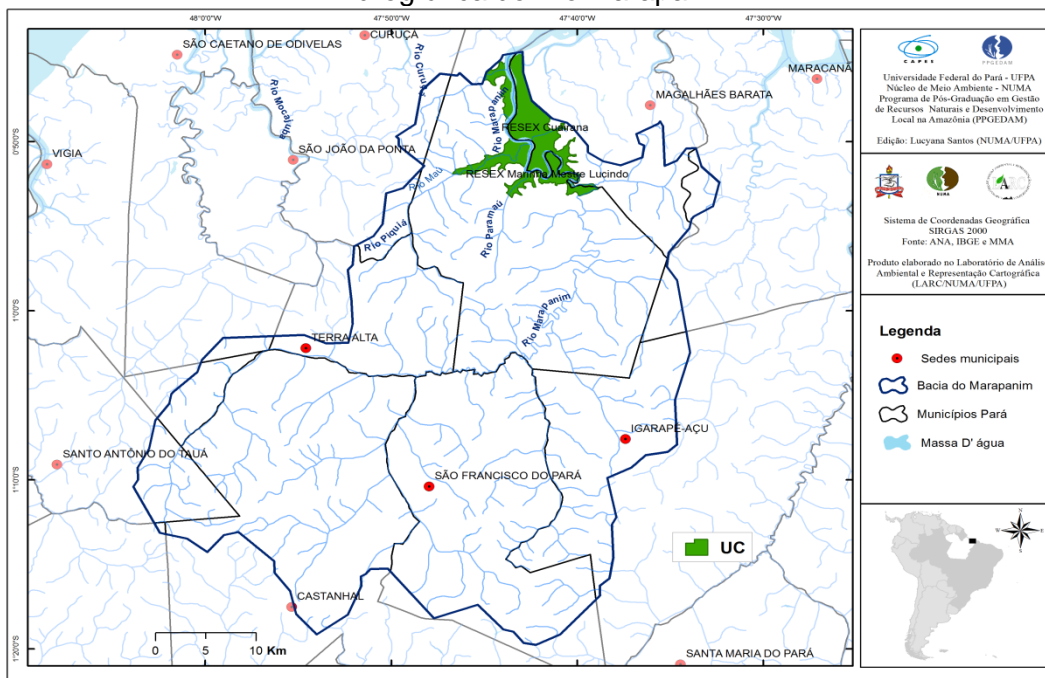
Fonte: ANA (2006), IBGE (2016) e SEMAS (2017)

Figura 21 – Mapa da distribuição espacial dos assentamentos na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim



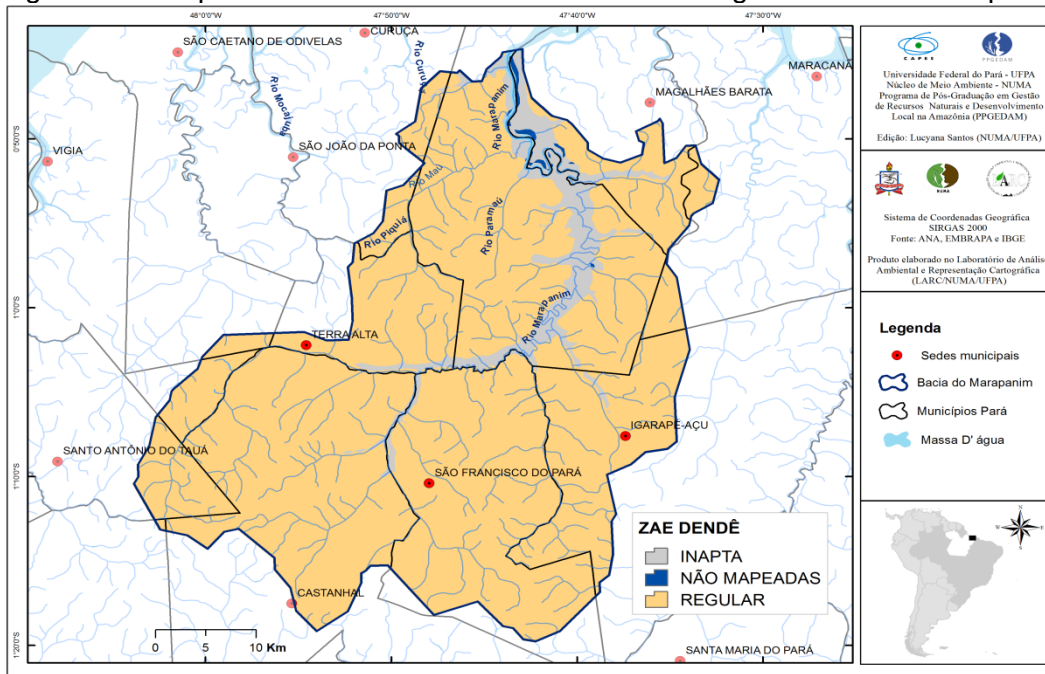
Fonte: ANA (2006), IBGE (2016) e INCRA (2018)

Figura 22 – Mapa da distribuição espacial das unidades de conservação na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim



Fonte: ANA (2006), IBGE (2016) e MMA (2006)

Figura 23 – Mapa do ZAE Dendê na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim



Fonte: ANA (2006), EMBRAPA (2010) e IBGE (2016)

Figura 24 – Mapa da taxa (%) de produção de dendê dos municípios com sede localizada dentro da área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim

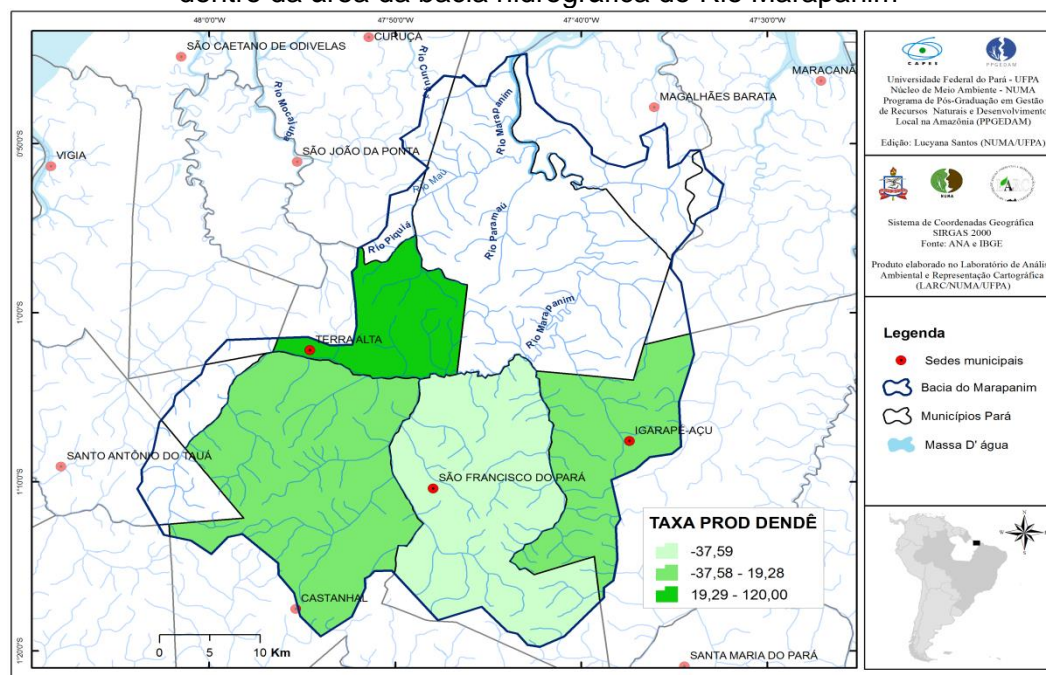


Figura 25 – Mapa da lavoura permanente dos municípios com sede localizada dentro da área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim

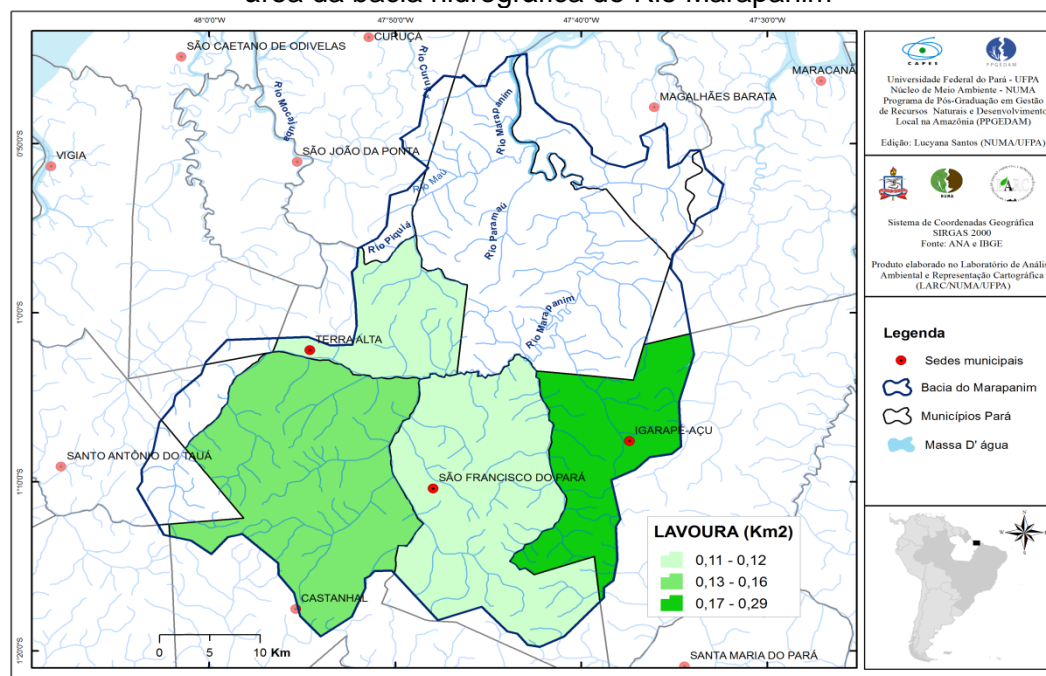
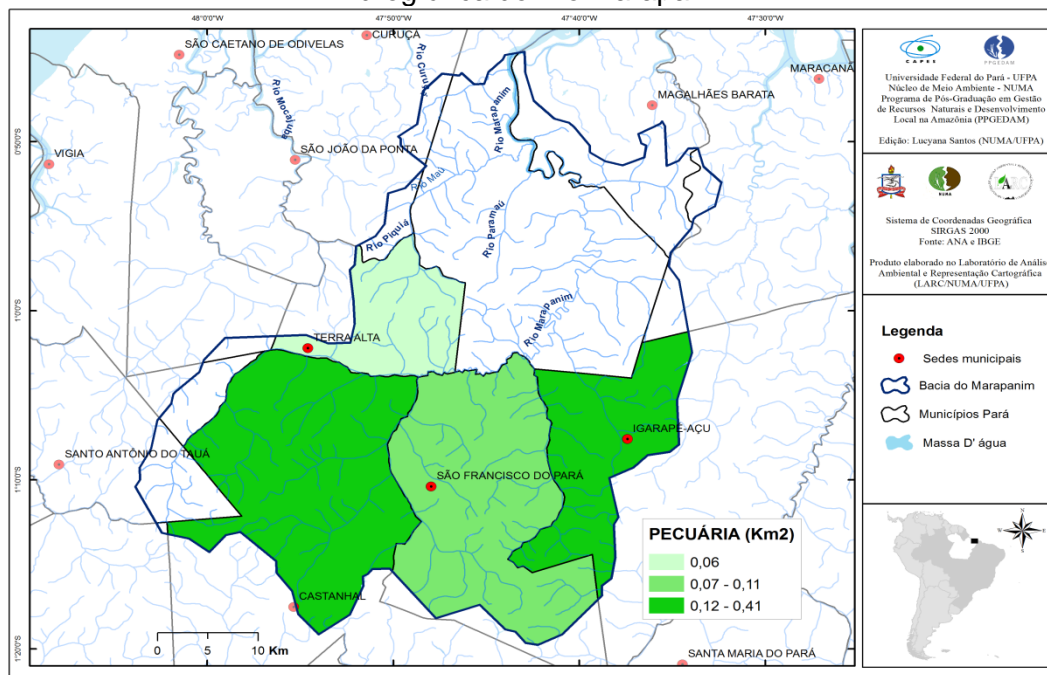
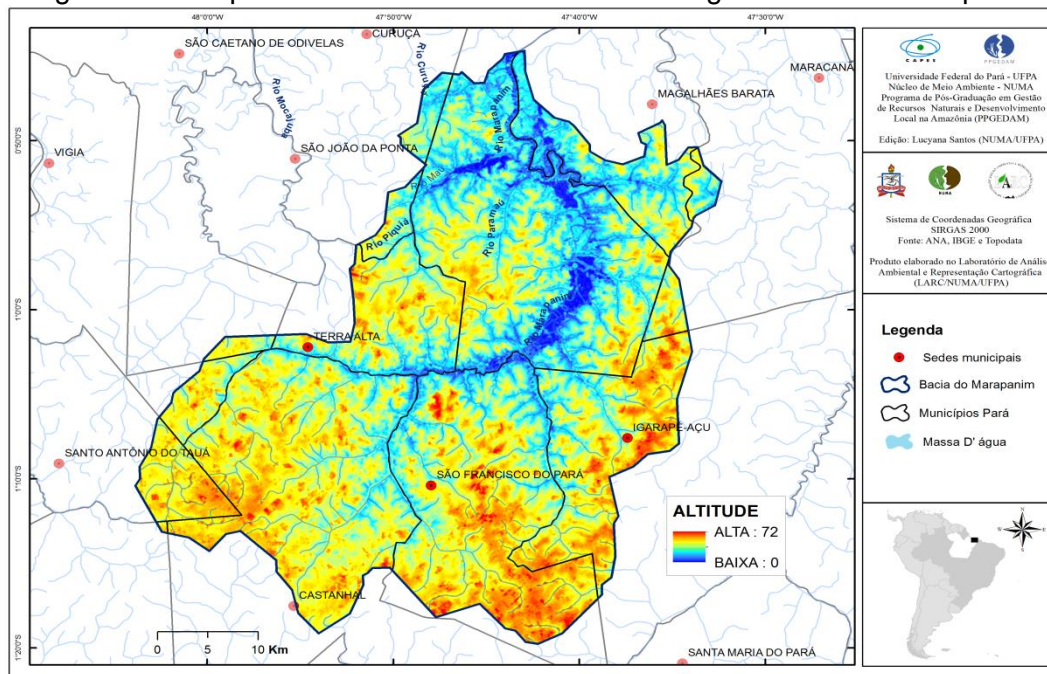


Figura 26 – Mapa da pecuária dos municípios com sede localizada dentro da área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim



Fonte: ANA (2006) e IBGE (2006, 2016)

Figura 27 – Mapa de altitude na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim



Fonte: ANA (2006), IBGE (2016) e Topodata/INPE (2011)

Figura 28 – Mapa da precipitação média anual na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim

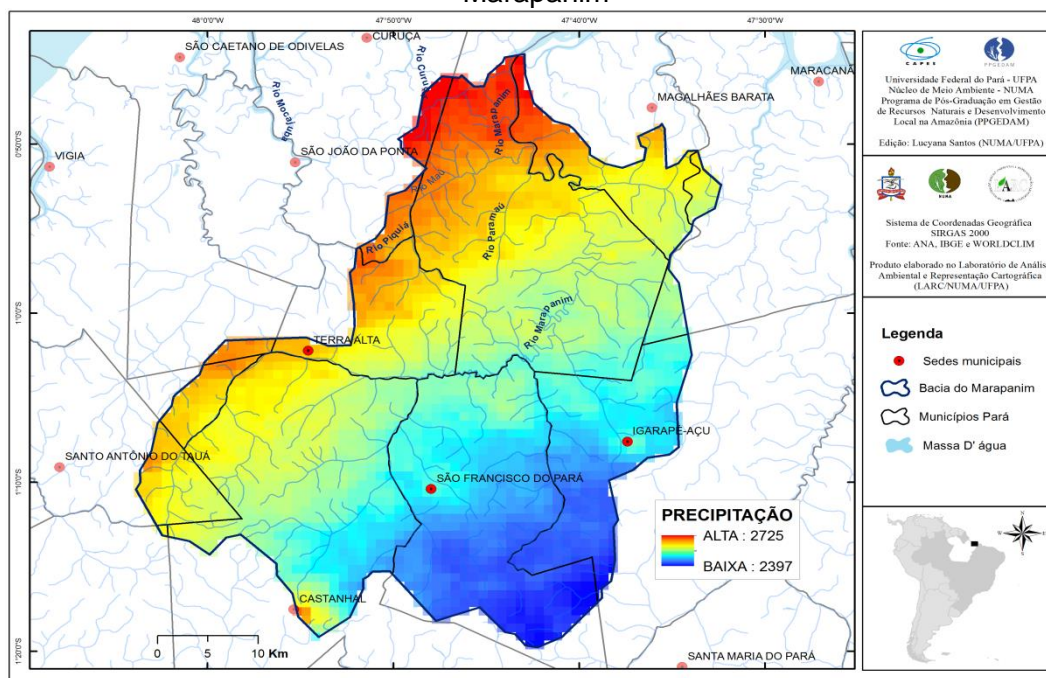


Figura 29 – Mapa da temperatura média anual na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim

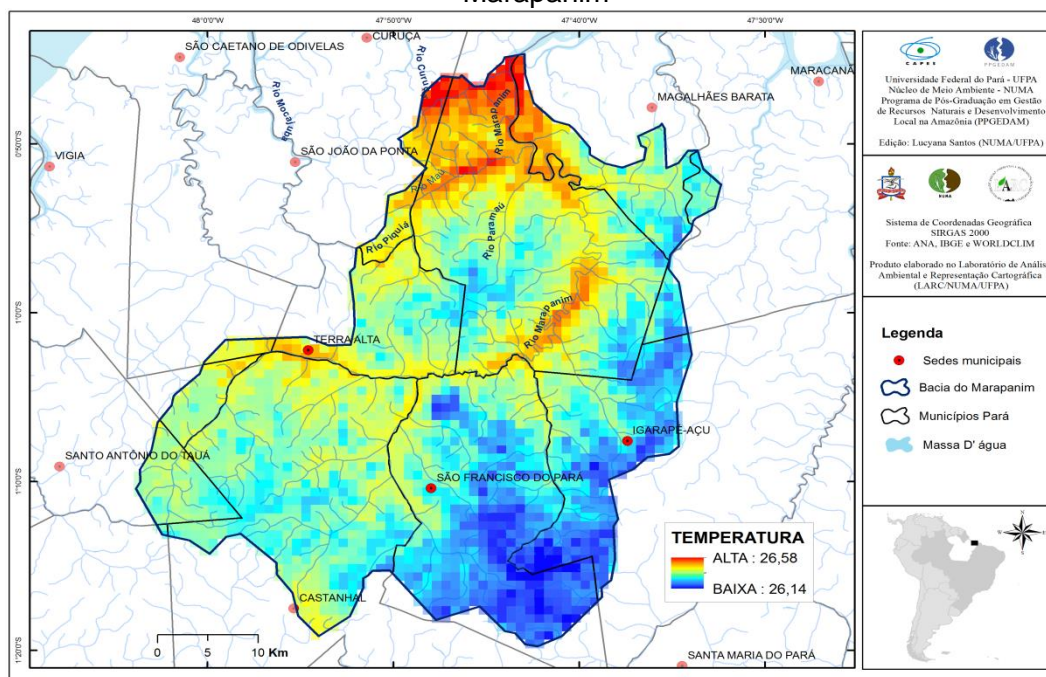
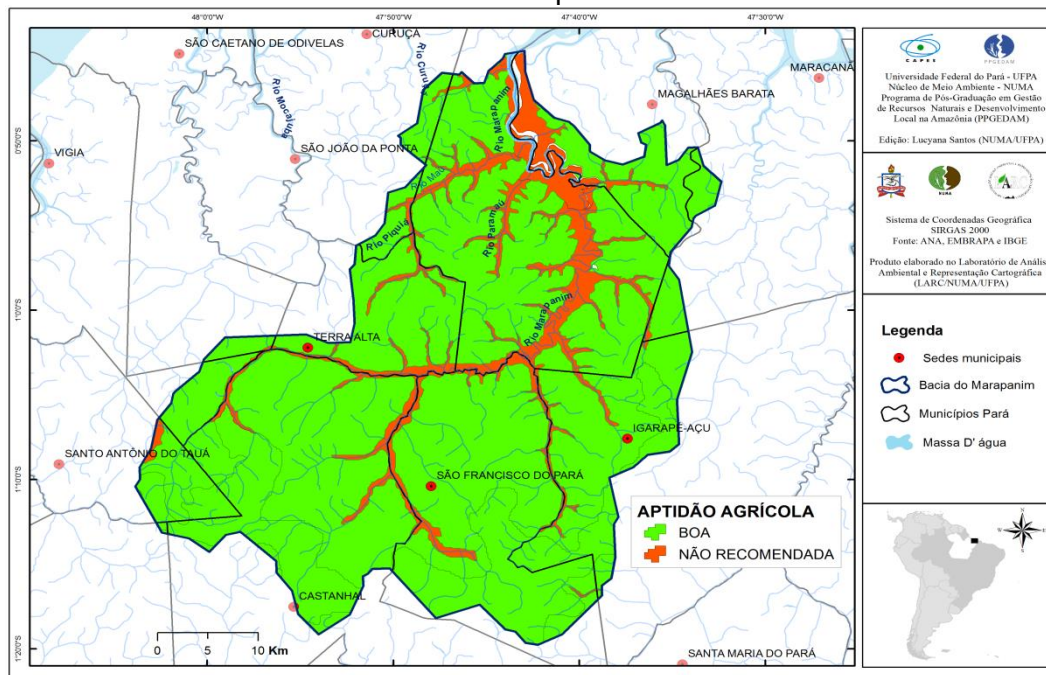
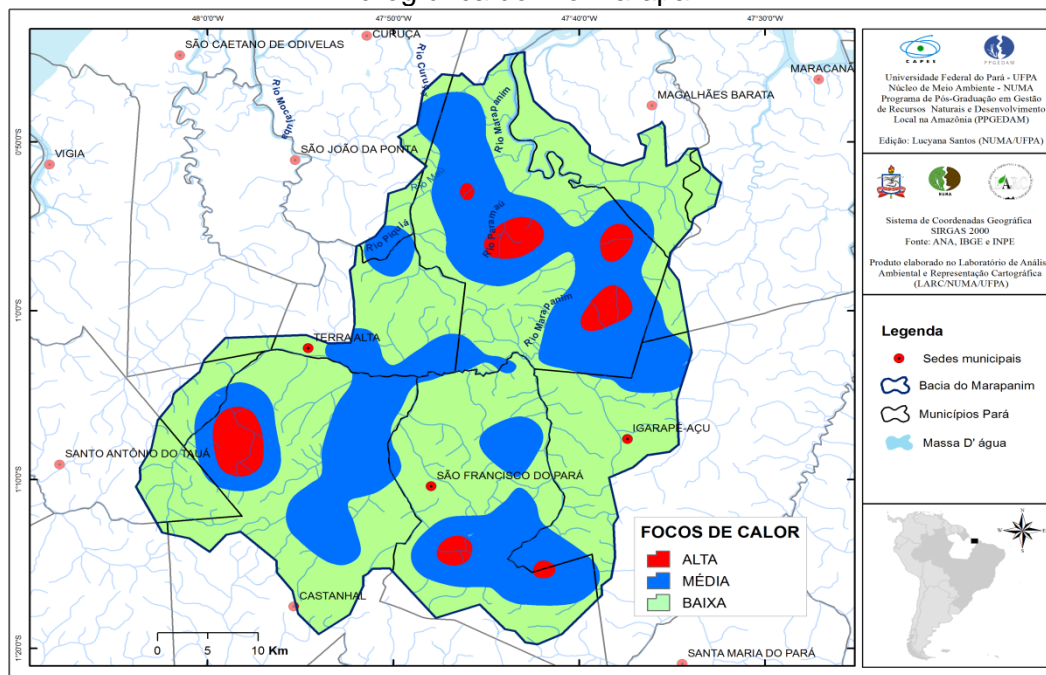


Figura 30 – Mapa de aptidão agrícola das áreas alteradas da área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim



Fonte: ANA (2006), EMBRAPA (2016) e IBGE (2016)

Figura 31 – Mapa categorizado da densidade de focos de calor (2008) na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim



Fonte: ANA (2006), IBGE (2016) e INPE (2008)

3.2.6.4 Análise exploratória

Antes da parametrização do modelo no LuccME foi realizada uma análise de correlação entre as variáveis dependentes e independentes utilizando-se o software R para a definição das variáveis que teriam potencialidade para representar melhorar cada uso da terra. Foi adotada a correlação de Spearman uma vez que os dados analisados eram dados não normais e/ou sem relação linear e gerado correlograma (Apêndice A). Foram inseridas no modelo as variáveis que apresentaram uma correlação menor que 60% entre elas, a fim de preservar que os fatores potenciais tivessem um alto grau de correlação entre eles (Apêndice B). A Figura 32 apresenta uma amostra da matriz de correlação gerada utilizando-se o software R.

Figura 32 – Amostra da matriz de correlação gerada através do software R

	incra_CAS	incra_SFP	carsit_MED	carsit_PEQ	mun_dende	munlavoura
incra_CAS	1	0	-0,01	0	-0,02	0,02
incra_SFP	0	1	-0,04	-0,03	-0,23	0
carsit_MAD	-0,01	-0,04	1	0,01	-0,04	0,2
carsit_PEQ	0	-0,03	0,01	1	0	0,22
mun_dende	-0,02	-0,23	-0,04	0	1	-0,05
munlavoura	0,02	0	0,2	0,22	-0,05	1
ui_1	0,01	0,02	0,06	0,13	-0,15	0,27
ui_2	0	-0,03	0,06	-0,01	-0,03	0,13
ui_3	-0,02	-0,05	-0,04	-0,07	0,14	-0,22
ui_4	-0,01	0,04	-0,06	-0,08	0,04	-0,17
ui_5	0,02	-0,03	-0,05	-0,06	0,06	-0,1
uf_1	0,01	0,01	0,04	0,09	-0,12	0,15
uf_2	-0,01	-0,05	0,08	0,02	0,1	0,2
uf_3	-0,01	-0,01	-0,03	-0,03	0,03	-0,14
uf_4	-0,01	0,04	-0,06	-0,08	0,04	-0,16
uf_5	0,02	-0,03	-0,05	-0,06	0,06	-0,1

3.2.6.5 Componente de Demanda

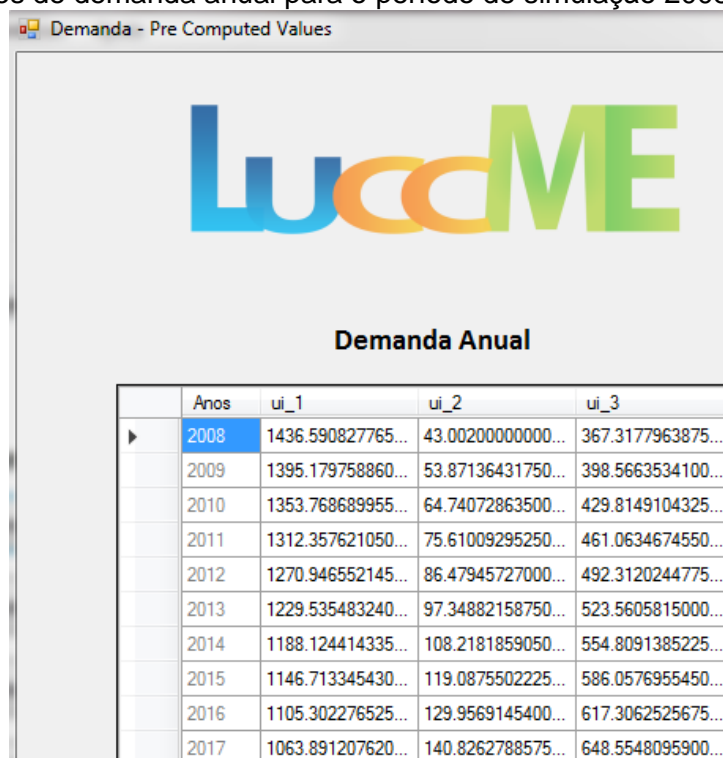
A componente de demanda é calculada através da quantidade das mudanças de cada uso da terra em cada espaço de tempo ou período de ano que será simulado.

A demanda anual foi calculada a partir dos valores de área (Km²) de cada classe de uso da terra nos anos de 1984 a 2017, utilizando-se a seguinte fórmula:

$$\text{Demanda anual} = \frac{\text{Uso do último ano} - \text{Uso do ano inicial}}{\text{Número de anos}}$$

A Figura 33 mostra os valores das demandas calculadas para o período de 2008 a 2017 e que foram inseridos no modelo de simulação.

Figura 33 – Valores de demanda anual para o período de simulação 2008 a 2017



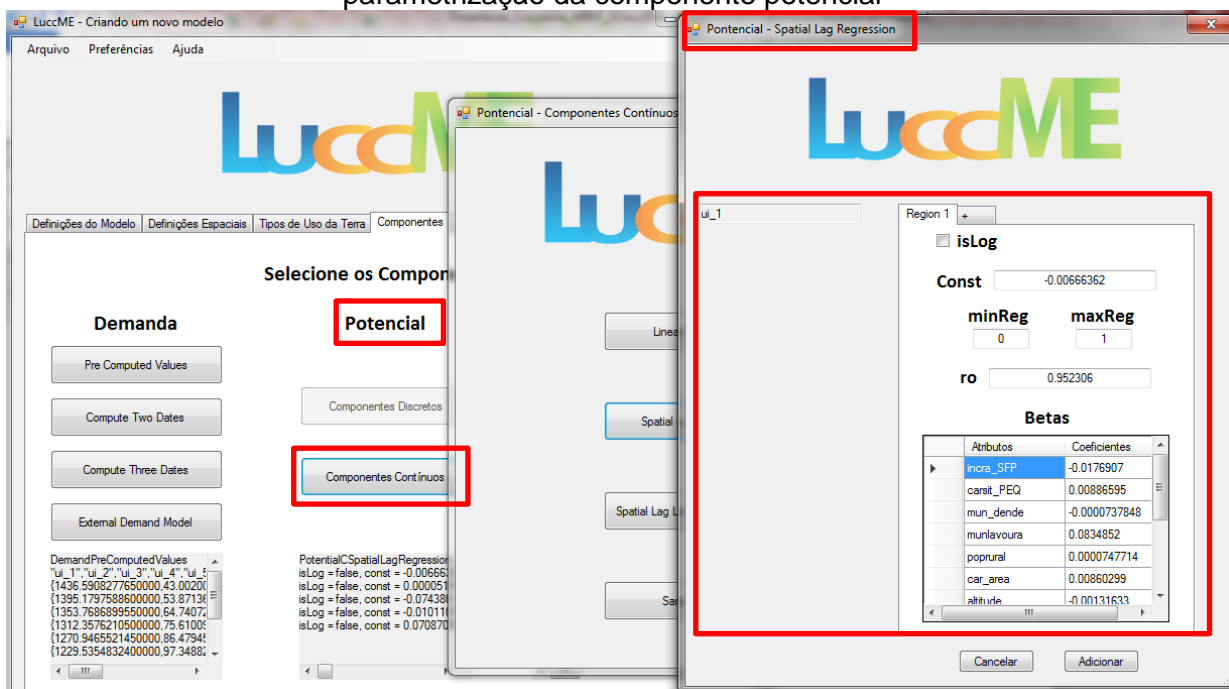
	Anos	ui_1	ui_2	ui_3
▶	2008	1436.590827765...	43.00200000000...	367.3177963875...
	2009	1395.179758860...	53.87136431750...	398.5663534100...
	2010	1353.768689955...	64.74072863500...	429.8149104325...
	2011	1312.357621050...	75.61009295250...	461.0634674550...
	2012	1270.946552145...	86.47945727000...	492.3120244775...
	2013	1229.535483240...	97.34882158750...	523.5605815000...
	2014	1188.124414335...	108.2181859050...	554.8091385225...
	2015	1146.713345430...	119.0875502225...	586.0576955450...
	2016	1105.302276525...	129.9569145400...	617.3062525675...
	2017	1063.891207620...	140.8262788575...	648.5548095900...

3.2.6.6 Componente de Potencial

Este componente é realizado através de regressões realizadas para analisar a relação das variáveis potenciais com as mudanças de uso da terra. Como mencionado no item 2.1.4 este componente é de grande importância, pois mostra a adequação ou vulnerabilidade de mudança de cada célula em um espaço de tempo.

As variáveis mencionadas nos itens 3.2.6.2 e 3.2.6.3 foram submetidas à regressão linear no software R e à regressão multivariada espacial no software geostatístico GeoDa fora do LuccME e os resultados inseridos e parametrizados no LuccME conforme Figura 34.

Figura 34 – Alocação das variáveis resultantes da regressão multivariada espacial para parametrização da componente potencial



3.2.6.7 Componentes de Alocação

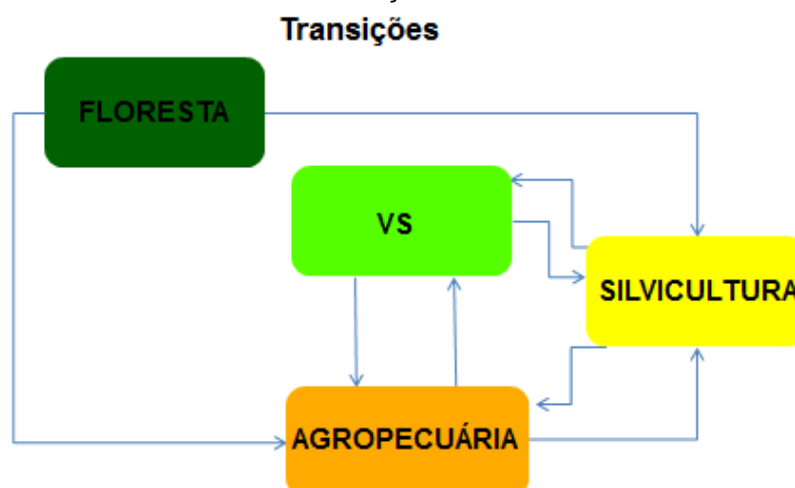
A componente de alocação conforme mencionado no item 2.1.4 está baseada na demanda e no potencial de mudança de uso da terra de cada célula para que seja alocada a distribuição espacial dessa mudança, ou seja, em cada ano é realizada a competição entre classes de uso da terra e determinada quais serão as células convertidas para determinada classe para atender à demanda e ao potencial estabelecidas no ano de amostragem.

No LuccME diferentes regras de alocação podem ser definidas e sua parametrização dependerá da necessidade do usuário (AGUIAR et al., 2017). Nesta pesquisa foi utilizado o algoritmo de alocação disponível no LuccME chamado Clue Like. Este algoritmo se baseia na competição entre as classes de uso alocadas em uma mesma célula, que se ajusta de forma interativa a fim de executar a demanda quando todas as células são consideradas (VERBURG et al., 1999, AGUIAR et al., 2017).

Para esta pesquisa foi adotada a seguinte restrição para as conversões/transições entre as classes de uso representadas na Figura 35. Esta

figura nos mostra quais podem ser as mudanças entre as classes de uso da terra possíveis de ocorrer na área estudada. Existe a possibilidade de conversão da classe Floresta para Silvicultura ou para Agropecuária, porém não poderá ocorrer conversão direta para a classe VS. As transições na área de estudo serão bem mais detalhadas e discutidas na seção 4 desta pesquisa.

Figura 35 – Processos de mudanças entre as classes de uso da terra



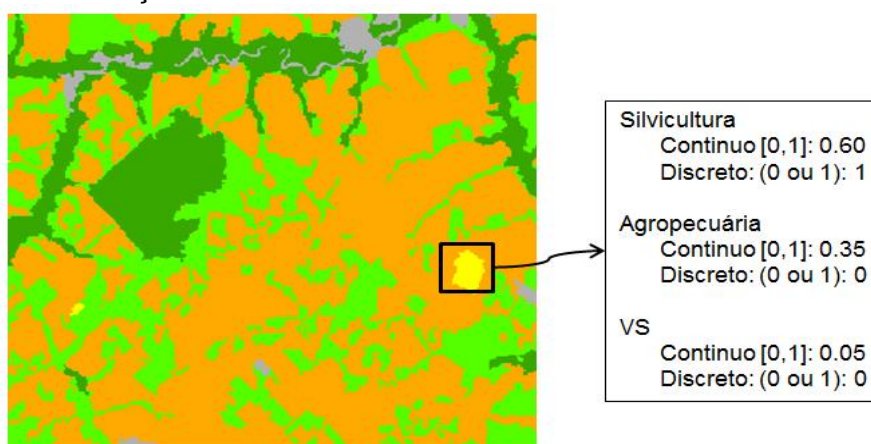
Fonte: Adaptado de Coelho (2009)

3.2.6.8 Implementação e Simulação/Validação do Modelo de Uso da Terra

No LuccME os modelos de uso da terra que serão implementados não operaram em função das transições/mudanças entre as classes de uso, ou seja, as variáveis serão analisadas através do *padrão histórico acumulado* e não pela transição ocorrida entre duas classes de uso da terra em um período determinado (AGUIAR et al., 2017).

Os componentes do LuccME estão organizados em dois grupos e não podem ser utilizados combinados, estes são: Contínuos e Discretos. Nesta pesquisa utilizaremos os algoritmos Contínuos, pois as variáveis de uso da terra serão fornecidas através de percentuais em cada célula no espaço celular (Figura 36).

Figura 36 – Diferença entre modelos com dados de uso da terra contínuos e discretos

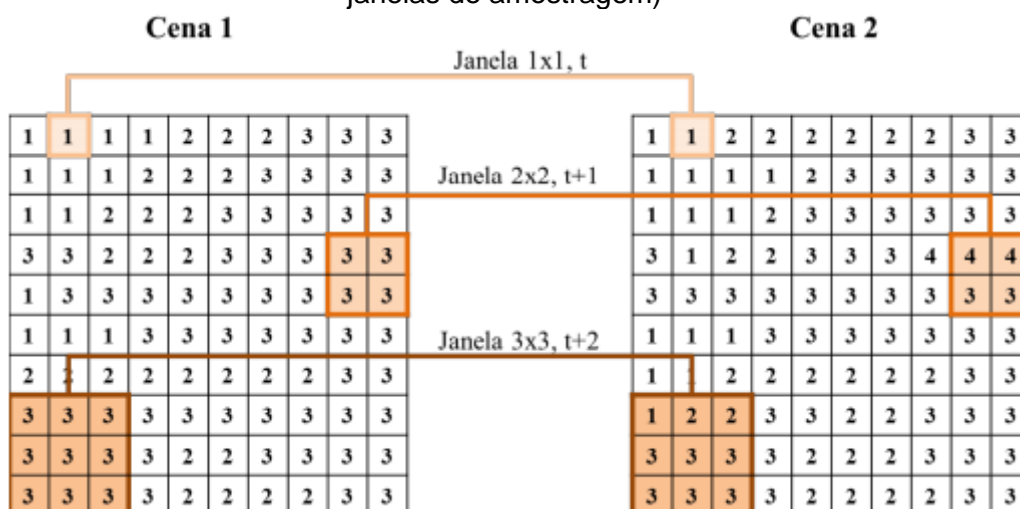


Fonte: Adaptado de Aguiar et al. (2017)

Para a validação dos modelos implementados no LuccME estão disponíveis duas rotinas: multiresolução de toda área (ext) e multiresolução das áreas onde houveram mudanças (dif). As duas rotinas comparam a diferença entre o dado real e o dado simulado. A pesquisa considerou a rotina de multiresolução das áreas a fim de avaliar apenas as áreas onde ocorreram as mudanças.

Os resultados são mostrados em porcentagens de acerto considerados através de janelas de resolução (multiresoluções). Conforme mostra a Figura 37 é realizada uma similaridade entre os mapas observado e simulado em várias resoluções (1x1, 2x2, 3x3, 4x4, 5x5, 6x6, 7x7, 8x8, 9x9 e 10x10), através das janelas de amostragem que vão aumentando em cada espaço de tempo (AGUIAR et al., 2017). A pesquisa adotou o erro permitido por célula de 0%.

Figura 37 – Exemplo de validação por múltipla resolução (agregação de células por meio de janelas de amostragem)



Fonte: Adaptado de Aguiar et al. (2017)

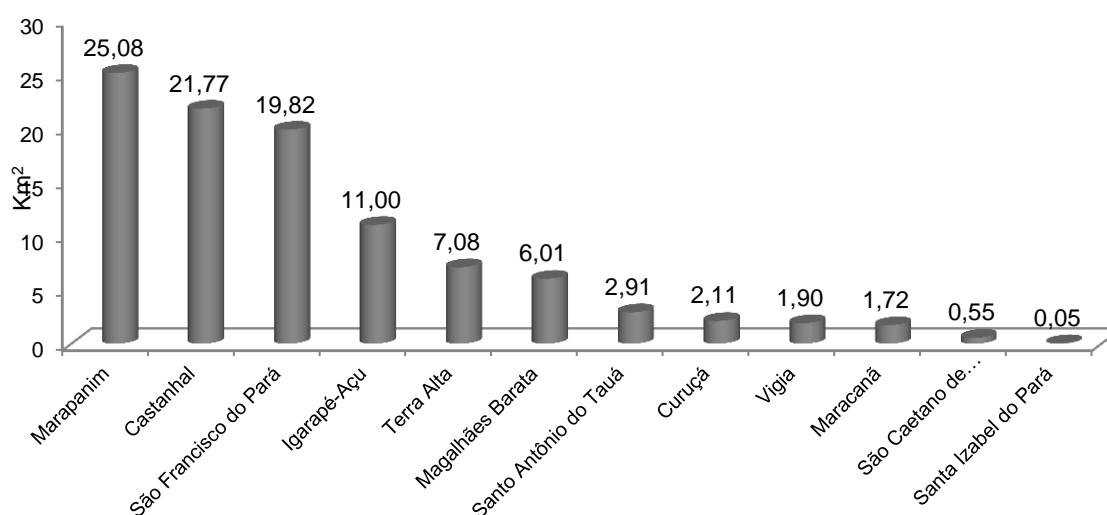
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Área de Estudo

Nesta seção serão fornecidas as informações geradas a partir de SIG, para determinar e avaliar os dados gerais provenientes da base de dados geográficos do IBGE e os dados de desmatamento da base de dados geográficos do PRODES na região da bacia hidrográfica do Rio Marapanim, ao longo de 33 anos.

Ao analisar a área que abrange parte dos 12 municípios que compõe a unidade territorial da bacia, cinco são mais significativos em percentual de área: Marapanim, Castanhal, São Francisco do Pará, Igarapé-Açu e Terra Alta (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Porcentagem dos municípios na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim



Fonte: IBGE, 2016

A partir dos dados disponíveis no site do PRODES/INPE (2017), obtidos das imagens do satélite Landsat TM e Enhanced Thematic Mapper (ETM), órbita-ponto 223-061 foram quantificadas as áreas de desflorestamento das áreas dos municípios que abrangem a bacia. Os cinco municípios acima citados respondem por 69% (1.444 Km²) do desflorestamento total da área da bacia, conforme dados da Tabela 2.

Tabela 2 – Desflorestamento nos municípios na área na bacia hidrográfica do Rio Marapanim

Municípios	Km²	%
Castanhal	393,68	18,78
Curuçá	33,02	1,58
Igarapé-Açu	210,26	10,03
Magalhães Barata	71,48	3,41
Maracanã	32,42	1,55
Marapanim	359,47	17,15
Santa Izabel do Pará	1,02	0,05
Santo Antônio do Tauá	55,53	2,65
São Caetano de Odivelas	10,21	0,49
São Francisco do Pará	357,62	17,06
Terra Alta	122,97	5,87
Vigia	33,62	1,60
Total desmatado	1.681,30	80,22

Fonte: PRODES/INPE, 2017

As estimativas de desflorestamento anual no período de 1997 a 2017 são mostradas no Gráfico 3. A maior taxa apresentada foi no ano de 1997, com 1.322 Km², que segundo os dados do PRODES, este valor representa o acumulado de 1985 a 1997 (agregado quantitativo dos anos anteriores até esta data), seguido do ano de 2001 (121 Km²) e 2003 (71 Km²). Em 1995 7.845 Km² de floresta foram perdidos no Pará, um dos maiores picos de desmatamento registrados pelo PRODES.

A partir de 2004 os dados de desmatamento na área da bacia decrescem acompanhando a tendência da série histórica do PRODES para a Amazônia Legal, o que coincide com ações efetivas de monitoramento e controle implantadas no âmbito do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) (MMA, 2013). Neste mesmo ano também foi implantado o Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real – DETER - para monitoramento contínuo do desmatamento e da degradação florestal progressiva em áreas maiores que 25 hectares. Um aspecto intrigante é que apesar dos sistemas de controle e das medidas do governo federal para o combate da derrubada da floresta na Amazônia se percebe, no entanto, que no ano de 2008 o desmatamento na área da bacia voltou a crescer. No ano de 2008 o Pará contribuiu com 43,4% (5.607 Km²) do desmatamento total da Amazônia Legal (PRODES, 2008).

Gráfico 3 – Evolução do desflorestamento anual a partir dos dados do PRODES/INPE na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim



Fonte: PRODES/INPE, 2017

4.2 Classificação e Análise da Dinâmica de Uso Da Terra e Cobertura Vegetal nos anos de 1984, 2008 e 2017

Esta seção aborda os resultados da análise e evolução da dinâmica de uso e cobertura da área de estudo. Será fornecida a combinação de sensoriamento remoto e SIG a fim de determinar e avaliar os padrões de uso da terra, especialmente explícitos na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim, ao longo de um período de 33 anos.

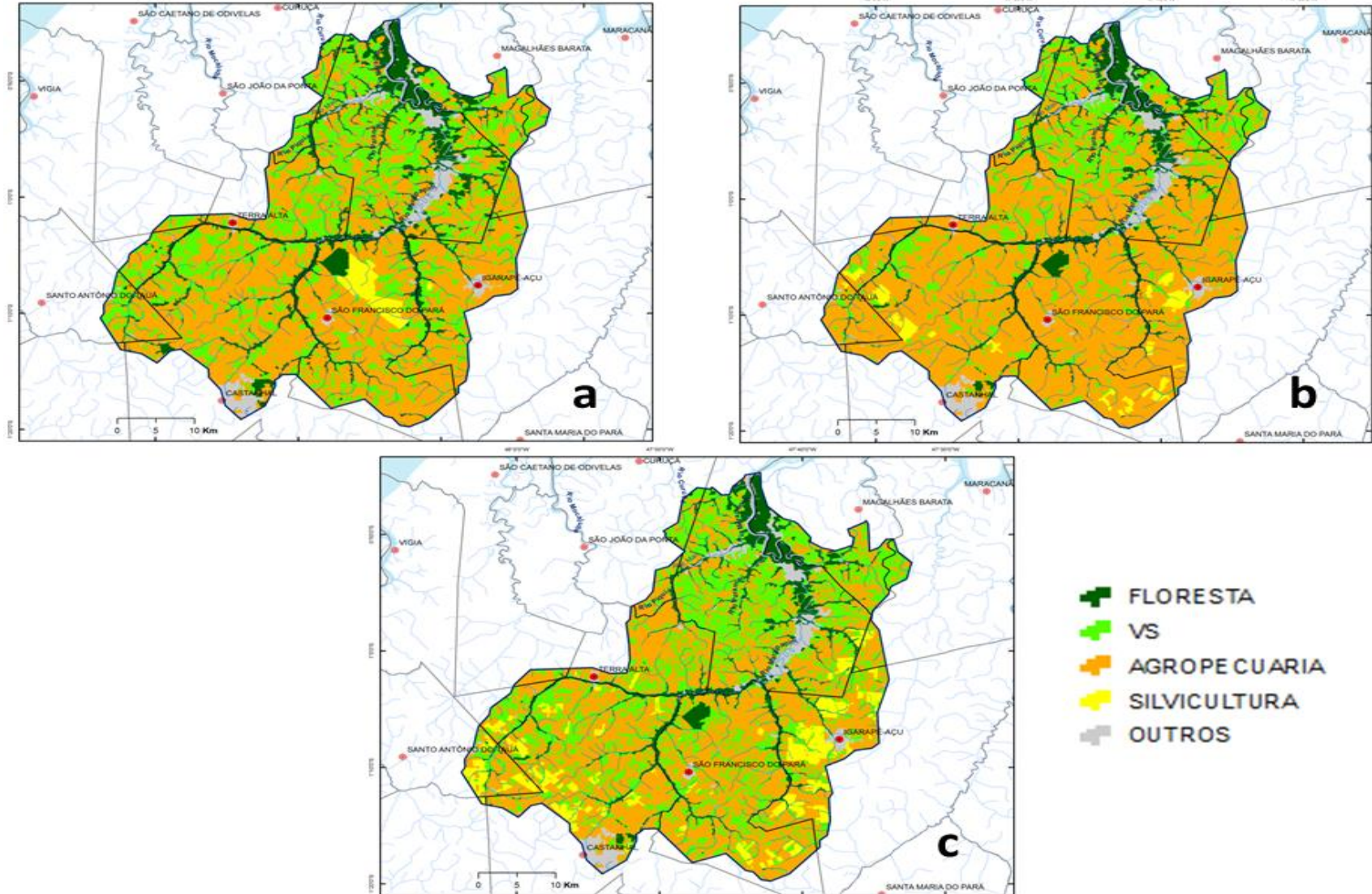
Destaca-se a importância do mapeamento da cobertura de uso da terra, como forma de identificação, espacialização da estrutura da paisagem, bem como, a análise temporal se mostra importante para o planejamento ambiental e territorial de bacias hidrográficas, uma vez que especializa as principais atividades econômicas desenvolvidas em uma área determinada, como também demonstra a tendência de comportamento das atividades ao longo do período de estudo.

Após a etapa de processamento das imagens foram obtidos os mapas classificados do uso da terra e cobertura vegetal para os anos de 1984, 2008 e 2017 conforme mostra a Figura 38 e foi realizada também a quantificação das áreas de cada classe temática consideradas nesta pesquisa (Tabela 3).

Conforme mostra a figura 38 a área total classificada é de 2.096 Km², porém para esta análise as tabelas consideram apenas a área de 2001 Km², pois a classe

temática “Outros” que contempla o conjunto das classes: Área Não Observada (nuvens e sombra de nuvens), Área Urbana, Outros, Não Floresta e Hidrografia foi retirada da análise para todos os anos analisados.

Figura 38 – Uso da terra e cobertura vegetal nos anos de 1984 (a), 2008 (b) e 2017 (c)



Fonte: Elaboração da autora

Tabela 3 – Quantificação das áreas (Km²) mapeadas e percentual das classes de uso da terra e cobertura vegetal na área na bacia hidrográfica do Rio Marapanim

CLASSES	1984		2008		2017	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
FLORESTA	232,27	12	↓ 180,93	9	↓ 174,62	9
VS	604,79	30	↓ 361,60	18	↑ 639,55	32
AGROPECUÁRIA	1126,38	56	↑ 1415,28	71	↓ 1047,66	52
SILVICULTURA	37,19	2	↑ 42,82	2	↑ 138,80	7
Total Geral	2000,63	100	2000,63	100	2000,63	100

↑ Aumento com relação ao ano anterior

↓ Diminuição com relação ao ano anterior

Através da análise da Tabela 3 se verifica que a classe Agropecuária é o padrão dominante e em 1984 ocupava 56% (1.126,38 Km²) da área estudada, em 2008 71% (1.415,28 Km²) e em 2017 52% (1.047,66 Km²). A predominância da classe agropecuária é reflexo do processo de ocupação e colonização desordenada da região do Nordeste Paraense, onde os grandes proprietários de terra direcionam investimentos à criação de gado e produção agrícola (ALMEIDA et al., 2014).

Ao longo do período analisado ocorreu uma diminuição gradativa das áreas de Floresta, onde esta classe ocupava 12% da área em 1984, passando para 9% em 2008 e 2017. Na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim a classe de Floresta se encontra em grande parte ao longo da drenagem, exercendo a proteção dos mananciais e com limitada reserva. Segundo Watrin et al. (1998) no estudo de análise multitemporal do uso da terra e suas interrelações com a cobertura vegetal em comunidades rurais do Nordeste Paraense relatam também a diminuição das áreas de floresta em 10 anos e que se deu em função das condições edáficas desfavoráveis para o desenvolvimento de atividades agropecuárias e não pelo cuidado de preservar ou proteger os mananciais por parte dos produtores da região.

As áreas de VS apresentaram uma redução de 12% no período de 24 anos (1984-2008) e voltaram a aumentar para 14% após nove anos (2008-2017), além de representar a segunda classe mais expressiva da área estudada, essas áreas são muito importantes para a conservação da biodiversidade e estão intimamente relacionadas aos processos de preparo das áreas para a agricultura e implantação de pastagens e atuam como um componente no repouso das terras cultiváveis. Adami et al. (2015) estudando a dinâmica do uso e cobertura da terra no estado do

Pará entre os anos de 2008 a 2012, relatam um avanço das áreas de vegetação secundária provenientes das pastagens e 34% da área dos desflorestamentos ocorridos depois de 2008 foram resultantes da conversão dessa classe.

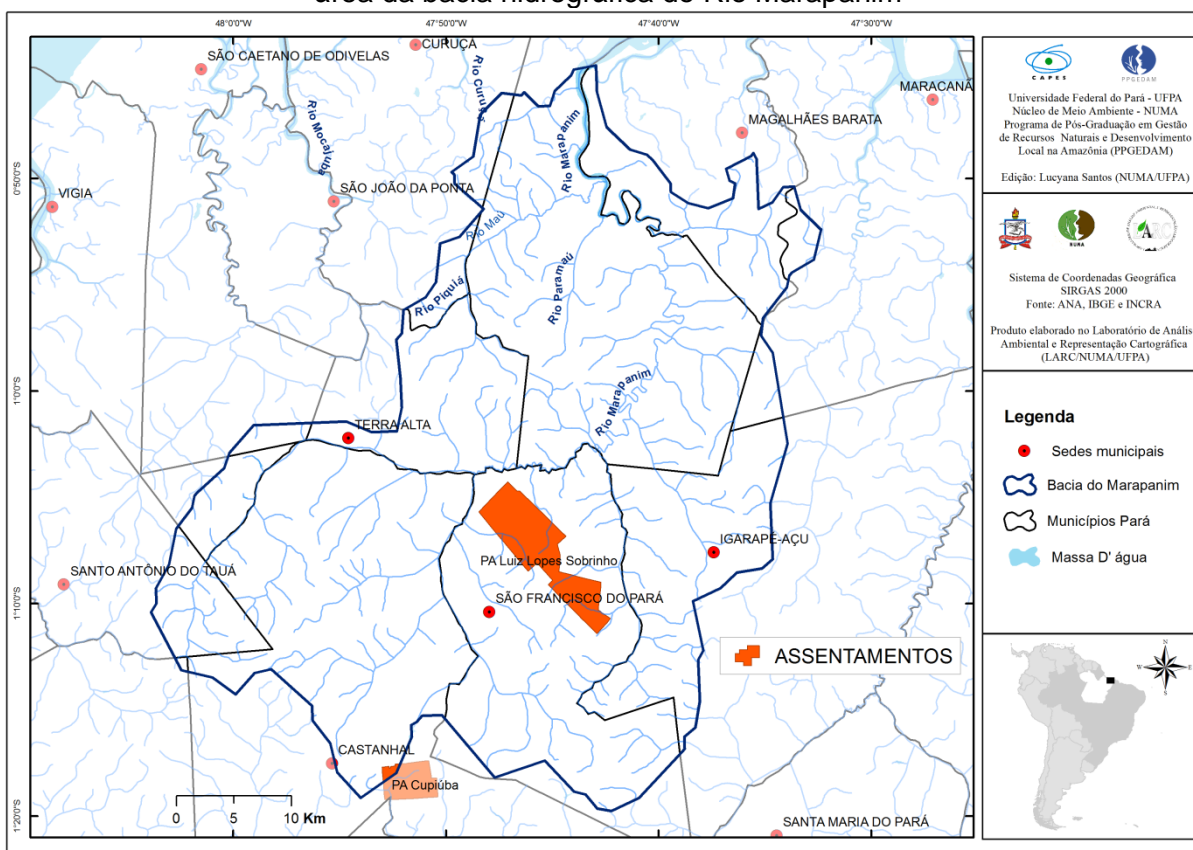
As áreas de Silvicultura nos anos de 1984 e 2008 pareciam estar estáveis, onde essa classe era equivalente a 2% da área analisada. Com relação o ano de 2017 observou-se que o percentual desta classe que permanecia estabilizado aumentou para aproximadamente 7%. Uma das possibilidades de expansão desta classe está associada à expansão do cultivo do dendê no Nordeste Paraense (NAHUM & SANTOS, 2016), onde existe uma grande extensão de áreas degradadas. O avanço da classe de Silvicultura pode ser notado pelos dados quantitativos (Tabelas 3 e 4) e também no mapa de uso e cobertura do solo (Figura 38). Na Tabela 4 se pode notar uma progressão desta classe presente de forma crescente em seis dos doze municípios presentes na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim entre os anos analisados, estes são: Castanhal, Igarapé-Açu, Marapanim, São Francisco do Pará, Santo Antônio do Tauá e Vigia. Nahum & Santos (2015) discutem sobre a expansão da dendecultura na dinâmica socioespacial do Nordeste Paraense associada ao conjunto de ações políticas estatais e empresariais que concederam a formação de territórios da palma.

Conforme o mapa de uso da terra do ano de 1984 (Figura 36a) o município de São Francisco do Pará apresentava uma grande área de Silvicultura (seringueira) que no ano de observação de 2008 passou a ser Agropecuária e VS, isto se deu devido à criação do Projeto de Assentamento (PA) Luiz Lopes Sobrinho no ano de 1998 (Figura 39). Segundo Sousa (2002) este assentamento era uma formação da empresa Paracrevea Borracha Vegetal S/A composta por três fazendas que foram desapropriadas pelo INCRA em 1997 e 1998. Este mesmo autor destaca que a área do seringal não deixou de existir no período por ele analisado que seria de 1984 a 2000, esta área apenas passa pelo processo de recomposição da vegetação secundária, gerado pela falta de manutenção do plantio.

Tabela 4 – Evolução e quantificação das áreas (Km²) mapeadas nos municípios para as classes de uso da terra e cobertura vegetal na área na bacia hidrográfica do Rio Marapanim

MUNICÍPIOS	1984				2008				2017			
	FLO	VS	AGR	SIL	FLO	VS	AGR	SIL	FLO	VS	AGR	SIL
CASTANHAL	34	112	290		22	55	343	16	21	120	259	36
CURUÇÁ	4	22	19		3	22	21		3	20	22	
IGARAPÉ-ÁÇU	11	55	154	1	8	18	183	14	7	49	109	57
MAGALHÃES BARATA	32	39	42		30	44	39		29	48	37	
MARACANÃ	1	12	22		1	11	24		1	15	17	2
MARAPANIM	94	192	190		76	138	263		73	202	194	8
SÃO CAETANO DE ODIVELAS	1	5	6		0	0	11		0	2	9	
SÃO FRANCISCO DO PARÁ	37	73	267	36	29	28	345	10	29	111	260	13
SANTA ISABEL DO PARÁ	0	0	1			0	1			0	0	1
SANTO ANTÔNIO DO TAUÁ	3	21	36		2	6	51	1	2	12	28	17
TERRA ALTA	12	56	80		9	31	108		9	44	94	2
VIGIA	3	17	19		2	8	27	3	2	15	19	4
Total Geral	232,27	604,79	1126,38	37,19	180,93	361,60	1415,28	42,82	174,62	639,55	1047,66	138,80

Figura 39 – Mapa de localização do PA Luiz Lopes Sobrinho em São Francisco do Pará na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim



Fonte: ANA (2006), IBGE (2016) e INCRA (2018)

Com base na quantificação das áreas de cada classe temática foram geradas as Tabela 5 e a Figura 40, que apresentam os resultados da tabulação cruzada entre os mapas temáticos apresentados na Figura 38, a fim de demonstrar a evolução

temporal dos padrões de transição entre os usos da terra nos três períodos considerados nesta pesquisa. A dinâmica das classes de uso da terra e cobertura vegetal nos períodos analisados teve por base a análise de matrizes de transição entre as classes envolvidas, cujos valores correspondem ao percentual em área (Km²) de uma classe que foi convertida em outra entre os anos considerados.

Tabela 5 – Matrizes de transição entre os mapas dos anos de 1984-2008 e 2008-2017 na área na bacia hidrográfica do Rio Marapanim, com áreas em Km² e percentual

		2008								Total Geral
		FLORESTA	%	VS	%	AGROPECUÁRIA	%	SILVICULTURA	%	
1984	FLORESTA	180,93	9,04	8,57	0,43	42,57	2,13	0,21	0,01	232,27
	VS	0,00	0,00	209,21	10,46	387,55	19,37	8,02	0,40	604,79
	AGROPECUÁRIA	0,00	0,00	140,63	7,03	951,82	47,58	33,93	1,70	1126,38
	SILVICULTURA	0,00	0,00	3,20	0,16	33,34	1,67	0,66	0,03	37,19
Total Geral		↓180,93		↓361,60		↑1415,28		↑42,82		2000,63

		2017								Total Geral
		FLORESTA	%	VS	%	AGROPECUÁRIA	%	SILVICULTURA	%	
2008	FLORESTA	174,62	8,73	4,03	0,20	2,16	0,11	0,11	0,01	180,93
	VS	0,00	0,00	271,36	13,56	86,28	4,31	3,96	0,20	361,60
	AGROPECUÁRIA	0,00	0,00	360,77	18,03	952,88	47,63	101,63	5,08	1415,28
	SILVICULTURA	0,00	0,00	3,39	0,17	6,33	0,32	33,10	1,65	42,82
Total Geral		↓174,62		↑639,55		↑1047,66		↑138,80		2000,63

↑ Aumento com relação ao ano anterior
 ↓ Diminuição com relação ao ano anterior

Observando os valores encontrados na Tabela 5 nota-se que a classe Agropecuária se destaca e aumentou significativamente no primeiro período de análise (1984-2008), recebendo 463,46 Km² das classes de Floresta (42,57 Km²), VS (387,55 Km²) e Silvicultura (33,34 Km²). No período de 2008 a 2017 a classe Agropecuária apesar de um decréscimo 367,62 Km² com relação ao período de 1984-2008, ainda continua sendo a classe de maior abrangência, recebendo 94,77 Km² das classes Floresta (2,16 Km²), VS (86,28 Km²) e Silvicultura (6,33 Km²). Os maiores valores recebidos estão vindo da classe VS o que confirma o ciclo de uso e ocupação da terra na área da bacia, uma vez que essas estão intimamente relacionadas ao preparo das áreas para agricultura e/ou implantação de pastagem, funcionando como um ativo no pousio agrícola (WATRIN et al., 1998).

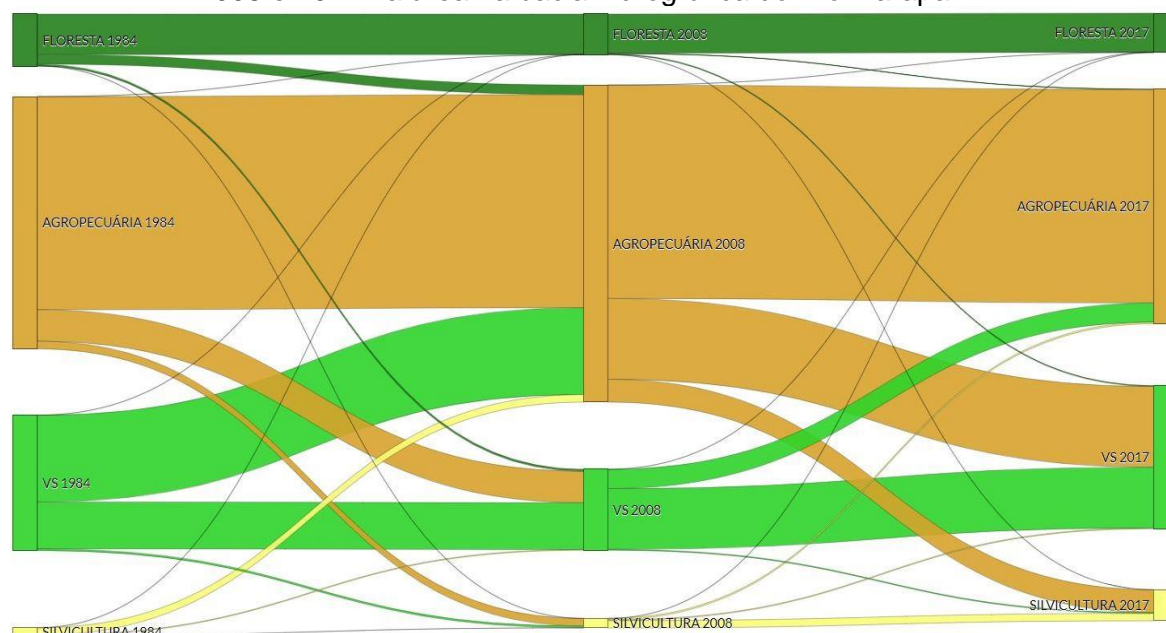
A dinâmica de transição da classe Silvicultura no primeiro período de análise (1984-2008) demonstra que apesar desta ceder 3,20 Km² para VS e 33,34 Km² para Agropecuária, esta recebeu das seguintes classes: Floresta 0,21 Km², VS 8,02 Km²

e Agropecuária 33,93 Km². Almeida e Vieira (2008) em um estudo sobre a dinâmica da cobertura vegetal e uso da terra no município de São Francisco do Pará também relataram uma diminuição nas áreas de culturas agrícolas no período de 1995-1999, que poderiam está ligadas às áreas de seringueira atacadas por pragas, morte das árvores ou a colheita. No segundo período de análise (2008-2017) a classe Silvicultura obteve uma expansão de 5% na região da bacia. Este acréscimo é proveniente da conversão da classe Agropecuária (5,08% ou 101,63 Km²) em Silvicultura. A expansão da classe Silvicultura está em função da reestruturação das atividades dos agricultores familiares, de ações políticas que viabilizaram a introdução do dendê, onde este tipo de cultura ameaça a segurança alimentar e pode levar a contaminação dos corpos d' água (NAHUM & MALCHER, 2012; NAHUM & SANTOS, 2015; NAHUM & SANTOS, 2016).

Quanto à classe Floresta esta perdeu em 24 anos área para as classes de Agropecuária (42,57 Km²), VS (8,57 Km²) e Silvicultura (0,21 Km²). Em nove anos a classe Floresta continua perdendo, mas em menor quantidade para as classes Agropecuária (2,16 Km²), VS (4,03 Km²) e Silvicultura (0,11 Km²). Estes resultados mostram que ainda ocorre desmatamento nos poucos remanescentes presentes na área da bacia e que estas áreas estão sendo convertidas às atividades de agricultura e pecuária.

A Figura 40 apresenta as transições ocorridas entre as classes de uso da terra nos dois períodos analisados conforme demonstram os dados das Tabelas 5 e 6.

Figura 40 – Diagrama de Sankey com a transição dos usos da terra no período de 1984, 2008 e 2017 na área na bacia hidrográfica do Rio Marapanim



Fonte: Elaboração da autora

4.3 Modelagem

Neste item são apresentadas as parametrizações de cada componente para geração dos modelos e os resultados referentes aos modelos construídos para explicar a análise a partir dos dados mostrados nos itens 3.2.6.2 e 3.2.6.3.

Partindo da quantificação e análise da dinâmica do uso da terra na bacia hidrográfica do Rio Marapanim discutidos na seção 4.2 este item da pesquisa buscou atingir o objetivo específico de parametrizar modelos dinâmicos que representassem computacionalmente as mudanças de uso da terra no período de 1984 a 2017 através da utilização da ferramenta LuccME/INPE e a partir dos modelos calibrados projetar cenários até 2030 mostrando onde, como e quanto poderia se dar da expansão da SILVICULTURA, que seria a área com a presença de dendê.

Em um estudo da expansão do dendê no Nordeste Paraense abrangendo 37 municípios, podemos destacar a pesquisa de Lameira (2016) que utilizou a modelagem dinâmica para identificar áreas de expansão do dendê em uma escala mais ampla aplicando o LuccME para o Pólo do Dendê considerando o período de simulação 2008 e 2013, porém considerando apenas a variável dependente “dendê”.

4.3.1 Parametrização das Componentes

Conforme mencionado no item 4.2 que trata da classificação e análise da dinâmica de uso da terra e cobertura vegetal e também mostrado na Tabela 4 onde são apresentadas as evoluções e quantificação das áreas (Km²) mapeadas nos municípios existiu no ano de 1984 uma área no município de São Francisco do Pará que se apresentava como uma área de Silvicultura (seringueira) e que no ano de observação seguinte (2008) passou para as classes de Agropecuária e VS, este fato deu-se devido à criação do Projeto de Assentamento (PA) Luiz Lopes Sobrinho no ano de 1998. Este tipo de evento poderia gerar um falso entendimento no padrão histórico acumulado neste município e forçaria os modelos a alocarem áreas de Silvicultura nos anos seguintes a serem simulados. Por esta razão, optou-se por simular o período de 2008-2017.

Através da fórmula de demanda apresentada no item 3.2.6.5 foram gerados os valores para cada classe de uso da terra para posterior parametrização da componente demanda nos anos de 2008 a 2017 conforme Tabela 6. Os valores para os anos de 2008 (inicial) e 2017 (final) foram extraídos da somatória das áreas alocadas no espaço celular para cada classe de uso.

Tabela 6 – Valores de demanda anual (Km²) para cada classe de uso da terra para o período de simulação 2008 a 2017

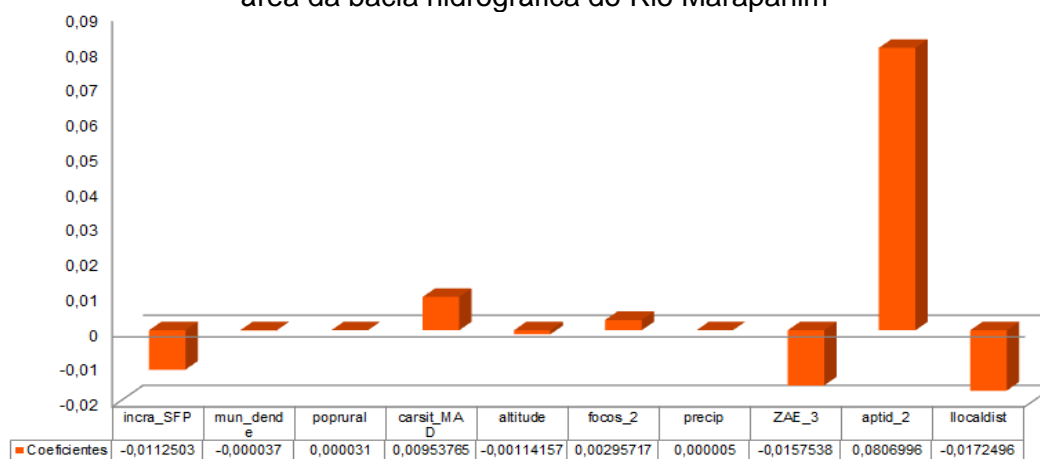
ANO	AGROP	SIL	VS	FLOR	OUTR
2008	1436,5908277650000	43,0020000000000	367,3177963875000	182,9558557575000	97,0585200900000
2009	1395,1797588600000	53,8713643175000	398,5663534100000	182,2490033225000	97,0585200900000
2010	1353,7686899550000	64,7407286350000	429,8149104325000	181,5421508875000	97,0585200900000
2011	1312,3576210500000	75,6100929525000	461,0634674550000	180,8352984525000	97,0585200900000
2012	1270,9465521450000	86,4794572700000	492,3120244775000	180,1284460175000	97,0585200900000
2013	1229,5354832400000	97,3488215875000	523,5605815000000	179,4215935825000	97,0585200900000
2014	1188,1244143350000	108,2181859050000	554,8091385225000	178,7147411475000	97,0585200900000
2015	1146,7133454300000	119,0875502225000	586,0576955450000	178,0078887125000	97,0585200900000
2016	1105,3022765250000	129,9569145400000	617,3062525675000	177,3010362775000	97,0585200900000
2017	1063,8912076200000	140,8262788575000	648,5548095900000	176,5941838425000	97,0585200900000

Depois de gerada a matriz de correlação (Apêndice B) entre as variáveis dependentes e independentes no software R, foi realizada a análise exploratória dos dados e optou-se por realizar a regressão multivariada espacial no software geoestatístico GeoDA fora do LuccME para gerar o conjunto dos fatores potenciais para cada uso da terra e posterior parametrização da componente potencial. Neste

software avaliamos os valores da probabilidade estatística de cada variável e foram selecionadas as que apresentaram até 5% de probabilidade (Gráficos 4 a 7 e Apêndice A).

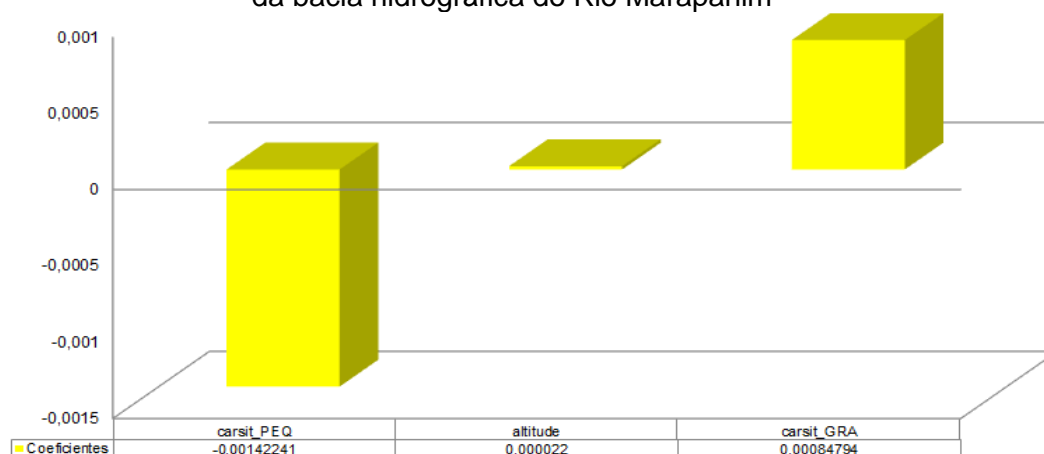
Nos Gráficos 4 a 7 são apresentados os coeficientes da regressão espacial Spatial Lag realizada no software GeoDA, onde supõe-se que há dependência espacial entre as variáveis e que há maior probabilidade de ocorrência dos eventos devido a vizinhança. Estes mostram o conjunto de variáveis estatísticas significantes e quais agiram na conversão de cada uso da terra.

Gráfico 4 – Conjunto de variáveis selecionadas para o uso da terra AGROPECUÁRIA na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim



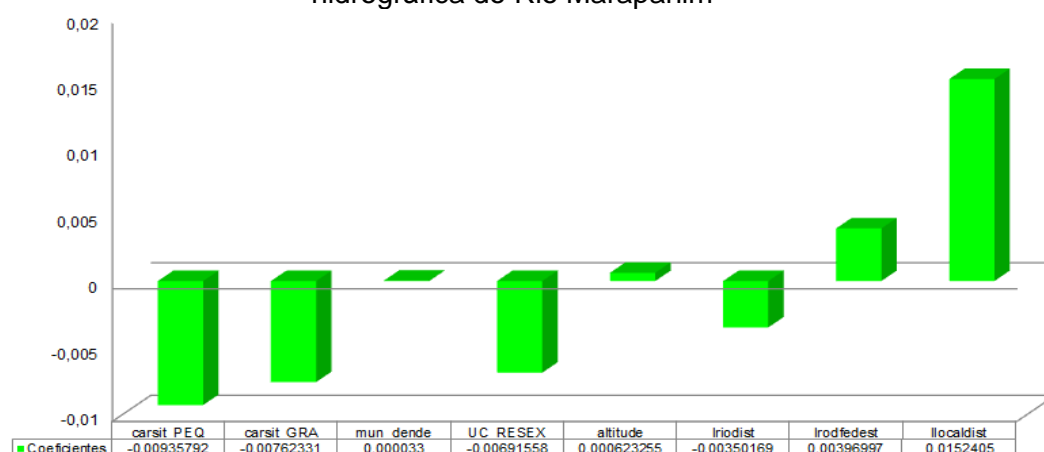
Nota-se no Gráfico 4 que a variável aptid_2 (área recomendada à agricultura e pastagem, Figura 30) de maior relevância se relaciona de forma direta (coeficiente positivo) ao processo de maior ocorrência na bacia que é a classe de uso da terra agropecuária, ou seja, existe uma alta possibilidade de alocação da classe agropecuária em áreas com a presença dessa variável. Observa-se a chance da presença da classe de uso da terra agropecuária ser alocada em baixa intensidade em áreas que foram classificadas na categoria ZAE_3 (áreas classificadas com potencial regular para plantio de dendê, Figura 23), por este motivo a relação inversa (coeficiente negativo), ou seja, nas áreas classificadas com a presença para alocar silvicultura (dendê) menor será o potencial para alocar polígonos com agropecuária.

Gráfico 5 – Conjunto de variáveis selecionadas para o uso da terra SILVICULTURA na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim



No Gráfico 5 nota-se a presença da variável carsit_GRA (áreas de propriedades classificadas com 4 ou mais módulos fiscais, com área de aproximadamente 220 ha, Figura 20) tendo relação direta com a classe de uso da terra silvicultura (coeficiente positivo), isso indica que onde existir a presença de grandes propriedades maior será a possibilidade de ser alocada silvicultura. Contudo observa-se a chance da presença de áreas de silvicultura ser alocada em menor quantidade em áreas próximas às propriedades pequenas segundo variável carsit_PEQ que apresenta coeficiente negativo.

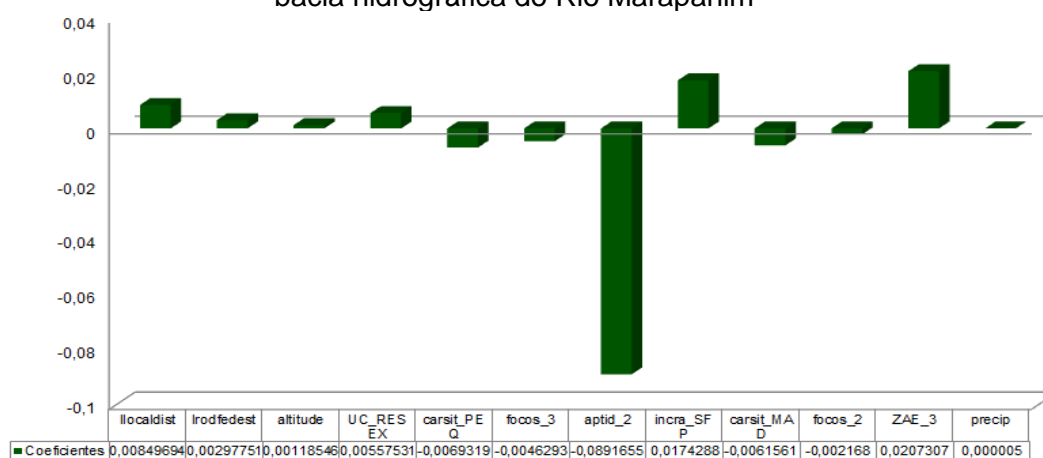
Gráfico 6 – Conjunto de variáveis selecionadas para o uso da terra VS na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim



O Gráfico 6 apresenta uma relação direta das variáveis llocaldist (log da distância às sedes dos municípios na área da bacia) e Irodfedest (log das rodovias federais e estaduais) de maior importância com a classe de uso da terra VS, ou seja,

quanto menor a distância a essas variáveis maior a possibilidade de ser alocado VS, pois próximo a essas áreas já existem desmatamentos consolidados e antigos com a possibilidade de ter a presença de VS. Nota-se a probabilidade da presença de VS ser alocada em baixa intensidade em áreas próximas a áreas com UC_RESEX (áreas com % de cobertura de unidades de conservação ocupadas por populações extrativistas tradicionais), pois estas áreas encontram-se protegidas e com baixo valor de desflorestamento e quanto maior a presença delas menos VS será alocada.

Gráfico 7 – Conjunto de variáveis selecionadas para o uso da terra FLORESTA na área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim



No Gráfico 7 observa-se uma relação direta da variável *inca_SFP* (% de área coberta com o Projeto de Assentamento Luiz Lopes Sobrinho) com a classe de uso da terra floresta, pois próximo à essa variável coberta pelo PA existe uma grande área com a presença de floresta. Nota-se a probabilidade da presença de floresta ser alocada em baixa intensidade em áreas próximas a áreas com *aptid_2* (área recomendada à agricultura e à pastagem), pois estas se encontram alteradas e será demandado baixo potencial de alocação da classe de floresta para estas áreas.

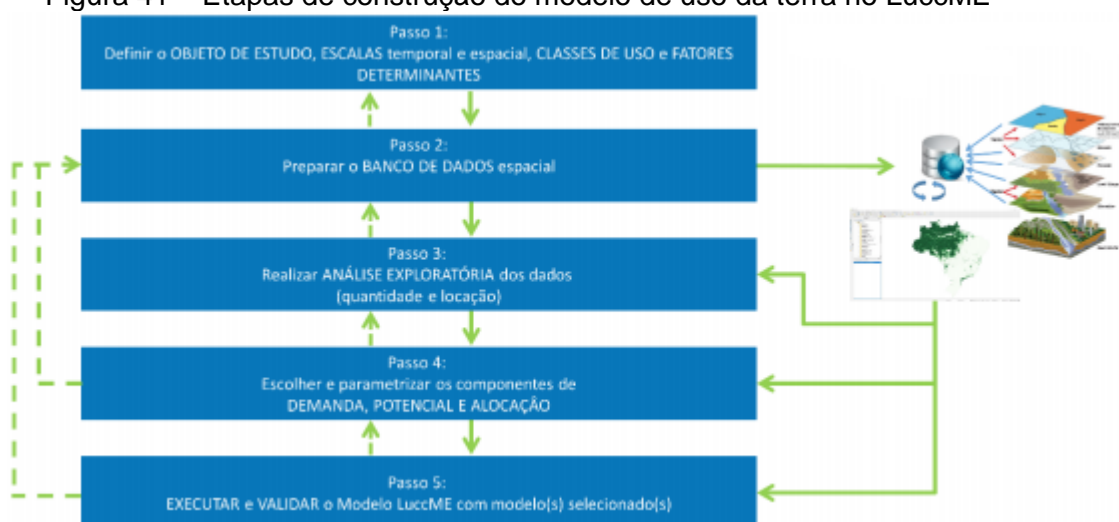
Após definição dos principais componentes de parametrização *demanda*, *potencial*, foram definidas as configurações finais para a componente *alocação* através do Clue Like direto no LuccME. Os parâmetros para alocação foram: 20 Km² para a diferença total de área (*maxDifference*) a ser considerada entre o valor de demanda informada (Tabela 7) e a quantidade alocada pelo modelo em cada uso, 15.000 interações para cada passo de tempo. Encontra-se no Apêndice C os códigos dos modelos utilizados para simular os usos da terra.

4.3.2 Simulação dos Modelos para o período 2008-2017

Após definidos os passos de 1 a 4 (Figura 41) foram executados os modelos no LuccME. Esta seção se propõe a apresentar e discutir os resultados espacialmente explícitos das simulações de cada uso da terra na bacia hidrográfica do Rio Marapanim (Figuras 42 e 43).

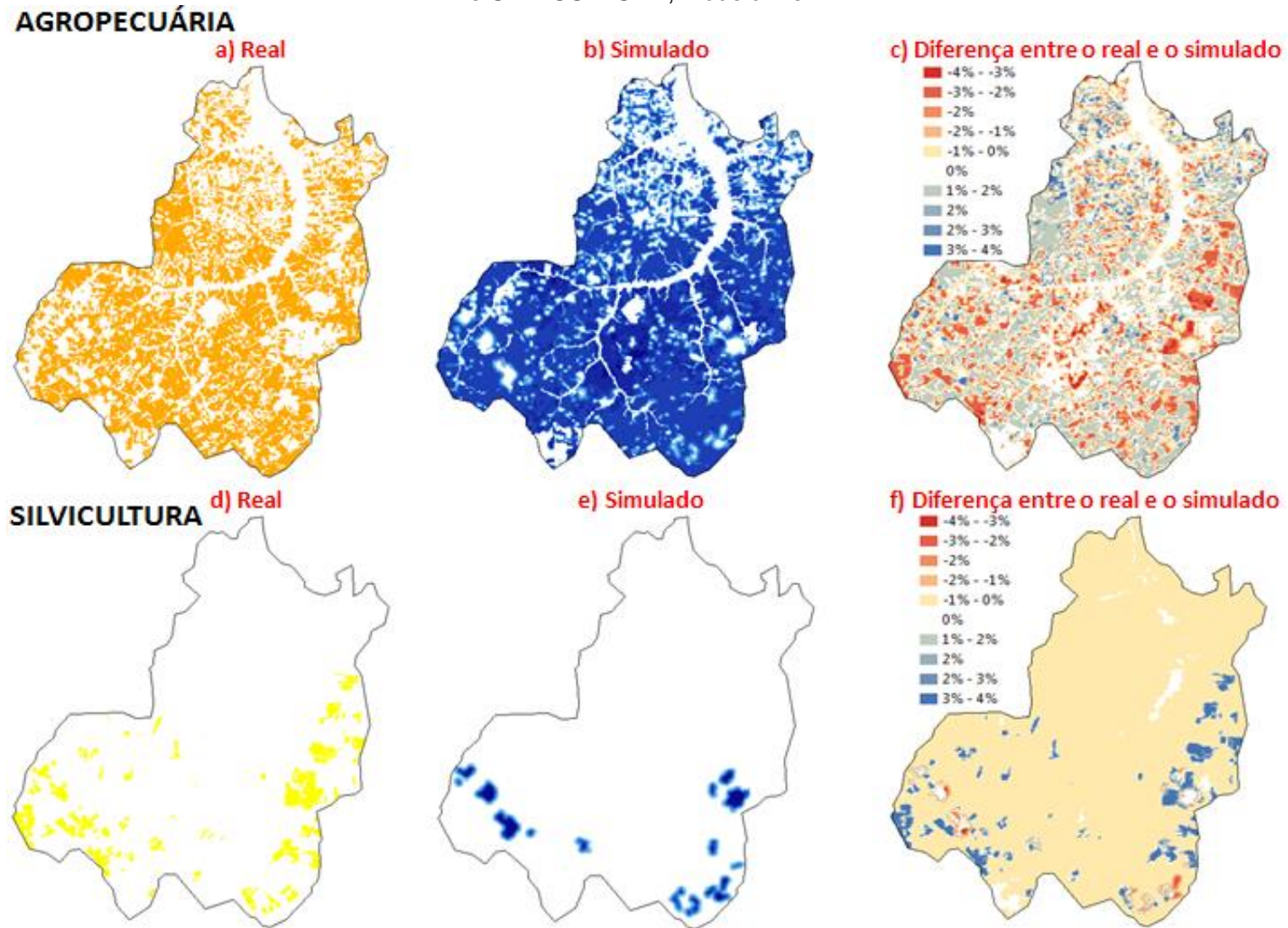
Foram realizados múltiplos testes para tentar definir um modelo calibrado que permitisse a geração de cenários até 2030, porém serão amostrados apenas os que tiveram um percentual de acerto maior quando comparados ao dado real. O modelo 1 não teve nenhum ajuste nos parâmetros de mudança (valor mínimo, valor máximo, mudança mínima permitida, mudança máxima permitida, etc), o modelo 2 sim apresentou ajuste nos parâmetros de mudança, para melhor capturar os processos de mudança que estão sendo simulados. Os scripts dos modelos estão no Apêndice C.

Figura 41 – Etapas de construção do modelo de uso da terra no LuccME



Fonte: Adaptado de Aguiar et al.,2017

Figura 42 – Dado real, dado simulado e a diferença percentual entre o dado real e o simulado para a variáveis dependentes AGROPECUÁRIA e SILVICULTURA, modelo 1 e 2



AGROPECUÁRIA

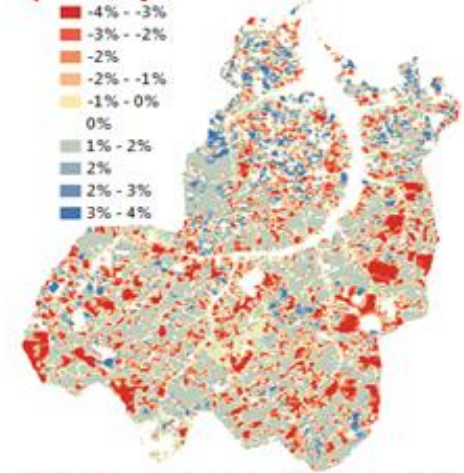
a) Real



b) Simulado



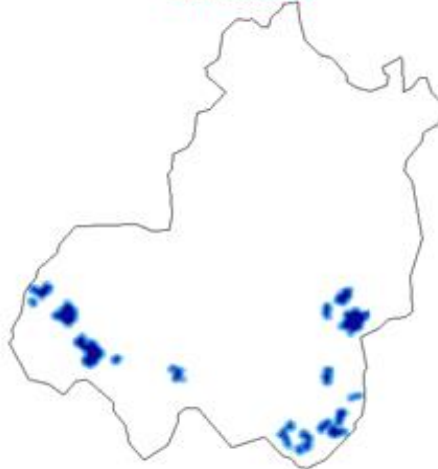
c) Diferença entre o real e o simulado

**SILVICULTURA**

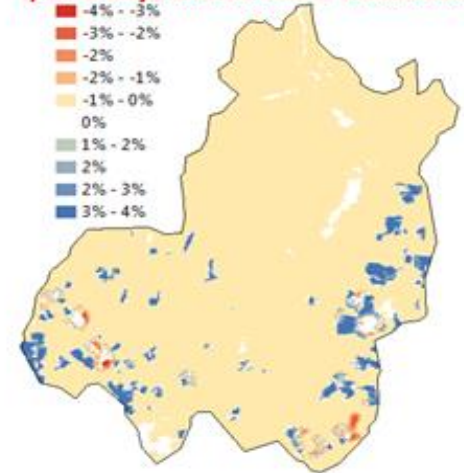
d) Real



e) Simulado



f) Diferença entre o real e o simulado



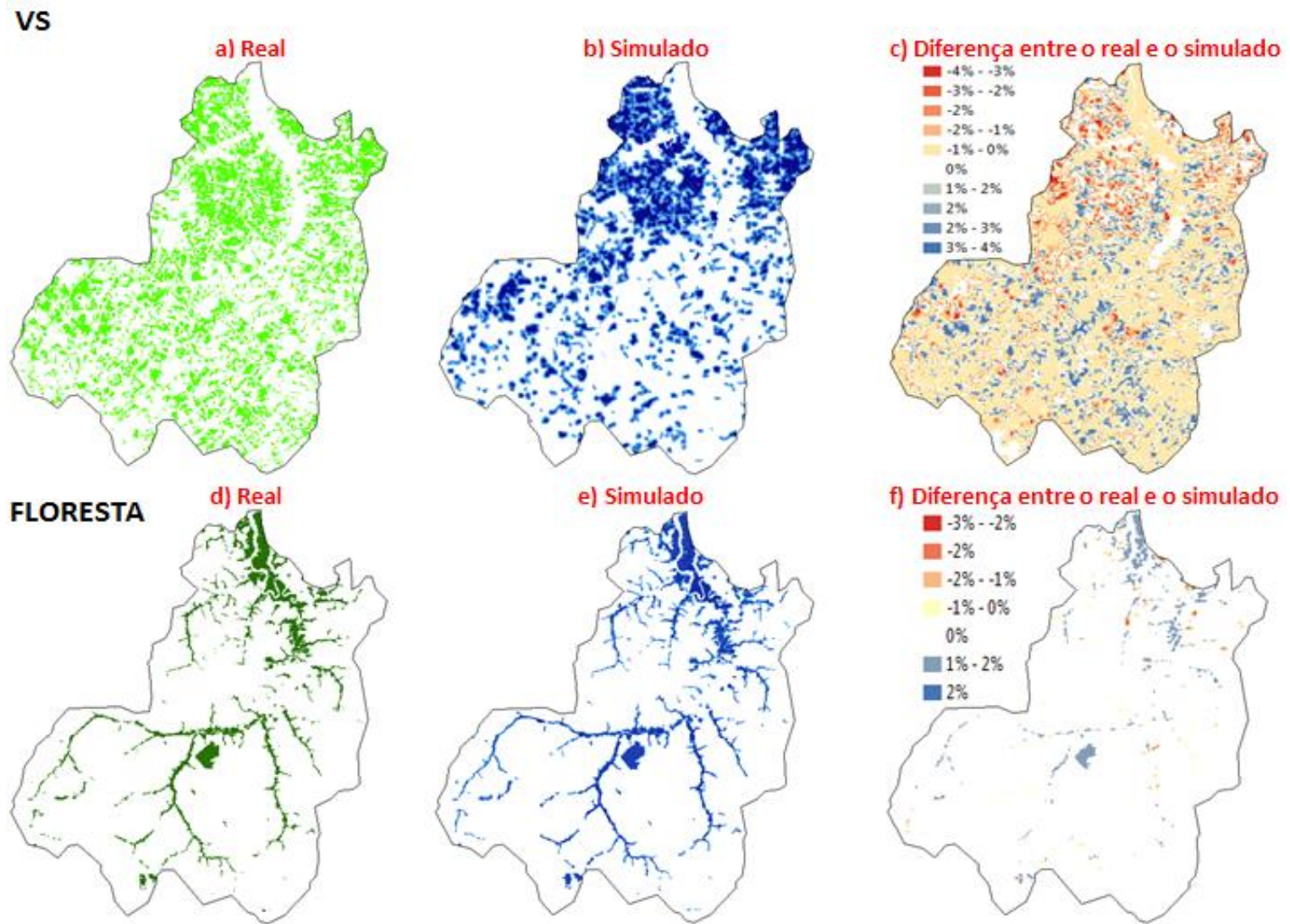
Fonte: Elaboração da autora

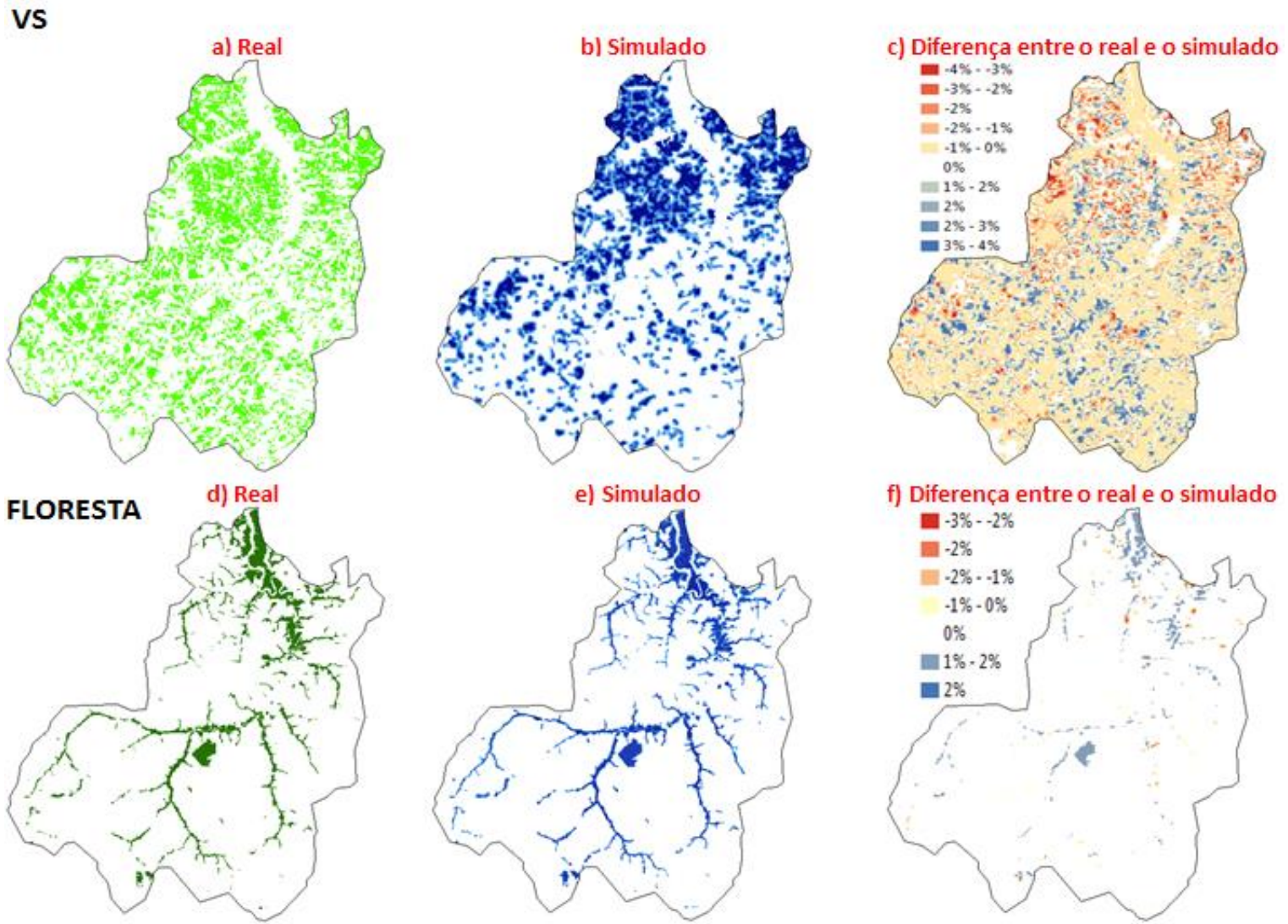
Os resultados dos modelos 1 e 2 para as variáveis dependentes Agropecuária e Silvicultura mostram através de uma análise visual que os resultados simulados não foram capazes de reproduzir os eventos reais.

Embora o modelo 2 apresentasse ajustes no parâmetros de alocação que permitisse valores mínimos e máximos de mudança permitida nas células dadas as variáveis independentes este também não apresentou um resultado próximo ao dado real. Para os dois modelos os valores das simulações validadas considerando as janelas de 10x10 células (Apêndice D), apresentaram um acerto de 66,26% (Agropecuária) e 22,76% (Silvicultura) quando foram analisadas apenas as áreas onde ocorreram mudanças.

Nas Figuras 42c e 42f são apresentados os valores percentuais das áreas onde ocorreram mudanças encontradas nas janelas 2x2, na Figura 42c os valores negativos indicam que as células foram classificadas erroneamente como pertencente à outra classe, ou seja, o dado simulado está alocando mais que o dado real. Na Figura 42f os valores positivos indicam que as células não foram classificadas como as classes de referência (dado real), ou seja, o dado simulado está alocando menos que o dado real. Na figura 42f nota-se um espalhamento nas áreas onde ocorreram mudanças associadas ao percentual de 0% a -1% supõe-se que este efeito tenha sido decorrente da presença da variável independente altitude que exerceu uma relação direta com a classe de uso da terra silvicultura indicando que onde existisse a presença desta maior seria a possibilidade de ser alocada silvicultura (Gráfico 5).

Figura 43 – Dado real, dado simulado e a diferença percentual entre o dado real e o simulado para a variáveis dependentes VS e FLORESTA, modelo 1 e 2





Fonte: Elaboração da autora

Para a variável dependente VS os resultados dos modelos 1 e 2 demonstram através de uma análise visual que os resultados simulados também não foram capazes de reproduzir os eventos reais. Para a Floresta os resultados dos modelos 1 e 2 demonstram através de uma análise visual que os resultados simulados parecem não ter sofrido mudanças, isto se deve ao baixíssimo percentual de mudança entre o do real e o dado simulado.

Para os dois modelos os valores das simulações validadas considerando as janelas de 10x10 células (Apêndice D), apresentaram um acerto de 64,87% (VS) e 0% (Floresta) quando foram analisadas apenas as áreas onde ocorreram mudanças. Os valores da simulação analisados entre os dados real e simulado para a variável dependente Floresta nas janelas foram tão baixos que se aproximaram do valor 0 como se não ocorresse validação.

Nas Figuras 43c e 43f são apresentados os valores percentuais das áreas onde ocorreram mudanças encontradas nas janelas 2x2, na Figura 43c os valores positivos indicam que as células não foram classificadas como as classes de referência (dado real), ou seja, o dado simulado está alocando menos que o dado real. Figura 43f os valores negativos indicam que as células foram classificadas erroneamente como pertencente à outra classe, ou seja, o dado simulado está alocando mais que o dado real. Na figura 43c nota-se um espalhamento nas áreas onde ocorreram mudanças associadas ao percentual de 0% a -1% supõe-se que este efeito tenha sido decorrente da presença da variável independente altitude que exerceu uma relação direta com a classe de uso da terra VS indicando que onde existisse a presença desta maior seria a possibilidade de ser alocada VS (Gráfico 5).

Foram realizados múltiplos testes para tentar definir um modelo calibrado que permitisse a geração de cenários até 2030, porém isso não foi possível. As variáveis socioeconômicas e ambientais potenciais disponíveis não foram capazes de reproduzir o evento uma vez que as todas as variáveis dependentes estão competindo para serem alocadas em uma mesma célula, que tenta se ajustar de forma interativa para executar os valores de demandas anuais (Tabela 7) quando todas as células são consideradas. Segundo Sobral & Barreto (2011) existe uma elevada possibilidade de que dados reais de maneira nenhuma consigam se ajustar de forma satisfatória a algum modelo, isso porque determinados dados trazem anormalidades (ruídos de medição ou interferências), ou porque meramente o modelo proposto ou escolhido não consegue alcançar as características necessárias

dos dados a serem simulados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve por objetivo analisar e quantificar as dinâmicas de uso da terra levando-se em consideração o histórico da área e responder à pergunta de pesquisa “Como a análise da dinâmica de uso da terra pode fornecer subsídios para formulação de políticas de desenvolvimento de acordo com a realidade local?” na região do Nordeste Paraense frente à nova fronteira agro energética com a expansão do dendê, que vem alterando a dinâmica de uso da terra na bacia hidrográfica do Rio Marapanim. O período da pesquisa foi de 1984 a 2017 e foram utilizadas técnicas de Sensoriamento Remoto, geoprocessamento, modelagem dinâmica associadas ao levantamento de campo realizado em dezembro de 2017.

Com base nos resultados encontrados, a presente pesquisa demonstrou que a bacia se encontra com uma área desflorestada de 1.681,30 Km² correspondente a 80% da sua área total segundo dados disponibilizados pelo projeto PRODES/INPE, onde 69% do total desmatado estão localizados nas áreas dos municípios de Marapanim, Castanhal, São Francisco do Pará, Igarapé-Açu e Terra Alta presentes na área da bacia. Apesar de se tratar de uma região consolidada ainda há registros de desmatamento nos anos de 2016 e 2017 em torno de 2 Km², isso indica que a dinâmica do desmatamento continua ativa o que tem influência direta no potencial de conservação da biodiversidade desta área.

Quanto aos dados das análises dos mapas de uso da terra gerados através das imagens de satélite para os períodos de 1984, 2008 e 2017, estes apontaram uma intensa dinâmica de mudanças na paisagem, onde as classes Agropecuária e VS compõe a maior parte da paisagem modificada da área da bacia. Vem ocorrendo uma perda gradativa das áreas de Floresta e estas estão em grande parte ao longo da drenagem, exercendo a proteção dos mananciais e com limitada reserva. Ressalta-se a importância de ações que garantam a conservação das áreas de remanescentes florestais dada à intensidade com que as mudanças vêm ocorrendo na região da bacia. Nota-se nos dados o crescimento das áreas de Silvicultura onde este está aumentando em decorrência da expansão do cultivo do dendê no Nordeste Paraense, onde existe uma grande extensão de áreas degradadas e com potencial segundo conduzido pelo ZAE Dendê. Em seis dos doze municípios presentes na área da bacia já existe a presença desta expansão e estes são: Castanhal, Igarapé-Açu, Marapanim, São Francisco do Pará, Santo Antônio do Tauá e Vigia.

Quanto aos dados da dinâmica do uso da terra nota-se que a classe Agropecuária se destaca e aumentou significativamente no primeiro período de análise (1984-2008) e no segundo (2008-2017) ainda continua sendo a classe de maior abrangência. Os maiores valores recebidos por esta classe estão vindo da classe VS confirmando o ciclo de uso e ocupação da terra na área da bacia, implantação de pastagem, onde esta funciona como um ativo no pousio agrícola. A classe Silvicultura teve uma expansão de 5% na região da bacia, proveniente da conversão da classe Agropecuária. Nota-se a expansão da classe Silvicultura em função da reestruturação das atividades dos agricultores familiares, de ações políticas que viabilizaram a introdução do dendê. Quanto à classe Floresta esta vem diminuindo e suas áreas estão sendo convertidas às atividades de agricultura e pecuária.

Observando a alta dependência espacial entre usos da terra e a complexidade da área de estudo, enfatiza-se que os modelos não apresentaram um desempenho aceitável para alocação de demanda que possibilitasse o ajuste espacial e a validação para o período analisado de todas as variáveis dependentes em um mesmo processo. Mais importante que simplesmente modelar e gerar modelos que representem as mudanças é entender quais os fatores biofísicos, socioeconômicos, políticos estão provocando as mudanças de uso da terra e cobertura vegetal em um dado espaço no tempo e criar alternativas que impulsionem o desenvolvimento da região.

Dessa forma, recomenda-se que a partir desta pesquisa que se mostra propícia a fornecer diretrizes para que um futuro monitoramento dessa área possam ser realizados outros modelos de simulação, com base na geração de cenários por meio de modelagem dinâmica espacial com a integração de planos de gestão territorial e os dados gerados podem auxiliar na formulação de políticas públicas.

Recomenda-se como alternativa a articulação de políticas públicas eficazes, articuladas e contínuas e ações ligadas ao ordenamento proposto nos planos diretores municipais, à gestão integrada, à formação de cadeia produtiva que garanta o uso sustentável dos recursos naturais e o equilíbrio dos ecossistemas existentes, à delimitação de novas UCs, uma vez que na área da bacia existe um baixo índice de UCs com apenas duas de uso sustentável. Isso garantiria a conservação e proteção dos remanescentes florestais, contribuiria com a melhora do

quadro ambiental na região e das condições de vida da população que ocupa a área da bacia hidrográfica do Rio Marapanim.

REFERÊNCIAS

ADAMI, M.; GOMES, A. R.; COUTINHO, A. C.; ESQUERDO, J. C. D. Júlio César Dalla Mora Esquerdo 2 Adriano Venturieri. Dinâmica do uso e cobertura da terra no estado do Pará entre os anos de 2008 a 2012. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 2015, João Pessoa/PB. Anais... João Pessoa/PB, 2015, v. 17, p. 7028-7035.

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1028690/1/SBSRAdami.pdf>

AGUIAR, A. P. D. et al. Trabalhando com LuccME. Guia do usuário versão 3.1. São José dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2017. Disponível em: <http://luccme.ccst.inpe.br/wp-content/uploads/2017/11/LuccME_GuiaUsuario_v_3_1.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2018.

AGUIAR, A. P. D. ; ASSIS, T.; FOLHES, R. T.; DALLA NORA, E.; SANTOS JR., R. A. O.; ALVES, D. Cenários e modelos de desmatamento para a Amazônia. In: Vieira, I. C. G.; TOLEDO, P. M.; SANTOS JR., R. A. O. (Org.) Ambiente e sociedade na Amazônia uma abordagem interdisciplinar. Garamond, 1 ed. Rio de Janeiro. 2014.

AGUIAR, A. P. D.; CÂMARA, G.; ESCADA, M. I. Spatial statistical analysis of land-use determinants in the Brazilian Amazon: exploring intra-regional heterogeneity. **Ecological modelling**, v. 209, p. 169-188. 2007.

AGUIAR, A. P. D. Modelagem de mudança do uso da terra na Amazônia: explorando a heterogeneidade intraregional. 182p. **Tese** (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2006.

ALCAMO, J. Environmental futures: the practice of environmental scenario analysis. Elsevier. Amsterdam, 2008.

ALCAMO, J.; RIBEIRO, T. Scenarios as tools for international environmental assessments, Environmental Issue Report, 24. European Environment Agency, Copenhagen, 2001.

ALMEIDA, A. S.; VIEIRA, I. C. G. Centro de Endemismo Belém: Status da Vegetação Remanescente e Desafios para a Conservação Biológica e Restauração Ecológica. **Revista de Estudos Universitários**, Sorocaba, SP. v. 36, n. 3. p. 95-111. 2010.

ALMEIDA, C. A.; COUTINHO, A. C.; ESQUERDO, J. C. D. M.; ADAMI, M.; VENTURIERI, A.; DINIZ, C. G.; DESSAY, N.; DURIEUX, L.; GOMES, A. R. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. In: Acta Amazonica, vol 46, n. 3, p. 291-302. 2016.

ALMEIDA, A. S.; VIEIRA, I. C. G. Centro de Endemismo Belém: Status da Vegetação Remanescente e Desafios para a Conservação Biológica e Restauração

Ecológica. Cenários para a Amazônia: clima, biodiversidade e uso da terra. Organizadores Thaise Emilio, Flávio Luizão, Editora **INPA**, Manaus, AM. p.57-66. 2014.

ALMEIDA, A. S.; VIEIRA, I. C. G. Dinâmica da cobertura vegetal e uso da terra no município de São Francisco do Pará (Pará, Brasil) com o uso da técnica de sensoriamento remoto. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciências Naturais, Belém, v. 3, n. 1, p. 81-92, jan.- abr. 2008.

ALMEIDA, C. M.; BATTY, M.; MONTEIRO, A. M. V.; CÂMARA, G.; SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L. Stochastic cellular automata modeling of urban land use dynamics: empirical development and estimation. **Computers, Environment and Urban Systems**. v. 27: p. 481-509. 2003. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(02\)00042-X](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(02)00042-X)> Acesso 12 jun. 2017.

ALMEIDA, C.; SILVA, M.; LOBO, F. de L.; FARIAS, T. P.; GOMES, A.; COSTA, L. C.; ESCADA, M. I. S. TerraClass: Classificação dos padrões de uso e cobertura da terra da Amazônia Legal. In: Cenários para a Amazônia: clima, biodiversidade e uso da terra. (Orgs) Emilio, T; Luizão F. Manaus: Editora INPA, 2014.

ALMEIDA, C. M., BATTY, M., MONTEIRO, M. V., CÂMARA, G., SOARES-FILHO, B. S., CERQUEIRA, G. C., AND PENNACHIN, C. L. GIS and remote sensing as tools for the simulation of urban land-use change. **International Journal of Remote Sensing**. v. 26, n.4. p. 759-774. 2005.

AMORIM, R. de F.; SILVA, F. M. da. Modelagem do processo de vulnerabilidade à erosão do Solo utilizando o SPRING. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal, RN. INPE. p. 5073-5080. 2009.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift v. 22, n. 6. p. 711 – 728. 2013. Disponível: <<https://DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507>> Acesso 12 jun. 2018.

ALVES, F. J. C.; PAULILLO, L. F.; CAMAROTO, J. A.; MENEGON, N. **Políticas territoriais e auto-sustentabilidade: avaliação e propostas para a Bacia Hidrográfica Mogi-Guaçu**. São Carlos, SP. Projeto temático UFSCar/FAPESP. 2000.

ALVES, D. S.; MORTON, D. C.; BATISTELLA, M.; ROBERTS, D. A.; SOUZA JR, C. The changing rates and patterns of deforestation and land use in Brazilian Amazonia. In Amazonia and global change. **Geophysical Monograph Series**, v. 186, p. 11-23, 2009.

ALVES, T. L. B.; AZEVEDO, P. V. Estudos de bacias hidrográficas como suporte a gestão dos recursos naturais. Engenharia Ambiental - **Espírito Santo do Pinhal**, v.10, n. 2, p. 166-184, mar./abr. 2013.

ARAGÓN, L. E. Desenvolvimento amazônico em questão. Revista Crítica de

Ciências Sociais. n. 107, set. 2015, p. 5-16. Disponível em: <<http://www.scielo.mec.pt/pdf/rccs/n107/n107a02.pdf>>. Acesso em: setembro. 2018.

BACHELARD, G. **O novo espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. Tradução Estrela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro, RJ. Contraponto. 1996.

BALBINOT, R.; OLIVEIRA, N. K. de; VANZETTO, S. C.; PEDROSO, K.; VALERIO, A. F. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**. v. 4, n. 1, p. 131-149, jan./abr. 2008.

BECKER, B. K. **Amazônia: geopolítica na virada do III milênio**. Garamond. Rio de Janeiro. 172p. 2004.

BESER DE DEUS, L. A. Espaço e Tempo como Subsídios à Construção de Cenários de Uso e Cobertura da Terra para o Planejamento Ambiental na Amazônia: O Caso da Bacia do Rio Acre. Tese de Doutorado em Planejamento Energético, UFRJ/COPPE, XVI, 384 p. 2013.

BRASIL. **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 22 jun. 2017.

BURROUGH, P. Dynamic Modelling and Geocomputation. *Geocomputation: A Primer*. In: Longley, P.; Batty, M.; McDonnel, R. ed. London: John Wiley & Sons. p. 165-192. 1998.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. Introdução à ciência da geoinformação. INPE. São José dos Campos. 345p. 2001. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/>>. Acesso 01 nov. 2017.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; MEDEIROS, J. S. Representações Computacionais do Espaço: Um Diálogo entre a Geografia e a Ciência da Geoinformação. 2002. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/geopro/trabalhos/>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

CARNEIRO, T. G. de S. Nested-CA: a foundation for multiscale modelling of land use and land cover change. 109 p. **Tese** (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2006.

CARNEIRO, T. G. S., ANDRADE, P. R., CÂMARA, G., MONTEIRO, A. M. V., & PEREIRA, R. R. 2013. An extensible toolbox for modeling nature–society interactions. *Environmental Modelling & Software*, 46, 104-117. 2013.

COELHO, A. dos S. Modelagem de dinâmica do uso da terra e cobertura vegetal na região de Santarém, oeste do Pará. 128p. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Belém. 2009.

COELHO, A. S., P. M. TOLEDO, I. C. G. VIEIRA, O. DO CANTO, M. ADAMI, A. R. GOMES & I. S. NARVAES. Impactos das mudanças de uso da terra nas áreas prioritárias para conservação da biodiversidade no nordeste do estado do Pará, Brasil. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais, vol. 13, n. 1, p. 107-120. 2018.

COHENCA, D. Modelagem de cenários de ocupação no litoral sul de Santa Catarina utilizando técnicas de análise geoespacial. 149p. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina. 2016.

CONCEIÇÃO, M. F. C. Reprodução social da agricultura familiar: um novo desafio para a sociedade agrária do Nordeste Paraense. In: HÉBETTE, J.; MAGALHÃES, S. B. & MANESCHY, M. C. (Org.). No mar, nos rios e na fronteira: faces do campesinato no Pará. **Ed. da UFPA**, p.133-171. 2002.

CORREIA, V. R. de M; MONTEIRO, A. M. V.; CARVALHO, M. S.; WERNECK, G. L. Uma aplicação do sensoriamento remoto para investigação de endemias urbanas. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 23, n. 5. 2007.

CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas: IG/UNICAMP. 1992.

EASTMAN, J. R.; SOLÓRZANO, L. A.; FOSSEN, M. E. V. Transition Potential Modeling for Land-Cover Change. In: MAGUIRE, D.; BATTY, M.; GOODCHILD, M., eds., **GIS, Spatial Analysis, and Modeling**: California, ESRI Press, p. 357-385. 2005.

EMBRAPA. Mapas de Solos e de Aptidão Agrícola das Áreas Alteradas do Pará. 2016. Disponível: <<https://www.embrapa.br/documents/1354300/0/Mapas+de+solos+e+aptid%C3%A3o+agr%C3%ADcola+das+%C3%A1reas+alteradas+do+Par%C3%A1/80b10a04-8d10-419a-918d-8b22773ee44a>>. Acesso em: 08 mai. 2018.

EMBRAPA/INPE. Levantamento de informações de uso e cobertura da terra na Amazônia: sumário executivo. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Brasília, DF. 2011. Disponível em: <http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/sumario_executivo_terraclass_2008.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2017.

FEARNSIDE, P. M.; BARBOSA, R. I.; PEREIRA, V. B. 2013. Emissões de gases do efeito estufa por desmatamento e incêndios florestais em Roraima: fontes e sumidouros. Revista Agro@mbiente, v. 7, n. 1, p. 95-111. 2013.

FURTADO, A. M. M.; PIMENTEL, M. A. S. Degradação ambiental e cultural decorrente de atividade turística na zona costeira do Nordeste Paraense. Estudo de caso no município de Curuçá-PA. In: Seminário Latino Americano de Geografia Física. 7. Coimbra, disponível em: <http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema5/ana_maria>. Acesso em: 22 jan. 2017. 2010.

GIROD, B. The evolution of IPCC's emissions scenarios. **Environmental Science & Policy**, vol. 12. 2009

GOMES, D. L.; SILVA, F. C. da. Expansão territorial do dendê e resistência camponesa no nordeste paraense. **Caminhos de Geografia**. v. 17, n. 57. p. 191–200. 2016.

IBGE. **Divisão do Brasil em Mesorregiões Geográficas 2**. Tomo 1-Região Norte. 1991.

IBGE. Manuais técnicos em geociências: manual técnico de uso da terra. 3ª ed. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>>. Acesso 06 de novembro de 2017. 2013.

IBGE. **Malha Municipal Digital**. ftp://geofp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2016. Acesso 01 de nov. 2017. 2016.

INCRA. **Assentamentos do Brasil**. http://acervofundiario.incra.gov.br/i3geo/geodados/ASSENTAMENTOS_BRASIL/. Acesso 01 de maio. 2018. 2018.

INPE-PRODES Digital. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/prodes_digital/prodes.php>. Acesso 20 nov. 2017.

JUNG, C. F. **Metodologia para a pesquisa e desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Axcel Books. 2004.

KAHN, H.; WIENER, A. **The year 2000. A framework for Speculation on the Next Thirty-Three Year**. Nova Iorque: Macmillan, 1967.

KILIAN, R. JR. Cenarização: a ferramenta essencial para uma estratégia efetiva/Rudibert Kilian Júnior. - 2009. 331 p.; il. Dissertação (Mestrado em História Comparada) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

KITAMURA, P. C. A.; HOMMA, A. K. O.; FLOHRSCHÜTZ, G. H. H.; SANTOS, A. I. M. dos. **A pequena agricultura no Nordeste Paraense**. EMBRAPA-CPATU. 40 p. ilustr. Documentos: 22. 1983.

KUHN, C. Uma análise sistêmica das transformações de uso como suporte à decisão para o planejamento de Unidades de Conservação, 2005. 166p. UFRGS. **Dissertação** (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

LAMEIRA, W. J. M. Análise e modelagem do dendezeiro (*Elaeis guineenses* Jacq.) no nordeste do Pará e implicações para o planejamento de territórios sustentáveis. Tese de Doutorado Ciências Ambientais, UFPA, 113 p. 2016.

LEANDRO, L. M. L.; SILVA, F. C. da. A estrada de ferro de Bragança e a colonização da zona bragantina no estado do Pará. **Novos Cadernos NAEA**. v. 15, n. 2, p. 143-174. 2012.

LISBOA, P. L. B. **Rondônia: colonização e floresta**. CNPq, AED (Programa Polonoroeste: relatório de Pesquisa, 9). Brasília. 1989.

MACEDO, R. C.; ALMEIDA, C. M., SANTOS, J. R.; RUDORFF, B. F. T. **Modelagem dinâmica espacial das alterações de cobertura e uso da terra relacionadas à expansão canavieira**. Boletim de Ciências Geodésicas. v. 19. n. 2. p. 313-337. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702013000200009>>. Acesso 20 ago. 2017.

MEDEIROS, G.O. R. Diagnóstico da erosão e a expansão da cultura da cana-deaçúcar no Estado de São Paulo. 279p. **Tese** (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016.

MERTENS, B.; POCCARD CHAPUIS, R.; PIKETTY, M. G.; LAQUES, A. E.; VENTURIERI, A. Crossing spatial analyses and livestock economics to understand deforestation process in the Brazilian Amazon: the case of São Felix do Xingu in South Pará. **Agricultural economics**, v. 27, p. 269-294. 2002.

MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S., SHIMABUKURO, Y. E.; ANDERSON, L. O.; ARAI, E.; ESPIRITO-SANTO, F.D.B.; FREITAS, R.; MORISETTE, J. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. *PNAS*. 2006. 103. 39. p. 14637-14641. <<https://doi.org/10.1073/pnas.0606377103>> Acesso 23 ago. 2017.

NAHUM, J. S.; SANTOS, C. B. dos. A dendeicultura na Amazônia paraense. *Geosp – Espaço e Tempo (Online)*, v. 20, n. 2, p. 281-294. ISSN 2179-0892. Disponível em <http://www.revistas.usp.br/geosp/issue/view/6465>. Acesso 20 jul.2018 doi: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2014.84539>. 2016.

NAHUM, J. S.; SANTOS, C. B. dos. Uma interpretação geográfica da dendeicultura na Amazônia paraense. **Revista da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia - ANPEGE**. p.309-331, V.11, n.15, jan-jun. 2015. Disponível em: <http://anpege.org.br/revista/ojs-2.4.6/index.php/anpege08/article/viewFile/423/pdf>. Acesso em: 07 nov. 2018.

NAHUM, J. S.; MALCHER, A. T. C. Dinâmicas territoriais do espaço agrário na Amazônia: a dendeicultura na microrregião de Tomé-Açu (PA). **Revista Confins**, 2012. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/7947> . Acesso em: 07 nov. 2018.

NASCIMENTO, N. C. C. do. Cenários de uso da terra nas mesobacias hidrográficas dos igarapés Timboteua e Buiuna, Pará. 111 p. **Dissertação** (Mestrado em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia) - Universidade Federal do Pará, Núcleo de Meio Ambiente, Belém. 2011.

NICOLODI, J. L.; ZAMBONI, A.; BARROSO, G. F. Gestão Integrada de Bacias

Hidrográficas e Zonas Costeiras no Brasil: Implicações para a Região Hidrográfica Amazônica. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 9, n. 2, p. 9-32. DOI: 10.5894/rgci115. 2009.

PEDROSA, B. M.; CÂMARA, G. **Modelagem dinâmica: Conceitos básicos e exemplos de sistemas**. 41p. 2003. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/cap1_conceitos.pdf>. Acesso 26 nov. 2017.

PINHEIRO, M. R. C.; WERNECK, B. R.; OLIVEIRA, A. F. de; MOTÉ, F.; MARÇAL, M. dos S.; SILVA, J. A. F. da.; FERREIRA, M. I. P. Geoprocessamento aplicado à gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Macaé-RJ. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, RS., INPE, p. 4247-4254. 2009.

PFAFSTETTER, O. **Classificação de bacias hidrográficas-metodologia de codificação**. Rio de Janeiro, RJ: DNOS, 1989.

PONTIUS, R. G. JR.; CORNELL, J. D.; HALL, C. A.S. Modeling the special pattern of land use change with GEOMOD2: application and validation for Costa Rica. **Agriculture Ecosystems and Environment**. 85. p. 191-203. 2001. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.470.9827&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso 04 nov. 2017.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD), FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO & INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA), 2013. Atlas do desenvolvimento humano: Pará. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_uf/para#idh>. Acesso em: 20 dez. 2017.

RASKIN, P.; MONKS, F.; RIBEIRO, T.; VAN VUUREN, D.; ZUREK, M. Global Scenarios in historical perspective. In: CARPENTER, S. R.; PINGALI, P. L.; BENNETT, E. M.; ZUREK, M. B. (Org.). *Ecosystems and Human Well-being: Scenarios: Findings of the Scenarios Working Group*, Millennium Ecosystem Assessment. Washington: Island Press, p.35-44. 2005.

RAYOL, B. P.; SILVA, M. F. F.; ALVINO, F. O. **Dinâmica da diversidade florística da regeneração natural de Florestas Secundárias, no município de Bragança, Pará, Brasil**. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciências Naturais* 1(2): 9-27. 2006.

REBELLO, F. K.; HOMMA, A. K. O. História da colonização do Nordeste paraense: uma reflexão para o futuro da Amazônia. Belém, PA: EDUFRA, 2017. 153 p.

RODRIGUES, I. C.; RODRIGUES, A. M.; REBELATO, M. G.; ALVES, F. J. C. O gerenciamento das inter-relações da produção agrícola com o meio ambiente a partir das bacias hidrográficas: um ensaio compreensivo. **Organizações e Sociedade**, v. 14, n. 40, p. 63-80, 2007.

ROMÃO, E. P.; PONTES, A. N.; GUTJAHR, A. L. N.; TORRES, W. R. G. Análise temporal do uso e da cobertura do solo nas áreas desflorestadas do município de Altamira, Pará. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, n. 25, p. 113-126. doi:

10.18677/EnciBio_2017A11. 2017.

SANTOS, R. F. S. Planejamento Ambiental: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SILVA, L. G. T.; MORÃO JUNIOR, M.; HOMMA, A. K. O.; MATTOS, G. B. D. Caracterização dos solos em áreas manejadas com bacurizeiros nativos nas mesorregiões do nordeste paraense e Marajó. XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios. Fortaleza, CE. Anais. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009.

SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L. DINAMICA- A stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **Ecological Modelling**. v. 154. p. 217- 235. 2002. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00059-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00059-5)>. Acesso 18 dez. 2017.

SOARES-FILHO, B.; ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; CERQUEIRA, G.; DIAZ, M. C. V.; RIVERO, S; SOLORZANO, L.; VOLL, E. Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém-Cuiabá corredor. **Global Change Biology**. n. 10, 2004.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; MCGRATH, D. Cenários de desmatamento para a Amazônia. Estudos Avançados, 19, (54), p. 137-152. 2005. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142005000200008>>. Acesso 18 dez. 2017.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D; CURRAN, L.;VOLL, E.; CERQUEIRA, G.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; MCDONALD, A; LEFEBVRE, P., SCHLESINGER, P. Modeling conservation in the Amazon basin. **Nature**, v. 4389, 2006.

SOBRAL, T. E. L.; BARRETO, G. Análise dos critérios de informação para a seleção de ordem em modelos auto-regressivos. 2011. Dincon. X Conferência Brasileira de Dinâmica, Controle e Aplicações Disponível em: <<http://www.sbmac.org.br/dincon/2011/files/articles/097.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

AGUIAR, A. P. D. Modelagem de mudança do uso da terra na Amazônia: explorando a heterogeneidade intraregional. 182p. **Tese** (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2006.

SOUSA, R. P. Granja Marathon: a luta pela terra e a organização do trabalho em um assentamento rural no Nordeste do Pará. 130p. **Dissertação** (Mestrado em Agriculturas Familiares e Desenvolvimento Sustentável) Universidade Federal do Pará e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Amazônia Oriental, Belém, 2002. Disponível em: http://ppgaa.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2002/ROMIER_DA_PAIXAO_SOUZA.pdf> Acesso 20 jan. 2018.

TOBI, H.; KAMPEN, J. K. Qual Quant. 52: 1209—1225 p. v3. <<https://doi.org/10.1007/s11135-017-0513-8>>. 2018. Acesso 04 nov 2018.

TOLEDO, P. M. DE.; VIEIRA, I. C. G.; JARDIM, M. A. G.; ROCHA, E. J. P DA.; COELHO, A. dos S. 2015. A Amazônia em tempo de transformações e desafios: uma visão a partir da Pós - Graduação em Ciências Ambientais. In: VIEIRA, I. C. G.; JARDIM, M. A. G.; ROCHA, E. J. P. (Org). **Amazônia em tempo: estudos climáticos e socioambientais**. Belém: Universidade Federal do Pará: Museu Paraense Emílio Goeldi: Embrapa Amazônia Oriental, p. 9-20.

TUCCI, C.E.M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.4). 1997.

TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. *Ciência e Cultura*, v.55, n.4, p. 31- 33, 2003.

VAEZA, Rafael Franco et al. Uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. **Floresta e Ambiente**, v. 17, n. 1, p. 23-29, 2010.

VELDKAMP, A.; FRESCO, L. O. CLUE: a conceptual model to study the conversion of land use and its effects. **Ecological Modelling**, 85. p. 253-270. 1996.

VERBURG, P. H.; VELDKAMP, A.; FRESCO, L. O. Simulation of changes in the spatial pattern of land use in China. **Applied geography**. v. 19, p. 211-233. 1999. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0143-6228\(99\)00003-X](https://doi.org/10.1016/S0143-6228(99)00003-X)>. Acesso 21 dez. 2017.

VERBURG, P. H.; VAN DER GON, H. A. C. D. Spatial and temporal dynamics of methane emissions from agricultural sources in China. **Global Change Biology**, v. 7. p. 31–47. 2001. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2486.2001.00389.X>>. Acesso 21 dez. 2017.

VERBURG, P. H.; KOK, K.; PONTIUS JR, R. G.; VELDKAMP, A. Modeling land-Use and landcover change. In: LAMBIN, E.F.; GEIST, H. (Eds.). **Land-use and land-cover change: local processes and global impacts**. Berlin: Springer, 2006, p. 117-135.

VIEIRA, R. M. S. P. Susceptibilidade à degradação/desertificação no semiárido brasileiro: tendências atuais e cenários decorrentes das mudanças climáticas e do uso da terra. 87p. **Tese** (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.

VIEIRA, I. C. G.; ALMEIDA, A. S. D.; DAVIDSON, E. A.; STONE, T. A.; CARVALHO, C. J. R. D.; GUERRERO, J.B. Classifying successional forests using Landsat spectral properties and ecological characteristics in eastern Amazônia. **Remote Sensing of Environment** 87: 470–481. 2003.

VILLELA, A. A. Expansão da palma na Amazônia Oriental para fins energéticos / Alberto Arruda Villela. - Rio de Janeiro: UFRJ/ COPPE, 2014. XXVIII, 360 p.: il.; 29,7

cm. Orientadores: Luiz Pinguelli Rosa Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas Tese (doutorado) - UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2014.

WAGNER, D. K. Mesos e microregiões formam um grande Estado. **Nosso Pará**. Belém, PA. v. 2. p. 12-13. 1995.

WATRIN, O. S.; VENTURIERI, A.; SAMPAIO, S. M. N. Análise multitemporal do uso da terra e suas interrelações com a cobertura vegetal em comunidades rurais do Nordeste Paraense. In: IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, Brasil, 11-18 setembro 1998, INPE, p. 1573-1583. 1998.

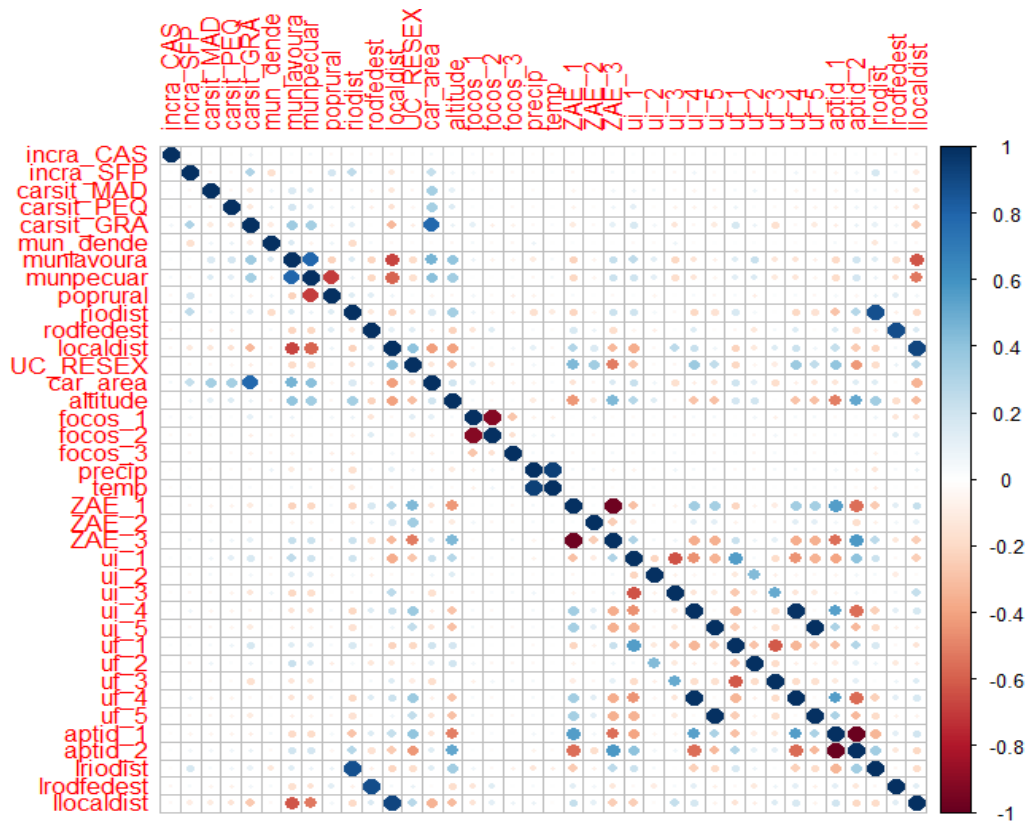
WIESENMÜLLER, J. D. Sistemas de Produção e Manejos dos Recursos Naturais da Agricultura Familiar no Nordeste Paraense, o Caso Capitão Poço. UFPA, **Cadernos do NAEA**. Belém. 2004.

WILKSON, A, EIDINOW, E. Evolving practices in environmental scenarios: a new scenario typology. 2008. Environ. Res. Lett. 3. 045017, Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/3/4/045017/pdf>>. Acesso: 04 de set 2018.

YASSUDA, E. R. Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. **Revista de Administração Pública**, v. 27, n. 1, p. 5-18, 1993.

XIMENES, A. C.; ALMEIDA, C. M.; AMARAL, S.; ESCADA, M. I. S.; AGUIAR, A. P. D. Modelagem Dinâmica do Desmatamento na Amazônia. **Boletim de Ciências Geodésicas**. Curitiba, SC. v. 14. n. 3. p. 370- 391. 2008.

APÊNDICE A – Correlograma gerado com os dados da tabela de correlação



APÊNDICE B – Tabela de correlação

Tabela 7 – Correlação

	inca_CAS	inca_SFP	carsit_MAD	carsit_PEQ	carsit_GRA	mun_dende	poprural	UC_RESEX	altitude	focos_2	focos_3	precip	ZAE_3	ui_1	ui_2	ui_3	ui_4	ui_5	uf_1	uf_2	uf_3	uf_4	uf_5	aptid_2	Iriodist	Ilocaldist	Irodfejest
inca_CAS	1	0	-0,01	0	0,05	-0,02	-0,04	-0,01	0,01	-0,02	-0,01	-0,02	0,01	0,01	0	-0,02	-0,01	0,02	0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,02	0,01	-0,02	-0,04	-0,04
inca_SFP	0	1	-0,04	-0,03	0,29	-0,23	0,19	-0,03	0,06	-0,04	-0,03	-0,13	0,04	0,02	-0,03	-0,05	0,04	-0,03	0,01	-0,05	-0,01	0,04	-0,03	0,06	0,19	-0,14	0,03
carsit_MAD	-0,01	-0,04	1	0,01	-0,08	-0,04	-0,02	-0,05	0,12	-0,01	-0,01	-0,1	0,07	0,06	0,06	-0,04	-0,06	-0,05	0,04	0,08	-0,03	-0,06	-0,05	0,06	0,04	-0,13	-0,07
carsit_PEQ	0	-0,03	0,01	1	-0,1	0	0,05	-0,06	0,17	0	-0,05	-0,15	0,08	0,13	-0,01	-0,07	-0,08	-0,06	0,09	0,02	-0,03	-0,08	-0,06	0,08	0,09	-0,19	-0,1
carsit_GRA	0,05	0,29	-0,08	-0,1	1	-0,23	-0,1	-0,1	0,1	-0,08	-0,06	-0,29	0,11	0,18	0,06	-0,15	-0,05	-0,11	0,17	0,09	-0,17	-0,05	-0,11	0,09	0,1	-0,35	0,03
mun_dende	-0,02	-0,23	-0,04	0	-0,23	1	-0,03	0,08	-0,17	-0,05	-0,04	0,38	-0,11	-0,15	-0,03	0,14	0,04	0,06	-0,12	0,1	0,03	0,04	0,06	-0,11	-0,18	0,22	-0,02
poprural	-0,04	0,19	-0,02	0,05	-0,1	-0,03	1	0,02	-0,08	0	-0,06	-0,04	-0,05	0	-0,07	0,02	0,04	-0,03	0,05	-0,17	0,04	0,04	-0,03	-0,07	0,07	0,13	0,19
UC_RESEX	-0,01	-0,03	-0,05	-0,06	-0,1	0,08	0,02	1	-0,27	-0,12	-0,04	0,26	-0,48	-0,27	-0,03	-0,04	0,33	0,29	-0,21	-0,06	-0,11	0,33	0,29	-0,4	-0,17	0,31	0,09
altitude	0,01	0,06	0,12	0,17	0,1	-0,17	-0,08	-0,27	1	-0,03	0	-0,35	0,4	0,28	0,15	-0,07	-0,34	-0,23	0,17	0,21	-0,04	-0,33	-0,23	0,48	0,34	-0,33	-0,2
focos_2	-0,02	-0,04	-0,01	0	-0,08	-0,05	0	-0,12	-0,03	1	-0,13	-0,05	-0,01	0,02	-0,02	0,03	-0,02	-0,04	0,01	-0,04	0,07	-0,02	-0,04	-0,02	-0,04	0,06	0,16
focos_3	-0,01	-0,03	-0,01	-0,05	-0,06	-0,04	-0,06	-0,04	0	-0,13	1	0,06	0,04	-0,02	0,01	0,04	0,01	-0,04	0,01	-0,05	0,04	0,01	-0,04	-0,02	-0,08	0,09	0,02
precip	-0,02	-0,13	-0,1	-0,15	-0,29	0,38	-0,04	0,26	-0,35	-0,05	0,06	1	-0,16	-0,3	-0,1	0,26	0,14	0,11	-0,15	-0,15	0,12	0,13	0,11	-0,18	-0,25	0,51	0,13
ZAE_3	0,01	0,04	0,07	0,08	0,11	-0,11	-0,05	-0,48	0,4	-0,01	0,04	-0,16	1	0,3	0,05	0,07	-0,35	-0,38	0,24	0,08	0,11	-0,36	-0,38	0,55	0,27	-0,27	-0,16
ui_1	0,01	0,02	0,06	0,13	0,18	-0,15	0	-0,27	0,28	0,02	-0,02	-0,3	0,3	1	-0,2	-0,64	-0,45	-0,34	0,56	0,04	-0,2	-0,45	-0,34	0,4	0,23	-0,32	-0,04
ui_2	0	-0,03	0,06	-0,01	0,06	-0,03	-0,07	-0,03	0,15	-0,02	0,01	-0,1	0,05	-0,2	1	-0,07	-0,06	-0,04	-0,11	0,43	-0,08	-0,06	-0,04	0,06	0,05	-0,01	-0,1
ui_3	-0,02	-0,05	-0,04	-0,07	-0,15	0,14	0,02	-0,04	-0,07	0,03	0,04	0,26	0,07	-0,64	-0,07	1	-0,07	-0,1	-0,26	-0,11	0,5	-0,08	-0,1	0,03	-0,03	0,25	0,02
ui_4	-0,01	0,04	-0,06	-0,08	-0,05	0,04	0,04	0,33	-0,34	-0,02	0,01	0,14	-0,35	-0,45	-0,06	-0,07	1	0,09	-0,33	-0,1	-0,11	0,98	0,09	-0,57	-0,26	0,19	0,13
ui_5	0,02	-0,03	-0,05	-0,06	-0,11	0,06	-0,03	0,29	-0,23	-0,04	-0,04	0,11	-0,38	-0,34	-0,04	-0,1	0,09	1	-0,26	-0,07	-0,17	0,09	1	-0,34	-0,2	0,06	-0,05
uf_1	0,01	0,01	0,04	0,09	0,17	-0,12	0,05	-0,21	0,17	0,01	0,01	-0,15	0,24	0,56	-0,11	-0,26	-0,33	-0,26	1	-0,28	-0,57	-0,33	-0,26	0,3	0,17	-0,19	-0,03
uf_2	-0,01	-0,05	0,08	0,02	0,09	0,1	-0,17	-0,06	0,21	-0,04	-0,05	-0,15	0,08	0,04	0,43	-0,11	-0,1	-0,07	-0,28	1	-0,17	-0,1	-0,07	0,11	0,07	-0,11	-0,14
uf_3	-0,01	-0,01	-0,03	-0,03	-0,17	0,03	0,04	-0,11	-0,04	0,07	0,04	0,12	0,11	-0,2	-0,08	0,5	-0,11	-0,17	-0,57	-0,17	1	-0,12	-0,17	0,09	0	0,14	0,06
uf_4	-0,01	0,04	-0,06	-0,08	-0,05	0,04	0,04	0,33	-0,33	-0,02	0,01	0,13	-0,36	-0,45	-0,06	-0,08	0,98	0,09	-0,33	-0,1	-0,12	1	0,09	-0,57	-0,26	0,18	0,13
uf_5	0,02	-0,03	-0,05	-0,06	-0,11	0,06	-0,03	0,29	-0,23	-0,04	-0,04	0,11	-0,38	-0,34	-0,04	-0,1	0,09	1	-0,26	-0,07	-0,17	0,09	1	-0,34	-0,2	0,06	-0,05
aptid_2	0,01	0,06	0,06	0,08	0,09	-0,11	-0,07	-0,4	0,48	-0,02	-0,02	-0,18	0,55	0,4	0,06	0,03	-0,57	-0,34	0,3	0,11	0,09	-0,57	-0,34	1	0,35	-0,21	-0,14
Iriodist	-0,02	0,19	0,04	0,09	0,1	-0,18	0,07	-0,17	0,34	-0,04	-0,08	-0,25	0,27	0,23	0,05	-0,03	-0,26	-0,2	0,17	0,07	0	-0,26	-0,2	0,35	1	-0,22	-0,07
Ilocaldist	-0,04	-0,14	-0,13	-0,19	-0,35	0,22	0,13	0,31	-0,33	0,06	0,09	0,51	-0,27	-0,32	-0,01	0,25	0,19	0,06	-0,19	-0,11	0,14	0,18	0,06	-0,21	-0,22	1	0,04
Irodfejest	-0,04	0,03	-0,07	-0,1	0,03	-0,02	0,19	0,09	-0,2	0,16	0,02	0,13	-0,16	-0,04	-0,1	0,02	0,13	-0,05	-0,03	-0,14	0,06	0,13	-0,05	-0,14	-0,07	0,04	1

APÊNDICE C – Código do modelo 1 e 2 (arquivo main e submain)

Código do modelo 1 (arquivo main)

```

-----
-- This file contains a LuccME APPLICATION MODEL definition --
--     Compatible with LuccME 3.1           --
--     Generated with LuccMe Model Configurator     --
--     29/11/2018 at 08:49:43           --
-----

-----
-- Creating Terraview Project           --
-----

import("gis")
local projFile = File("t3mp.tview")
if(projFile:exists()) then
    projFile:delete()
end
proj = Project {
    file = "t3mp.tview",
    clean = true
}
l1 = Layer{
    project = proj,
    name = "layer",
    file = "C:\\Model_LuccME\\cellnov_bhrm1.shp"
}

-----
-- LuccME Model           --
-----

import("luccme")
dofile("C:\\Model_LuccME\\Modelo_nov\\fin1_model_submodel.lua")

-----
-- LuccME APPLICATION MODEL DEFINITION           --
-----

fin1_model = LuccMEModel
{
    name = "fin1_model",
    -----
    -- Temporal dimension definition           --
    -----
    startTime = 2008,
    endTime = 2017,
    -----
    -- Spatial dimension definition           --
    -----
    cs = CellularSpace
    {
        project = "t3mp.tview",
        layer = "layer",
        cellArea = 0.0225,
    },
    -----
    -- Land use variables definition           --
    -----
    landUseTypes =
    {
        "ui_1", "ui_2", "ui_3", "ui_4", "ui_5"
    },
}

```

```

landUseNoData = "ui_5",
-----
-- Behaviour dimension definition:          --
-- DEMAND, POTENTIAL AND ALLOCATION COMPONENTS --
-----
demand = D1,
potential = P1,
allocation = A1,
save =
{
    outputTheme = "fin1_model_",
    mode = "multiple",
    saveYears = {2008, 2017},
    saveAttrs =
    {
        "ui_1_out",
        "ui_1_chtot",
        "ui_1_chpast",
        "ui_1_pot",
        "ui_1_reg",
        "ui_2_out",
        "ui_2_chtot",
        "ui_2_chpast",
        "ui_2_pot",
        "ui_2_reg",
        "ui_3_out",
        "ui_3_chtot",
        "ui_3_chpast",
        "ui_3_pot",
        "ui_3_reg",
        "ui_4_out",
        "ui_4_chtot",
        "ui_4_chpast",
        "ui_4_pot",
        "ui_4_reg",
    },
    },
    isCoupled = false
} -- END LuccME application model definition
-----
-- ENVIRONMENT DEFINITION          --
-----
timer = Timer
{
    Event
    {
        start = fin1_model.startTime,
        action = function(event)
            fin1_model:run(event)
        end
    }
}
env_fin1_model = Environment{}
env_fin1_model:add(timer)
-----
-- ENVIRONMENT EXECUTION          --
-----
if fin1_model.isCoupled == false then
    tsave = databaseSave(fin1_model)
    env_fin1_model:add(tsave)

```

```

env_fin1_model:run(fin1_model.endTime)
saveSingleTheme(fin1_model, true)
projFile = File("t3mp.tview")
if(projFile:exists()) then
    projFile:delete()
end
end

```

Código do modelo 1 (arquivo submain)

```

-----
-- This file contains the COMPONENTS definition --
-- Compatible with LuccME 3.1 --
-- Generated with LuccMe Model Configurator --
-- 29/11/2018 at 08:49:43 --
-----

-----
-- Demand --
-----

D1 = DemandPreComputedValues
{
    annualDemand =
    {
        -- "ui_1", "ui_2", "ui_3", "ui_4", "ui_5"
        {1436.5908277650000, 43.0020000000000, 367.3177963875000,
182.9558557575000, 97.0585200900000}, -- 2008
        {1395.1797588600000, 53.8713643175000, 398.5663534100000,
182.2490033225000, 97.0585200900000}, -- 2009
        {1353.7686899550000, 64.7407286350000, 429.8149104325000,
181.5421508875000, 97.0585200900000}, -- 2010
        {1312.3576210500000, 75.6100929525000, 461.0634674550000,
180.8352984525000, 97.0585200900000}, -- 2011
        {1270.9465521450000, 86.4794572700000, 492.3120244775000,
180.1284460175000, 97.0585200900000}, -- 2012
        {1229.5354832400000, 97.3488215875000, 523.5605815000000,
179.4215935825000, 97.0585200900000}, -- 2013
        {1188.1244143350000, 108.2181859050000, 554.8091385225000,
178.7147411475000, 97.0585200900000}, -- 2014
        {1146.7133454300000, 119.0875502225000, 586.0576955450000,
178.0078887125000, 97.0585200900000}, -- 2015
        {1105.3022765250000, 129.9569145400000, 617.3062525675000,
177.3010362775000, 97.0585200900000}, -- 2016
        {1063.8912076200000, 140.8262788575000, 648.5548095900000,
176.5941838425000, 97.0585200900000} -- 2017
    }
}

-----
-- Potential --
-----

P1 = PotentialCSpatialLagRegression
{
    potentialData =
    {
        -- Region 1
        {
            -- ui_1
            {
                isLog = false,
                const = 0.0720012,
                minReg = 0,

```

```

maxReg = 1,
ro = 0.954238,
betas =
{
    incre_SFP = -0.0112503,
    mun_dende = -0.000037,
    poprural = 0.000031,
    carsit_MAD = 0.00953765,
    altitude = -0.00114157,
    focos_2 = 0.00295717,
    precip = 0.000005,
    ZAE_3 = -0.0157538,
    aptid_2 = 0.0806996,
    llocaldist = -0.0172496
}
},
-- ui_2
{
    isLog = false,
    const = -0.000686663,
    minReg = 0,
    maxReg = 1,
    ro = 0.9911,
    betas =
    {
        carsit_PEQ = -0.00142241,
        altitude = 0.000022,
        carsit_GRA = 0.00084794
    }
},
-- ui_3
{
    isLog = false,
    const = -0.0768033,
    minReg = 0,
    maxReg = 1,
    ro = 0.955343,
    betas =
    {
        carsit_PEQ = -0.00935792,
        carsit_GRA = -0.00762331,
        mun_dende = 0.000033,
        UC_RESEX = -0.00691558,
        altitude = 0.000623255,
        lriodist = -0.00350169,
        lrodfedest = 0.00396997,
        llocaldist = 0.0152405
    }
},
-- ui_4
{
    isLog = false,
    const = -0.0320483,
    minReg = 0,
    maxReg = 1,
    ro = 0.929124,
    betas =
    {
        llocaldist = 0.00849694,
        lrodfedest = 0.00297751,

```

```

        altitude = 0.00118546,
        UC_RESEX = 0.00557531,
        carsit_PEQ = -0.00693186,
        focos_3 = -0.00462926,
        aptid_2 = -0.0891655,
        incra_SFP = 0.0174288,
        carsit_MAD = -0.00615612,
        focos_2 = -0.00216799,
        ZAE_3 = 0.0207307,
        precip = 0.000005
    }
},
-- ui_5
{
    isLog = false,
    const = 0.0703749,
    minReg = 0,
    maxReg = 1,
    ro = 0.962251,
    betas =
    {
        carsit_MAD = -0.00444425,
        aptid_2 = -0.00392476,
        carsit_PEQ = -0.00368273,
        UC_RESEX = 0.0080229,
        altitude = -0.000375385,
        lrodfedest = -0.00357533,
        llocaldist = -0.00963219,
        poprural = -0.000010,
        incra_CAS = -0.0310018,
        carsit_GRA = -0.00340002
    }
}
}
}
}
}
}
}
}
}
}
}
}

-----
-- Allocation                                     --
-----

A1 = AllocationCClueLike
{
    maxDifference = 20,
    maxIteration = 15000,
    initialElasticity = 0.1,
    minElasticity = 0.001,
    maxElasticity = 1.5,
    complementarLU = "ui_1",
    allocationData =
    {
        -- Region 1
        {
            changeLimiarValue = 1, maxChangeAboveLimiar = 0}, -- ui_1
            {static = 0, minValue = 0, maxValue = 1, minChange = 0, maxChange = 1,
            changeLimiarValue = 1, maxChangeAboveLimiar = 0}, -- ui_2
            {static = 0, minValue = 0, maxValue = 1, minChange = 0, maxChange = 1,
            changeLimiarValue = 1, maxChangeAboveLimiar = 0}, -- ui_3
            {static = -1, minValue = 0, maxValue = 1, minChange = 0, maxChange = 1,
            changeLimiarValue = 1, maxChangeAboveLimiar = 0}, -- ui_4
            {static = 1, minValue = 0, maxValue = 1, minChange = 0, maxChange = 1,

```



```

changeLimiarValue = 1, maxChangeAboveLimiar = 0}, -- ui_5
    },
}
}

```

Código do modelo 2 (arquivo main)

```

-----
-- This file contains a LuccME APPLICATION MODEL definition --
-- Compatible with LuccME 3.1 --
-- Generated with LuccMe Model Configurator --
-- 27/11/2018 at 21:09:44 --
-----
-----
-- Creating Terraview Project --
-----
import("gis")
local projFile = File("t3mp.tview")
if(projFile:exists()) then
    projFile:delete()
end
proj = Project {
    file = "t3mp.tview",
    clean = true
}
l1 = Layer{
    project = proj,
    name = "layer",
    file = "C:\\Model_LuccME\\cellnov_bhrm1.shp"
}
-----
-- LuccME Model --
-----
import("luccme")
dofile("C:\\Model_LuccME\\Modelo_nov\\fin_model_submodel.lua")

-----
-- LuccME APPLICATION MODEL DEFINITION --
-----
fin_model = LuccMEModel
{
    name = "fin_model",
    -----
    -- Temporal dimension definition --
    -----
    startTime = 2008,
    endTime = 2017,
    -----
    -- Spatial dimension definition --
    -----
    cs = CellularSpace
    {
        project = "t3mp.tview",
        layer = "layer",
        cellArea = 0.0225,
    },
    -----
    -- Land use variables definition --
    -----
    landUseTypes =

```

```

{
    "ui_1", "ui_2", "ui_3", "ui_4", "ui_5"
},
landUseNoData = "ui_5",
-----
-- Behaviour dimension definition:          --
-- DEMAND, POTENTIAL AND ALLOCATION COMPONENTS --
-----
demand = D1,
potential = P1,
allocation = A1,
save =
{
    outputTheme = "fin_model_",
    mode = "multiple",
    saveYears = {2008, 2017},
    saveAttrs =
    {
        "ui_1_out",
        "ui_1_chtot",
        "ui_1_chpast",
        "ui_1_pot",
        "ui_1_reg",
        "ui_2_out",
        "ui_2_chtot",
        "ui_2_chpast",
        "ui_2_pot",
        "ui_2_reg",
        "ui_3_out",
        "ui_3_chtot",
        "ui_3_chpast",
        "ui_3_pot",
        "ui_3_reg",
        "ui_4_out",
        "ui_4_chtot",
        "ui_4_chpast",
        "ui_4_pot",
        "ui_4_reg",
    },
},
isCoupled = false
} -- END LuccME application model definition

-----
-- ENVIRONMENT DEFINITION          --
-----
timer = Timer
{
    Event
    {
        start = fin_model.startTime,
        action = function(event)
            fin_model:run(event)
        end
    }
}
env_fin_model = Environment{}
env_fin_model:add(timer)
-----

```

```

-- ENVIRONMENT EXECUTION --
-----
if fin_model.isCoupled == false then
  tsave = databaseSave(fin_model)
  env_fin_model:add(tsave)
  env_fin_model:run(fin_model.endTime)
  saveSingleTheme(fin_model, true)
  projFile = File("t3mp.tview")
  if(projFile.exists()) then
    projFile.delete()
  end
end
end

```

Código do modelo 2 (arquivo submain)

```

-----
-- This file contains the COMPONENTS definition --
-- Compatible with LuccME 3.1 --
-- Generated with LuccMe Model Configurator --
-- 27/11/2018 at 21:09:44 --
-----
-- Demand --
-----
D1 = DemandPreComputedValues
{
  annualDemand =
  {
    -- "ui_1", "ui_2", "ui_3", "ui_4", "ui_5"
    {1436.5908277650000, 43.0020000000000, 367.3177963875000,
182.9558557575000, 97.0585200900000}, -- 2008
    {1395.1797588600000, 53.8713643175000, 398.5663534100000,
182.2490033225000, 97.0585200900000}, -- 2009
    {1353.7686899550000, 64.7407286350000, 429.8149104325000,
181.5421508875000, 97.0585200900000}, -- 2010
    {1312.3576210500000, 75.6100929525000, 461.0634674550000,
180.8352984525000, 97.0585200900000}, -- 2011
    {1270.9465521450000, 86.4794572700000, 492.3120244775000,
180.1284460175000, 97.0585200900000}, -- 2012
    {1229.5354832400000, 97.3488215875000, 523.5605815000000,
179.4215935825000, 97.0585200900000}, -- 2013
    {1188.1244143350000, 108.2181859050000, 554.8091385225000,
178.7147411475000, 97.0585200900000}, -- 2014
    {1146.7133454300000, 119.0875502225000, 586.0576955450000,
178.0078887125000, 97.0585200900000}, -- 2015
    {1105.3022765250000, 129.9569145400000, 617.3062525675000,
177.3010362775000, 97.0585200900000}, -- 2016
    {1063.8912076200000, 140.8262788575000, 648.5548095900000,
176.5941838425000, 97.0585200900000} -- 2017
  }
}

-----
-- Potential --
-----
P1 = PotentialCSpatialLagRegression
{
  potentialData =
  {
    -- Region 1

```

```

{
  -- ui_1
  {
    isLog = false,
    const = 0.0720012,
    minReg = 0,
    maxReg = 1,
    ro = 0.954238,
    betas =
    {
      incre_SFP = -0.0112503,
      mun_dende = -0.000037,
      poprural = 0.000031,
      carsit_MAD = 0.00953765,
      altitude = -0.00114157,
      focos_2 = 0.00295717,
      precip = 0.000005,
      ZAE_3 = -0.0157538,
      aptid_2 = 0.0806996,
      llocaldist = -0.0172496
    }
  },
  -- ui_2
  {
    isLog = false,
    const = -0.000686663,
    minReg = 0,
    maxReg = 1,
    ro = 0.9911,
    betas =
    {
      carsit_PEQ = -0.00142241,
      altitude = 0.000022,
      carsit_GRA = 0.00084794
    }
  },
  -- ui_3
  {
    isLog = false,
    const = -0.0768033,
    minReg = 0,
    maxReg = 1,
    ro = 0.955343,
    betas =
    {
      carsit_PEQ = -0.00935792,
      carsit_GRA = -0.00762331,
      mun_dende = 0.000033,
      UC_RESEX = -0.00691558,
      altitude = 0.000623255,
      Iriodist = -0.00350169,
      Irodfedest = 0.00396997,
      llocaldist = 0.0152405
    }
  },
  -- ui_4
  {
    isLog = false,
    const = -0.0320483,
    minReg = 0,

```

```

maxReg = 1,
ro = 0.929124,
betas =
{
    llocaldist = 0.00849694,
    lrodfedest = 0.00297751,
    altitude = 0.00118546,
    UC_RESEX = 0.00557531,
    carsit_PEQ = -0.00693186,
    focos_3 = -0.00462926,
    aptid_2 = -0.0891655,
    incre_SFP = 0.0174288,
    carsit_MAD = -0.00615612,
    focos_2 = -0.00216799,
    ZAE_3 = 0.0207307,
    precip = 0.000005
}
},
-- ui_5
{
    isLog = false,
    const = 0.0703749,
    minReg = 0,
    maxReg = 1,
    ro = 0.962251,
    betas =
    {
        carsit_MAD = -0.00444425,
        aptid_2 = -0.00392476,
        carsit_PEQ = -0.00368273,
        UC_RESEX = 0.0080229,
        altitude = -0.000375385,
        lrodfedest = -0.00357533,
        llocaldist = -0.00963219,
        poprural = -0.000010,
        incre_CAS = -0.0310018,
        carsit_GRA = -0.00340002
    }
}
}
}
}
}

-----
-- Allocation --
-----
A1 = AllocationCCLueLike
{
    maxDifference = 20,
    maxIteration = 15000,
    initialElasticity = 0.1,
    minElasticity = 0.001,
    maxElasticity = 1.5,
    complementarLU = "ui_1",
    allocationData =
    {
        -- Region 1
        {
            {static = 0, minValue = 0, maxValue = 1, minChange = 0, maxChange = 1,
changeLimiarValue = 0.40, maxChangeAboveLimiar = 0.50}, -- ui_1

```

```

        {static = 0, minValue = 0, maxValue = 1, minChange = 0, maxChange = 1,
changeLimiarValue = 0.10, maxChangeAboveLimiar = 0.80},    -- ui_2
        {static = 0, minValue = 0, maxValue = 1, minChange = 0, maxChange = 1,
changeLimiarValue = 0.30, maxChangeAboveLimiar = 0.50},    -- ui_3
        {static = -1, minValue = 0, maxValue = 1, minChange = 0, maxChange = 1,
changeLimiarValue = 0.01, maxChangeAboveLimiar = 0.20},    -- ui_4
        {static = 1, minValue = 0, maxValue = 1, minChange = 0, maxChange = 1,
changeLimiarValue = 1, maxChangeAboveLimiar = 0},    -- ui_5
    },
}
}
}

```

APÊNDICE D – Validação das Classes de Uso da Terra no LuccME

Validação das Classes de Uso da Terra no LuccME

=====
Validation Metric for Continuous Data - version 1.1

attr REAL initial:ui_1 (AGROPECUÁRIA)
attr REAL final :uf_1
attr SIM final :ui_1_out
Accepted error :0.0%

=====

Porcentagem de acertos DE MUDANCA em cada janela:

1	45.90 %
2	50.87 %
3	54.33 %
4	56.81 %
5	58.99 %
6	60.82 %
7	62.38 %
8	63.66 %
9	65.25 %
10	66.26 %

=====
Validation Metric for Continuous Data - version 1.1

attr REAL initial:ui_2 (SILVICULTURA)
attr REAL final :uf_2
attr SIM final :ui_2_out
Accepted error :0.0%

=====

Porcentagem de acertos DE MUDANCA em cada janela:

1	9.75 %
2	12.28 %
3	13.98 %
4	15.72 %
5	17.01 %
6	18.87 %
7	19.38 %

8	20.60 %
9	21.74 %
10	22.76 %

=====
Validation Metric for Continuous Data - version 1.1

attr REAL initial:ui_3 (VS)
attr REAL final :uf_3
attr SIM final :ui_3_out
Accepted error :0.0%

=====

Porcentagem de acertos DE MUDANCA em cada janela:

1	39.53 %
2	45.86 %
3	50.20 %
4	53.32 %
5	56.11 %
6	58.24 %
7	60.11 %
8	61.72 %
9	63.34 %
10	64.87 %

=====
Validation Metric for Continuous Data - version 1.1

attr REAL initial:ui_4 (FLORESTA)
attr REAL final :uf_4
attr SIM final :ui_4_out
Accepted error :0.0%

=====

Porcentagem de acertos DE MUDANCA em cada janela:

1	0.00 %
2	0.00 %
3	0.00 %
4	0.00 %
5	0.00 %
6	0.00 %
7	0.00 %
8	0.00 %
9	0.00 %
10	0.00 %