



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

LUANA HELENA OLIVEIRA MONTEIRO GAMA

MATRÍCULA: 202015570004

**MODELAGEM AMBIENTAL NA FLORESTA NACIONAL DO JAMANXIM-PA:
PROPOSTA DE CENÁRIO FUTURO**

BELÉM/PA
2022

LUANA HELENA OLIVEIRA MONTEIRO GAMA

**MODELAGEM AMBIENTAL NA FLORESTA NACIONAL DO JAMANXIM-PA:
PROPOSTA DE CENÁRIO FUTURO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestra em Geografia pela Universidade Federal do Pará.

Área de concentração: Organização e Gestão do Território.

Linha de pesquisa: Dinâmicas Socioambientais e Recursos Naturais na Amazônia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Arlete Silva de Almeida.

BELÉM/PA
2022

**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)**

G184m Gama, Luana Helena Oliveira Monteiro Gama.
Modelagem Ambiental na Floresta Nacional do Jamanxim-PA:
proposta de cenário futuro / Luana Helena Oliveira Monteiro GamaGama.
— 2022.
109 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^a. Dra. Arlete Silva de Almeida Almeida
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-
Graduação em Geografia, Belém, 2022.

1. Floresta Amazônica. Prognóstico de desmatamento.
Geossistema. I. Título.

CDD 558.115

LUANA HELENA OLIVEIRA MONTEIRO GAMA

**MODELAGEM AMBIENTAL NA FLORESTA NACIONAL DO JAMANXIM-PA:
PROPOSTA DE CENÁRIO FUTURO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Geografia pela Universidade Federal do
Pará.

Área de concentração: Organização e Gestão do
Território.

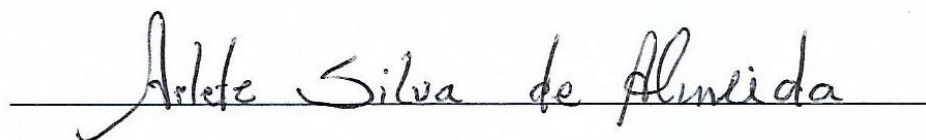
Linha de pesquisa: Dinâmicas Socioambientais e
Recursos Naturais na Amazônia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Arlete Silva de Almeida.

RESULTADO: _____

DATA: 21/02/2022.

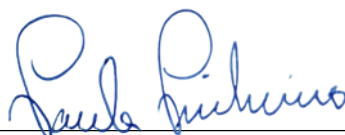
BANCA EXAMINADORA



Prof.^a Dr.^a Arlete Silva de Almeida (Orientadora)



Prof. Dr. Gabriel Alves Veloso (Examinador Interno)



Prof.^a Dr.^a Paula Fernanda Pinheiro Ribeiro Paiva (Examinadora Externa)

Dedico esta dissertação à Deus, e em memória do meu avô e minha avó que me ensinaram o princípio da sabedoria. À minha família, em especial ao meu filho Henry.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por me fortalecer, me ajudar a vencer e superar as perdas, e as dificuldades ao longo dessa jornada.

Agradeço à minha mãe Lina Monteiro, por me apoiar em tudo e me incentivar sempre. À minha irmã Lorrana Keller, por todo carinho e palavras cativantes. Ao meu filho Henry Gama por toda paciência, cuidado e carinho. Ao meu amigo Frank (sem palavras). Ao meu esposo Gissandro Gama por me apoiar em minhas decisões, dando auxílio e incentivo, e por estar ao meu lado em todos os momentos e nas horas mais difíceis.

À minha orientadora, Prof^{ra}. Dra Arlete Almeida, por todo cuidado, apoio, paciência e empatia em momentos delicados nessa trajetória de pós-graduação. Agradeço aos conhecimentos repassados ao longo deste estudo, que foram primordiais para o desenvolvimento do mesmo.

À Prof.^a Dra. Paula Paiva e Prof.^o Dr. Orleno Marques pelo incentivo, apoio e oportunidades desde a graduação até os dias atuais.

Agradeço também à Dra. Maria de Nazaré Maciel e Dra. Maria de Lourdes Ruivo, que abriram portas para a pesquisa científica quando eu ainda estava na graduação, e que foi incentivo para eu trilhar esse caminho de pesquisa.

Meus agradecimentos ao quadro de professores do PPGEIO, foram debates excelentes de muito conhecimento e aprendizado. À secretária Rosane Brito que foi bastante atenciosa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa cedida. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) juntamente com o Programa de Pós-Graduação, pelo apoio financeiro e apoio à pesquisa.

Agradeço ao estagiário Pedro Monteiro do LABEEAMB. Enfim, a todas as pessoas que direta ou indiretamente fizeram parte de momentos importantes nesta pós-graduação, e que ajudaram com palavras de apoio ou ensinamentos, deixo aqui a minha eterna gratidão a vocês.

RESUMO

As áreas protegidas foram criadas essencialmente para a conservação da fauna e flora. Analisar suas dinâmicas socioambientais torna-se um desafio, e ao mesmo colabora para a compreensão da paisagem. O presente estudo tem como objetivo modelar cenários futuros a partir de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento na Floresta Nacional (FLONA) do Jamanxim-PA, com base na classificação de uso da terra dos anos de 2013 e 2020. Analisar as variáveis independentes por meio da Inteligência Artificial. Aplicar o modelo do DINAMICA EGO usando o método de transição para simular trajetórias de desmatamento até 2030, baseado nas variáveis dependentes (cobertura e uso da terra 2013 e 2020) e variáveis independentes (altimetria, declividade, distância às estradas, distância à assentamentos e distância à hidrografia). Os altos índices de desmatamento nos limites das unidades de conservação, acarretam grandes perdas ambientais ao longo do tempo. Segundo o INPE, o estado do Pará apresentou a maior perda florestal dos estados da Amazônia brasileira em 2019, um total de 3.862 km², com uma taxa de aumento de 41% quando comparado a 2018. Através do modelo matemático é possível analisar “Onde” será desmatado; “Quando” será desmatado e quais as taxas de desmatamento; e “Como”, qual será a representação espacial das novas áreas de modificações, ou seja, como será o processo de desmatamento. Com base na dinâmica cobertura e uso da terra e dos elementos que compõem a paisagem, como por exemplo, as variáveis independentes, é possível realizar projeções futuras de desmatamento na FLONA do Jamanxim. Aborda-se teorias de autores representativos de diferentes correntes da Geografia, para conceituar espaço, paisagem e modelagem dinâmica. Na Geografia Física, parte-se dos conceitos de Bertrand. Para a Geografia Quantitativa tomou-se como base Waldo Tobler. A discussão da Geografia Crítica está baseada nos trabalhos de Milton Santos. E Soares-Filho para a modelagem dinâmica espacial. A metodologia foi dividida em três fases principais: 1- Processamento das imagens de satélite, utilizando-se o método de classificação supervisionada através do algoritmo de Máxima Verossimilhança; 2- Processamento das variáveis independentes; 3- Etapa considerada principal do estudo, que consiste na modelagem espacial no DINAMICA EGO. Como resultado da análise de cobertura e uso da terra, observou-se que houve redução de área de 112,51 km² (0,87%) de floresta primária, e aumento da classe mosaico de ocupações (desmatamento) com área de 393,53 km², equivalente a 3% de área desmatada. As principais atividades observadas foram: exploração florestal e mineração. Nota-se ainda, um padrão de desmatamento classificado como geométrico e regular, com atividades econômicas, como a agricultura, e principalmente monoculturas de grão e pecuária de média a larga escala, e estágio intermediário de ocupação. As variáveis independentes assumem o modelo GTP de Bertrand, para observar a dinâmica da paisagem. Observou-se que 0,28% da floresta primária foi convertida para desmatamento. Ou seja, de 2013 a 2020 o desmatamento está ocorrendo a uma taxa líquida de 28% ao ano. E há alta probabilidade de transição de floresta primária para mosaico de ocupações, e de exploração florestal para mosaico de ocupações ao norte e ao sul da FLONA do Jamanxim, áreas estas, que podem estar associadas a implantação de estradas (BR-163), e aos projetos de assentamentos PDS Brasília e Projeto Vale do Jamanxim, que consequentemente podem causar impacto à resiliência da paisagem. Com base na modelagem e análise de cenários futuros, verifica-se que pode haver perda de 198,79 km² (1,52%) de floresta primária, e aumento considerável de desmatamento de 155,20 km² até 2030. O mapeamento deste estudo, pode apoiar ações das políticas públicas, por meio da análise de impactos de leis e identificação de áreas prioritárias para ação governamental na FLONA do Jamanxim. Com base na modelagem espacial, em conjunto com os planos de comando, controle e monitoramento, é possível orientar o desenvolvimento socioambiental, econômico e cultural nesta UC, para manutenção e conservação dos bens naturais.

Palavras-chave: Floresta Amazônica. Prognóstico de desmatamento. Geossistema.

ABSTRACT

Protected areas were created essentially for the conservation of fauna and flora. Analyzing its socio-environmental dynamics becomes a challenge, and at the same time contributes to the understanding of the landscape. The present study aims to model future scenarios from remote sensing and geoprocessing techniques in the National Forest (FLONA) of Jamanxim-PA, based on the land use classification of the years 2013 and 2020. Analyze the independent variables through of Artificial Intelligence. Apply the DINAMICA EGO model using the transition method to simulate deforestation trajectories up to 2030, based on the dependent variables (land cover and use 2013 and 2020) and independent variables (altimetry, slope, distance to roads, distance to settlements and distance to hydrography). The high rates of deforestation within the limits of conservation units, lead to large environmental losses over time. According to INPE, the state of Pará presented the highest forest loss of the Brazilian Amazon states in 2019, a total of 3,862 km², with an increase rate of 41% when compared to 2018. Through the mathematical model it is possible to analyze “Where” will be deforested; “When” will it be deforested and what deforestation rates will be; and “How”, what will be the spatial representation of the new areas of modification, that is, how the deforestation process will be based on the dynamic cover and use of the land and the elements that make up the landscape, such as the variations independent activities, it is possible to carry out future projections of deforestation in the FLONA do Jamanxim. Theories of authors representing different currents of Geography are approached to conceptualize space, landscape and dynamic modeling. In Physical Geography, one starts from Bertrand's concepts. For Quantitative Geography, Waldo Tobler was used as a basis. The discussion of Critical Geography is based on the works of Milton Santos. And Soares-Filho for spatial dynamic modeling. The methodology was divided into three main phases: 1- Processing of satellite images, using the supervised classification method through the Maximum Likelihood algorithm; 2- Processing of independent variables; 3- Stage considered the main part of the study, which consists of spatial modeling in DINAMICA EGO. As a result of the analysis of land cover and use, it was observed that there was a reduction in the area of 112.51 km² (0.87%) of primary forest, and an increase in the mosaic class of occupations (deforestation) with an area of 393.53 km², equivalent to 3% of deforested area. The main activities observed were: forest exploitation and mining. There is also a deforestation pattern classified as geometric and regular, with economic activities, such as agriculture, and mainly medium to large-scale grain and livestock monocultures, and an intermediate stage of occupation. The independent variables assume Bertrand's GTP model to observe landscape dynamics. It was observed that 0.28% of the primary forest was converted to deforestation. That is, from 2013 to 2020 deforestation is occurring at a net rate of 28% per year. And there is a high probability of transition from primary forest to a mosaic of occupations, and from forest exploitation to a mosaic of occupations to the north and south of the FLONA do Jamanxim, areas that may be associated with the implementation of roads (BR-163), and to the PDS Brasília and Vale do Jamanxim Project settlements, which consequently can impact the resilience of the landscape. Based on modeling and analysis of future scenarios, it appears that there may be a loss of 198.79 km² (1.52%) of primary forest, and a considerable increase in deforestation of 155.20 km² by 2030. The mapping of this study, it can support public policy actions by analyzing the impact of laws and identifying priority areas for government action in FLONA do Jamanxim. Based on the spatial modeling, together with the command, control and monitoring plans, it is possible to guide the socio-environmental, economic and cultural development in this UC, for the maintenance and conservation of natural assets.

Keywords: Amazon Forest. Deforestation prognosis. Geosystem.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Áreas de proteção ambiental com maiores áreas desmatadas na Amazônia Legal .	19
Figura 2- Caracterização das células em autômatos celulares.....	44
Figura 3 - Exemplificação de autômatos celulares.....	45
Figura 4- Mapa de localização da FLONA do Jamanxim em Novo Progresso – PA	48
Figura 5 - Fluxograma metodológico da pesquisa.....	49
Figura 6– Modelo LUCC.....	61
Figura 7 - Mudanças da cobertura e uso da terra na Floresta Nacional do Jamanxim nos anos de 2013 e 2020.....	65
Figura 8 – Mudanças na cobertura e uso da terra, perdas e ganhos, 2013 e 2020.....	66
Figura 9 – Padrão espacial de desmatamento (geométrico regular).....	66
Figura 10 - Mapas de altimetria (A) e declividade (B).....	69
Figura 11- Mapa de hidrografia da FLONA do Jamanxim em Novo Progresso – PA	70
Figura 12- Domínio geomorfológico da FLONA do Jamanxim em Novo Progresso – PA	71
Figura 13 - Mapa de vegetação da FLONA do Jamanxim em Novo Progresso – PA	72
Figura 14 - Mapa geológico da FLONA do Jamanxim em Novo Progresso – PA	74
Figura 15- Mapa pedológico da FLONA do Jamanxim em Novo Progresso – PA	75
Figura 16 - Mapa de precipitação (A) e temperatura (B) da FLONA do Jamanxim em Novo Progresso – PA	76
Figura 17 - Mapa de distância à assentamentos (A) e distância às estradas (B)	78
Figura 18 - Mapa de distância à hidrografia.....	79
Figura 19 - Mapa de representação geral das variáveis utilizadas no modelo de simulação ...	80
Figura 20 – Percentual de células da paisagem que mudaram para desmatamento de 2013 para 2020	82
Figura 21 – Correlação entre os pesos de evidência.....	84
Figura 22 – Probabilidades de transições da paisagem (2013/2020).....	85
Figura 23 – Áreas propícias às mudanças de floresta primária para desmatamento dado a evidência das variáveis (km)	87
Figura 24 – Similaridade da paisagem	88
Figura 25 – Projeção de desmatamento e cenários futuros para a FLONA do Jamanxim até 2030	89
Figura 26 - Perdas e ganhos de cobertura e uso da terra na FLONA do Jamanxim de 2021 a 2030.....	89
Figura 27 – Mapa de cobertura e uso da terra simulado para o ano de 2030 na FLONA do Jamanxim.....	91
Figura 28 – Índices de desmatamento e PIB Real <i>per capita</i> na Amazônia Legal de 2010 a 2020	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Qualidade da classificação do algoritmo pelo índice <i>kappa</i>	53
Tabela 2 - Dados de representação das variáveis que serão empregadas no modelo dinâmico	53
Tabela 3 – Parâmetros utilizados para a formação de manchas	62
Tabela 4 - Classes e mudanças na cobertura e uso da terra na FLONA do Jamanxim nos anos de 2013 e 2020.....	65
Tabela 5 – MATRIZ DE TRANSIÇÃO DE PASSOS MÚLTIPLOS EM VALORES PERCENTUAIS	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Legislação brasileira.....	31
Quadro 2 - Fonte de dados secundários utilizadas na pesquisa.....	50
Quadro 3- Critérios de avaliação utilizados para a classificação de uso e cobertura da terra..	51
Quadro 4 – Código de cada classe da cobertura e uso da terra	57

LISTA DE ABREVIATURAS

SIG	Sistema de Informação Geográfica
ROI	<i>Region of Interest</i>
ENVI	<i>Environment for Visualizing Images</i>
MAXVER	Máxima Verossimilhança
MDE	Modelo Digital de Elevação
TIN	<i>Triangulated Irregular Network</i>
OLI	<i>Operational Terra Imager</i>
FLAASH	<i>Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
GTP	Geossistema, Território, Paisagem
AC	Autômatos Celulares
ICMBIO	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISA	Instituto Socioambiental
MMA	Ministério do Meio Ambiente
ZEE	Zoneamento Ecológico-Econômico
PPCDAM	Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal
FLONA	Floresta Nacional
RGB	<i>Red/Green/Blue</i>
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
UC	Unidade de Conservação
USGS	<i>United Service Geological Survey</i>
UTM	<i>Universal Transversal de Mercator</i>
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
ONU	Organização das Nações Unidas
CMAP	Comissão Mundial de Áreas Protegidas
UIPN	União Internacional para a Proteção da Natureza
UICN	União Nacional para a Conservação da Natureza
BNDS	Banco Nacional e Desenvolvimento Econômico e Social

ANA	Agência Nacional de Águas
SIBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SFB	Serviço Florestal Brasileiro
DETER	Sistema de Detecção de Desmatamentos em Tempo Real
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
GEE	Google Earth Engine

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
2.	CAPÍTULO I – ABORDAGEM TEÓRICA E CONCEITUAL	22
2.1.	HISTÓRICO DE CRIAÇÃO DA FLONA DO JAMANXIM: AGENTES, PROCESSOS E CONFLITOS.....	22
2.2.	ÁREAS PROTEGIDAS E ASPECTOS LEGAIS.....	29
2.3.	PAISAGEM	33
2.4.	GEOSSISTEMA.....	36
2.5.	MODELAGEM DE CENÁRIOS AMBIENTAIS.....	39
2.5.1.	Autômatos Celulares.....	43
3.	CAPÍTULO II - ÁREA DE ESTUDO E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	47
3.1.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	47
3.2.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	49
3.3.	VARIÁVEIS DEPENDENTES	50
3.4.	PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DE SATÉLITE	51
3.5.	VALIDAÇÃO.....	52
3.6.	VARIÁVEIS INDEPENDENTES	53
3.7.	CONVERSÃO DAS BASES VETORIAIS EM MATRICIAIS	55
3.8.	MODELAGEM NO DINAMICA EGO	56
3.8.1.	Produção da matriz de transição	58
3.8.2.	Composição e correlação dos intervalos de pesos de evidência	59
3.8.3.	Configuração do modelo: simulação LUCC.....	60
3.8.4.	Validação do modelo	62
3.8.5.	Formação de manchas e simulação de cenários futuros	62
4.	CAPÍTULO III – ANÁLISE TEMPORAL DE 2013 E 2020	64
4.1.	COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA.....	64
5.	CAPÍTULO IV: ANÁLISE DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES	69
5.1.	MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO.....	69
5.2.	GEOSSISTEMA HIDROGRÁFICO	69
5.3.	GEOSSISTEMA GEOMORFOLÓGICO.....	71
5.4.	GEOSSISTEMA VEGETAL	72
5.5.	GEOSSISTEMA GEOLÓGICO	73
5.6.	GEOSSISTEMA PEDOLÓGICO	74
5.7.	GEOSSISTEMA CLIMÁTICO	75
5.8.	MAPAS DE DISTÂNCIAS	77
6.	CAPÍTULO V: MODELAGEM DE CENÁRIOS AMBIENTAIS	81
6.1.	MATRIZ DE TRANSIÇÃO.....	81
6.2.	PROBABILIDADES DE TRANSIÇÃO DA PAISAGEM.....	83
6.3.	VALIDAÇÃO DO MODELO	88
6.4.	CENÁRIOS DE DESMATAMENTO NA FLONA DO JAMANXIM ATÉ 2030	88
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o país que dispõe da maior floresta do planeta, com mais de 46 mil espécies registradas, correspondendo a 14% do total mundial (Forzza *et al.*, 2012). É detentor de grande riqueza natural e ocupa posição de destaque entre os demais países, pois possui áreas protegidas que configuram recursos essenciais de conservação *in situ* da biodiversidade (Cruz *et al.*, 2017).

A floresta amazônica brasileira abrange mais de 3,2 milhões de quilômetros quadrados, protegendo quase um terço das florestas tropicais do mundo, um quinto das águas doces superficiais, desempenhando assim função essencial na regulação do clima regional e global (Uhl *et al.*, 1997; Veríssimo e Pereira, 2014).

Além disso, a Amazônia brasileira é predominantemente a maior região produtora de madeira tropical do Brasil e do mundo, ao qual representa 80% da renda bruta do setor florestal regional (Veríssimo, 2006; Veríssimo e Pereira, 2014). Em 2017 registou-se, em áreas protegidas, um total de 45,8 quilômetros quadrados de mineração, áreas essas restritas ao garimpo ilegal (Palheta da Silva, 2014; WWF, 2018).

Ao longo dos anos, inúmeros projetos que tinham como objetivo a organização e a integração da Amazônia, foram propostos e implementados pelo Governo Federal. Os quais foram responsáveis pelo rearranjo e ordenação geopolítica, econômica e social.

Estes projetos possuíam também fatores ligados a soberania nacional ameaçada pela presença de vazios demográficos, o que apoiou a elaboração do Plano de Desenvolvimento orientado para certificar a segurança das fronteiras do povoamento, diminuindo assim, as tensões locais e banindo as influências “além das fronteiras” (Mello, 2006; Becker, 2015; Coelho *et al.*, 2017, Schielein e Borner, 2018).

A partir da década de 1970, o bioma Amazônia teve seu encadeamento de apropriação e desmatamento acelerado, mediante a tentativa de uma agregação nacional, ascendendo o desmatamento a grandes índices, particularmente no intitulado “arco do desmatamento”¹ (Bonini *et al.*, 2014; Barros e Barbosa, 2015). Tal processo foi iniciado com a abertura de estradas e pavimentação que possibilitaram a instauração de ocupações divergentes, e principalmente a ampliação de uso da terra nas adjacências das unidades de conservação (Costa *et al.*, 2015).

Nesse mesmo período, surgem os primeiros grandes projetos agrominerais no

¹ Região que apresenta altos índices de desmatamento, localiza-se ao sul da Amazônia, partindo do sudeste do Pará para o oeste, atravessa o Norte do Mato Grosso, Rondônia e Acre.

Estado do Pará (Cardoso e Miller, 2008; Palheta *et al.*, 2017). E os Programas de Integração Nacional (PIN) e de Desenvolvimento de Terras (PROTERRA) se constituíram em instrumentos para subsidiar as ações prioritárias, com o propósito de promover a integração das regiões Nordeste e Amazônia ao centro econômico do país, através da construção das rodovias Transamazônicas (BR-230) e Cuiabá-Santarém (BR-163) (Silva *et al.*, 2020).

O estado do Pará apresentou a maior perda florestal dos estados da Amazônia brasileira em 2019, um total de 3.862 km², com uma taxa de aumento de 41% quando comparado ao ano de 2018, em áreas protegidas (BRASIL; INPE, 2019).

A formação e a implantação de áreas protegidas foram elaboradas pelo governo como estratégias mediante a elaboração de leis, para auxiliar na redução das emissões de gases do efeito estufa provenientes do desmatamento, assim como fazer o monitoramento, levando em consideração cenários de mudanças climáticas e conservação da biodiversidade na floresta amazônica e em todos os biomas brasileiros (Marengo e Souza Junior, 2018).

A Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, art. 7º, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC, e define que a Floresta Nacional (FLONA) do Jamanxim está inserida ao grupo de Unidade de Conservação de Uso Sustentável, tem como objetivo “contribuir efetivamente para o desenvolvimento sustentável da região (BRASIL, 2000).

Segundo Bezerra *et al.* (2018), a constituição e inserção de Unidades de Conservação (UCs) tem sido uma das possibilidades estratégica para a salvaguardar a biodiversidade. Contabiliza-se que as áreas protegidas com unidades de conservação, amparam 14,13% da área terrestre e 26,36 % da área global oceânica, e armazenam 56% do carbono terrestre global, ajudando assim a minimizar os impactos do desmatamento (MMA, 2019).

A Floresta Nacional do Jamanxim foi criada, conforme determinado em seu artigo 1º, com o intuito e objetivos básicos de incentivo do manejo de uso múltiplo sustentável de recursos florestais, para a manutenção e proteção de recursos hídricos e da biodiversidade, e como base ao desenvolvimento de métodos de exploração sustentável de recursos naturais (Molinari e Leal, 2018).

O Plano de Manejo da FLONA do Jamanxim aponta as atividades garimpeiras e madeireiras ilegais, a pecuária iniciou-se antes de sua criação, a pesca e caça irregulares e o aumento de áreas desmatadas, como os principais problemas enfrentados pela UC. Constatou-se até julho de 2011 que 7% do desmatamento ocorreu em áreas protegidas da Amazônia Legal (Martins *et al.*, 2012).

Esta região possui uma malha vicinal de mais de 2.000 km de estradas próximas à

BR-163, abrigando 770 moradores, distribuídos ao longo deste trecho, o que provoca conflitos fundiários, decorrentes de atividades ilegais (Pereira *et al.*, 2019), mediante aos diversos padrões de cobertura e uso da terra.

Conhecer e analisar as mudanças na cobertura e uso da terra de uma região específica, como a FLONA do Jamanxim é essencial para fornecer subsídios ao monitoramento ambiental, preservação e ocupação racional do espaço físico.

Levando em consideração a conjuntura progressiva do pensamento geográfico, e que envolve o contexto de problemas ambientais, utiliza-se neste estudo o termo “cobertura e uso da terra”.

Conforme o IBGE (2013), Almeida e Vieira (2014) e Faria e Haddad (2019), o termo ganha importância no que se refere ao desenvolvimento sustentável, diante de questões socioambientais e econômicas, e está associado a distribuição espacial de cada elemento na superfície terrestre, que se baseiam em dados de sensoriamento remoto, e podem identificar os distintos padrões de uso da terra no território.

No que concerne ao uso da terra dentro do debate do desenvolvimento sustentável, destaca-se: a determinação dos processos de utilização da terra; e os indicadores aos fatores que levam a mudanças devido a diferentes interesses, direitos civis e conflitos de interesse sobre os recursos naturais (IBGE, 2013).

Desse modo, a utilização das geotecnologias é de grande importância para a detecção e identificação de mudanças de cobertura e uso da terra, possibilitando a tomada de decisão adequada, com o intuito de executar medidas cabíveis a favor da conservação e preservação da biodiversidade em áreas protegidas, e embate ao desmatamento. Permitindo o desenvolvimento sustentável, possibilitando monitorar e avaliar a realidade ambiental (Facco e Benedetti, 2018).

Além do mais, possibilita observar as dinâmicas socioambientais e os recursos naturais nela presente. E em contrapartida, pode-se elaborar leis e estratégias, de planejamento, organização e gestão do território.

A análise da dinâmica de uso e cobertura da terra e as transformações na paisagem, da sua complexidade e das relações múltiplas entre os elementos que compõem o espaço, são de grande importância, visto que, quando essa dinâmica é acelerada e suas alterações no processo degradam o meio ambiente, torna-se um fator de impacto local e global. Trazendo assim, grande discussão acerca da preservação do meio ambiente, e do uso desordenado da terra e dos recursos naturais.

Além da análise das mudanças de cobertura e uso da terra, e para melhor compreender

tais dinâmicas, destaca-se a utilização de diversos modelos matemáticos de simulação, que ao longo do tempo se tornaram promissores em diversos campos de pesquisa.

Uma excelente classe de modelos de simulação é construída através de modelos espaciais ou de paisagem (Soares-Filho *et al.*, 2007), que representam as mudanças das propriedades físicas do meio ambiente através do território geográfico.

A utilização de tais modelos, visa contribuir para os entendimentos das causas e processos de desenvolvimento de sistemas ambientais, e assim pode-se observar como eles modificam-se perante um conjunto de particularidades.

Através das representações matemáticas e computacionais do espaço, e de uma revisão das principais concepções da Geografia, na perspectiva da construção de sistemas de informação, contribui-se não apenas para a fundamentação teórica da presente pesquisa, mas também para elaboração de estratégias de gestão e implementação de políticas públicas em Áreas Protegidas na Amazônia Oriental, em especial a Floresta Nacional do Jamanxim no Estado do Pará.

Ante o exposto, evidencia-se grande importância em debruçar-se nesta temática, em relação as mudanças da paisagem e simulação de modelos espaciais, a qual visa contribuir para futuros projetos de ordenamento e gestão ambiental.

Dessa forma, os estudos com modelagem apresentam-se como ferramenta que pode contribuir para a melhor compreensão das causas de atividades antrópicas sobre os recursos naturais.

Os modelos podem prognosticar possíveis trajetórias de impactos ambientais, com base nas informações dos elementos do passado. Ou seja, tais instrumentos levam em consideração não só a região (espaço), mas também o tempo, ou o intervalo de tempo entre o levantamento inicial e os intervalos finais, para poder ser observado as mudanças que a região sofre e/ou poderá sofrer ao longo do tempo, identificando os padrões espaciais.

Sendo assim, torna-se primordial desenvolver estudos teóricos e práticos que possibilitem a elaboração de tal pesquisa. Visto que, a Amazônia apresenta uma ampla área de ecossistemas naturais, aos quais estão enquadrados em Unidades de Conservação federais, estaduais ou municipais, com a finalidade de salvaguardar patrimônios naturais e sócio culturais (Deguignet *et al.*, 2014).

Por este motivo, é de grande importância desenvolver políticas públicas que assegurem a preservação dos ambientes naturais de magnitude ambiental, agregando suas áreas e designar corredores ecológicos para garantia da conectividade ecológica (Leite, 2015). Assim como, aplicar estudos e técnicas avançadas para melhor compreensão, diagnósticos de

desmatamento e prognóstico ambiental em áreas protegidas.

Uma das principais preocupações da pesquisa, são os avanços desordenados de desmatamento e seus altos índices em UCs na Amazônia.

De acordo com o INPE (2016) entre os anos de 2012 a 2015, mais de 237,3 mil hectares foram desmatados dentro dos limites de UCs na Amazônia. Araújo *et al.* (2017) afirmam que foram destruídos cerca de 136 milhões de árvores, ocasionando a morte ou saída do seu habitat natural de aproximadamente 4,2 milhões de aves e 137 mil primatas.

Em 2019, a FLONA do Jamanxim ocupou a 1ª posição de área mais desmatada com 163.78 km², referente ao mês de dezembro (INPE, 2019), como mostra a Figura 1. Nesse mesmo período, o projeto MapBiomas emitiu alerta de desmatamento de 8,33 hectares (MAPBIOMAS, 2019).

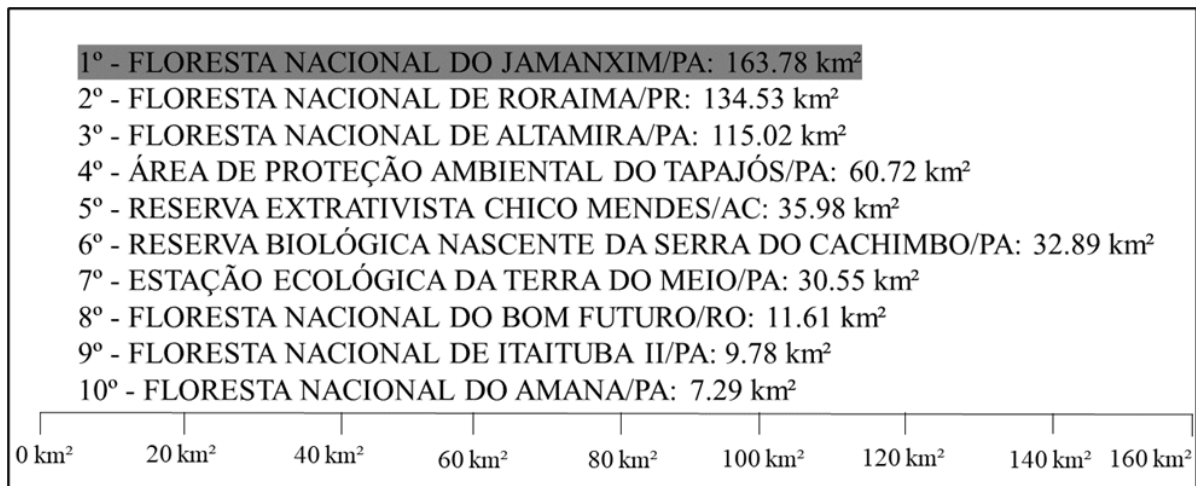


Figura 1 - Áreas de proteção ambiental com maiores áreas desmatadas na Amazônia Legal
Fonte: INPE (2019).

Segundo o INPE, até agosto de 2020, foi detectado desmatamento na Amazônia Legal com um total de 10.7 km². No Estado do Pará, o desmatamento acumulado foi de 4.462,33 km² equivalente a 41,84%. No mês de agosto de 2020, nos limites da FLONA do Jamanxim, foi detectado cerca de 100,82 Km² de desmate, área equivalente a 9,09% de incremento de desmatamento acumulado, ocupando o 2º lugar no ranking, e no mês de setembro, passou para a 3ª posição com 712.29 Km², equivalente a 10,55% de desmatamento acumulado (INPE, 2020).

Todos estes dados chamam a atenção para esta área que ainda é a última fronteira de floresta na região da BR-163, sendo alvo constante de invasões e propostas de redefinição dos seus limites territoriais (Pinheiro *et al.*, 2016; Pinheiro *et al.*, 2020) já demonstravam o quanto

esta UC estava sendo impactada e quais as consequências de uma provável redefinição dos seus limites.

Além do mais, o desmatamento altera o uso da terra, prejudica o meio ambiente, a biodiversidade e ocasiona a fragmentação florestal em áreas protegidas na Amazônia (Alencar *et al.*, 2015; Laurance *et al.*, 2017).

O corte seletivo de madeira, caso seja orientada dentro dos padrões aceitáveis de manejo ambiental amparado pelas leis vigentes, podem acarretar benefícios à floresta e a comunidade, não reduzindo assim a biodiversidade nela presente (Torres *et al.*, 2017; Barni *et al.*, 2018).

No entanto, se o corte seletivo de madeira for conduzido de maneira desordenada e predatória, pode ocasionar danos irreversíveis e irreparáveis à floresta no que diz respeito a extinção de inúmeras espécies, consequentemente ocasionando perda de ambientes naturais essenciais, deixando vulnerável à incêndios florestais (Barni *et al.*, 2018), alterando e danificando a estrutura da floresta e sua biomassa, perdendo assim a sua resiliência natural (Fearnside, 2008; Martini *et al.*, 2012; Xaud *et al.*, 2013).

Diante do que foi abordado, este estudo justifica-se pela importância de se avaliar o quanto que esta FLONA está sendo devastada por interesses que vão além dos de proteção da sua biodiversidade.

Parte-se da hipótese, de que através do modelo matemático é possível analisar “Onde” será desmatado, “Quando” será desmatado e quais as taxas de desmatamento. E “Como”, qual será a representação espacial das novas áreas de modificações, ou seja, como será o processo de desmatamento (Vitel, 2009; Barni *et al.*, 2018).

Com base na dinâmica de uso e cobertura da terra e dos elementos que compõem a paisagem, como por exemplo, estradas, assentamentos e hidrografia e das variáveis categóricas é possível realizar projeções futuras de desmatamento na FLONA do Jamanxim. A intensificação de fiscalização, a gestão e elaboração de políticas públicas auxiliam na contenção do desmatamento nessa região.

Nesse sentido, o objetivo geral do presente estudo é modelar cenários futuros a partir de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento na Floresta Nacional do Jamanxim, com base na classificação de uso e cobertura da terra dos anos de 2013 e 2020.

Desta forma, esboça-se os seguintes objetivos específicos:

- Realizar a análise da dinâmica de cobertura e uso da terra na FLONA do Jamanxim nos anos de 2013 e 2020;

- Analisar as variáveis independentes por meio da Inteligência Artificial;
- Simular trajetórias de desmatamento na FLONA do Jamanxim a partir de modelos matemáticos e propor cenários futuros até o ano de 2030.

Para tanto, selecionou-se alguns autores representativos de diferentes correntes da Geografia:

No capítulo I apresenta-se uma abordagem teórica e conceitual sobre áreas protegidas e seus aspectos legais. No caso da Geografia Física, parte-se do pensamento de (Bertrand, 1968) para conceituar a paisagem e Geossistema por (Beroutchacvili e Bertrand, 1978), e Teles e Pimentel (2015) para discussão. Para a Geografia Quantitativa, também chamada de Teórico-Quantitativa ou Nova Geografia, toma-se como base (Waldo Tobler, 1970) para se compreender sobre os autômatos celulares em Sistemas de Informações Geográficas. E para a modelagem espacial Soares-Filho (1998), dentre outros autores.

No capítulo II é realizada a caracterização da área de estudo e os procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa.

No capítulo III realizou-se a análise de cobertura vegetal e uso da terra na FLONA do Jamanxim, referente aos anos de 2013 e 2020, com base no Plano de Manejo da Floresta Nacional do Jamaxim (ICMBIO, 2010), no Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013) e na metodologia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2019b), visando analisar as mudanças que ocorreram nesse período, assim como, identificar padrões espaciais de ocupação (Saito *et al.*, 2011; Maurano, Escada e Renno, 2019) e identificar as principais atividades econômicas nesta região.

Enquanto no capítulo IV aborda sobre as variáveis independentes e/ou elementos que compõem a paisagem e caracterizam especificamente esta região.

E por fim no capítulo V, atendendo ao objetivo principal do estudo, realizou-se a modelagem ambiental conforme Soares-Filho (1998) e simulação da trajetória de desmatamento na FLONA do Jamanxim e prognóstico de cenários futuros, ao qual analisou-se as dinâmicas da paisagem, e os ganhos e perdas socioambientais.

2. CAPÍTULO I – ABORDAGEM TEÓRICA E CONCEITUAL

2.1. HISTÓRICO DE CRIAÇÃO DA FLONA DO JAMANXIM: AGENTES, PROCESSOS E CONFLITOS

A Floresta Nacional do Jamanxim sempre apresentou inúmeros conflitos socioambientais, fato que se agravou após a sua criação em 2006. Evidencia-se que o intuito de salvaguardar esta Unidade de Conservação (UC) está diretamente ligada ao ideal de instituição de espaços territoriais protegidos previstos na lei. E pelo fato de ser abundante em recursos naturais.

A referida floresta, apesar de ser categorizada como Unidade de Conservação de Uso Sustentável dos recursos naturais, foi criada para resolver outras situações que fogem exatamente aos fins ambientais ou de conservação e, sua origem baseou-se sobretudo nos interesses de mercado e de grupos de influência dominantes e desiguais, do bloco de poder, com o intuito de explorar os recursos naturais nela existente.

A FLONA do Jamanxim foi instituída em UC no momento que o Governo Federal teve a necessidade de se posicionar, depois de décadas de ausência, acerca dos altos índices de desmatamento no estado do Pará, perante ao agravamento de conflitos fundiários, que provocou inúmeras mortes (Klingler e Mack, 2020).

Além do mais, o mito dos espaços “vazios” incentivou desde 1970 investidores e grupos de migrantes – populações descendentes de outros estados – a migrarem para as terras devolutas paraenses através de incentivos fiscais, como por exemplo, o Programa de Integração Nacional (PIN): “Terra sem homens para homens sem terra”.

O Decreto de nº 1.164 do ano de 1971 declarou essas terras devolutas, na faixa de 100 km de cada lado da BR-163, para o apoio da segurança nacional e das atividades econômicas.

Segundo Klingler e Mack (2020), até o ano de 1988, o tamanho máximo das terras devolutas alienadas foi de 3.000 ha, e a posse legítima reduziu para 2.500 ha. No ponto de vista histórico, cultural e geográfico, o PIN gerou critérios específicos para ocupar, apropriar e valorizar em grande escala as terras não regularizadas da região (Klingler e Mack, 2020).

Foram elaboradas estratégias políticas, incluindo a criação de instituições, como o Banco da Amazônia (BASA) e a Superintendência para o Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM); projetos hidrelétricos e minerais – Projeto Hidrelétrico Jardim de Ouro na FLONA do Jamanxim, e projetos de colonização agrícola, como o PIN e o Programa de Redistribuição de Terras e Estímulo à Agroindústria nas Regiões Norte e Nordeste (PROTERRA).

O Programa de Integração Nacional tinha como finalidade financiar a construção de infraestrutura nas áreas de atuação da SUDAM, incorporando a rodovia Transamazônica (BR-020), no eixo leste e oeste; e a Cuiabá-Santarém (BR-163), na direção sul e norte (região ao qual está situada a FLONA do Jamanxim), complementando o alcance da Belém-Brasília (BR-010) (Rocha e Canto, 2007).

A apropriação de áreas devolutas reflete um entendimento do espaço, em que a disponibilidade de terra livre é uma condição para a apropriação e modificação dos recursos nela existente em propriedade. Com a narrativa dos colonos pioneiros: “Fomos fundadores, nunca fomos grileiros” (Schumann *et al.*, 2015, p. 27). Embora seja o *habitat* de inúmeros e distintos povos, como indígenas, quilombolas e comunidades tradicionais.

O mito proclamava a soberania sobre as terras devolutas por meio do direito de ocupação imposto e idealizado pelo Estado, com o intuito de incorporar e valorizar o “selvagem” (Turner, 1920, p. 3-4). Consequentemente, as razões econômicas e políticas legitimadas pelo Estado alimentavam a invasão de espaços de sobrevivência da população indígena e tradicional e, dessa forma, reproduziam continuamente as relações coloniais de dominação e exploração da terra e recursos naturais nela existente (Klingler e Mack, 2020).

Com base nas teorias do geógrafo Haesbaert (1994) sobre o território e identidade, as colonizações espontâneas de grupos heterogêneos de colonos, pecuaristas, agricultores capitalizados, madeireiros e operadores de serrarias, garimpeiros, grileiros e até trabalhadores escravos, geram um reflexo das dinâmicas de segregação social das zonas de origem. Observa-se uma ruptura e perda de identidade, ocasionada por interesses distintos e exploração capitalista.

Por outro lado, a participação internacional para proteção e uso sustentável começou a surgir na década 1980, no âmbito do Programa Nossa Natureza, e alcançaram grandes interesses na Conferência do Rio no ano de 1992.

Através do discurso da modernização ecológica e estratégias de valorização e modernização no âmbito de desenvolvimento sustentável, o município de Novo Progresso entrou em um período de “*greening*” (Schmink *et al.*, 2017) e, dessa forma, as florestas desta região foram sendo gradualmente transformadas em “florestas políticas” (Vandergeest e Peluso, 2015).

Estas áreas tornaram-se indicadores potenciais de classificações específicas entre categorias florestais de produção e proteção, territorializações de acesso e uso restrito, ou valores de biomassa e estoques de carbono, segundo Klingler e Mack (2020), ao qual

resultaram no aumento das emissões de gases do efeito estufa, desmatamento e degradação ambiental, influenciado por interesses políticos e econômicos do bloco do poder.

Após o INPE estimar os maiores índices desmatamento já observada para Amazônia em 1995 (29,059 km²), as taxas reduziram. No entanto, no ano de 2004 com a implantação do Plano de Ação e Prevenção para o Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), as dinâmicas se intensificaram e a floresta amazônica vivenciou o segundo maior índice de desmatamento, ao qual cerca de 27,8 mil km² de floresta foram modificadas por corte raso (PRODES, 2005).

A implementação PPCDAm em 2004 foi decisiva e teve um grande impacto à nível local. A partir disso, uma combinação de planos de uso e ocupação da terra – Zoneamento Socioeconômico-Ecológico (ZSEE), Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), Distrito Florestal Sustentável (DFS) e Plano BR-163 Sustentável – certificou a expansão de áreas protegidas, levando sempre em consideração medidas de uso sustentável dos recursos naturais na Amazônia.

A inclusão de Novo Progresso na lista de municípios prioritários da Amazônia em 2008 implicou medidas de políticas de comando e controle fortemente restritivas (Wunder *et al.*, 2008). As áreas florestais ilegalmente desmatadas e degradadas – identificadas por sistemas de monitoramento, estiveram sujeitas a embargo, conforme o Código Florestal, Lei n° 12.651/2012.

Dentre as UCs criadas neste período, a FLONA do Jamanxim foi estabelecida em uma região conhecida como a “Capital do Conflito” (Klingler e Mack, 2020). As maiores taxas de desmatamento ocorreram no interior de UCs segundo o PRODES (2015).

Para Klingler e Mack (2020), operações de comando e controle do IBAMA e Polícia Militar foram intensificadas, como por exemplo, a “Operações Boi Pirata” em 2008 e 2009, que determinou a base para sanções por infrações ambientais. Tais operações foram criadas justamente para retirar o gado do interior de algumas FLONAS, dentre elas a FLONA Jamanxim, e com isso, reduzir a pressão da pecuária em áreas de floresta nativa.

Segundo o IBAMA, o objetivo da operação foi atendido, pois as taxas de desmatamento no interior da unidade diminuíram nos últimos anos (Oliveira, 2019).

Atualmente, ainda é possível observar a criação do gado de forma extensiva no interior da UC (Klingler e Mack, 2020).

Outro entrave para acirrar os conflitos entre os diversos atores sociais, foi a apropriação de recursos e terras, com ampliação da lógica predatória do agronegócio, que também orientou a edição das Medidas Provisórias 756 e 758. A MP 756 alterava os limites

FLONA do Jamanxim, reduzindo de 1.301.120 hectares para 557.580 hectares (BRASIL, 2016).

Esta restrição seria realizada com a criação da Área de Proteção Ambiental (APA) do Jamanxim, com 542.309 hectares, unidade de conservação mais flexível, autorizando inclusive a venda de terras, desmatamento do tipo “corte-raso” e realização de atividades econômicas, como por exemplo, mineração e agropecuária (Leite *et al.*, 2018). Alterando assim a paisagem e influenciando negativamente e diretamente nos recursos naturais e ecossistêmicos existentes na região.

A paisagem rural amazônica reorganizada por formas alternativas do capital, organização social e gestão dos recursos naturais, reintegrou um espaço de realização de intervenções, com projetos sociais e modelos de poder que não se reduzem aos padrões homogeneizadores da atualidade, abordando um diferencial que venham atender as demandas ambientais, passando assim a fazer parte dos embates rurais.

A criação das UCs na Amazônia instituídas como medida do Governo Federal como estratégias de ordenamento territorial, ao qual vários estudos apontam que tais unidades são de grande importância para a conservação da biodiversidade. No entanto, não levam em consideração a relação entre sociedade e natureza, elaborada frente as atividades intensivas e ilícitas dos recursos naturais.

Para melhor entender a dimensão humana envolvendo a paisagem e as riquezas naturais, e analisando os conflitos territoriais decorrentes da criação, implementação e gestão de áreas protegidas na Amazônia, sobretudo a partir das UCs, tem-se a necessidade de retomar o conceito de território na categoria geográfica, refletida por Santos e Silveira (2000):

“O território é a arena da oposição entre o mercado - que singulariza - com as técnicas da produção, a organização da produção, a "geografia da produção" e a sociedade civil - que generaliza - e desse modo envolve, sem distinção, todas as pessoas. Com a presente democracia de Mercado, o território e suporte de redes que transportam as verticalidades, isto é, regras e normas egoísticas e utilitárias (do ponto de vista dos atores hegemônicos), enquanto as horizontalidades levam em conta a totalidade dos atores e das ações” (Santos, 1996, p. 175).

Para Milton Santos (2004) a divisão do trabalho é o fato que impulsiona a vida social e que caracteriza o espaço, sendo esta introduzida ao lugar, restituindo-se herança ao próximo momento histórico, em termos de divisão territorial do trabalho.

A divisão do território de trabalho e as principais atividades econômicas que configuram esta UC espacialmente, é a pecuária, seguida pela agricultura de subsistência e do

garimpo. Assim como, a extração ilegal de madeira e minérios; e grilagem de terras (BRASIL, 2016).

As relações sociais em concordância com a distribuição espacial de objetos técnicos e leis políticas e econômicas, consomem e produzem no lugar, o ambiente que o homem habita. Este consumo e produção espacializam formas que tendem a perdurar mais que suas funções fundadoras (Santos, 2006, p. 140).

Nesse contexto, fica evidente que ao observar o conjunto dos modos de produção presentes nessa área, não estão condicionadas apenas ao que se é concreto, ou seja, ao “visível” como destaca Milton Santos:

Não é aceitável, fazer como Grano (1929, p. 38) que, apesar da unidade dos fenômenos de ordem material e de ordem imaterial em um pedaço qualquer do espaço, a geografia para no domínio do estritamente material, cabendo à sociologia encarregar-se das determinações sociais, culturais e políticas (Santos, 2006).

Analisando pelo lado do “invisível”, observa-se que as características espaciais que configuram a FLONA do Jamanxim nos dias atuais, está intrinsecamente relacionada com o ordenamento territorial jurídico que legitima a estrutura agrária, ao qual foi imposta antes mesmo da criação da FLONA, o que Santos (2006) caracteriza como rugosidade espacial.

“O que na paisagem atual, representa um tempo do passado, nem sempre é visível como tempo, nem sempre é redutível aos sentidos, mas apenas ao conhecimento. Chamemos rugosidade ao que fica do passado como forma, espaço construído, paisagem, o que resta do processo de supressão, acumulação, superposição, com que as coisas se substituem e acumulam em todos os lugares. As rugosidades se apresentam como formas isoladas ou como arranjos. É dessa forma que elas são uma parte desse espaço-fator. Ainda que sem tradução imediata, as rugosidades nos trazem os restos de divisões do trabalho já passadas (todas as escalas da divisão do trabalho), os restos dos tipos de capital utilizados e suas combinações técnicas e sociais com o trabalho” (Santos, 2006, p. 91-92).

A partir do entendimento de espaço como um agrupamento indissociável de sistemas de objetos e sistemas de ações podemos identificar o seu conjunto de características analíticas internas. Entre elas, estão “a paisagem, a configuração territorial, a divisão territorial do trabalho, o espaço produzido, as rugosidades e as formas e conteúdo” (Santos, 2006, p. 12-13). Nahum (2020, p.11) reitera que, “o espaço deixa seu testemunho às gerações, sucessão e coexistência são mediadas pela técnica que assume espacialidade”.

No que se refere a grandes projetos de infraestrutura e transporte ou grandes sistemas de objetos (Santos, 1996) que modelam esta área em agronegócio e fixos da economia, tornando-se enclave do meio técnico para o meio natural, tal malha viária é composta por onze vicinais com mais de 2.000 km. Em junho de 2006 o Governo Federal lançou a versão

final do Plano de Desenvolvimento Regional Sustentável (Plano BR-163 Sustentável) que liga Cuiabá (MT) a Santarém (PA).

Tal objeto atinge diretamente os povos e comunidades tradicionais na Amazônia, em seus territórios, lugares e modos de vida, perante uma organização territorial integralmente associada ao Estado e às grandes empresas, com específica ação no espaço rural, e se concebe na produção de fluxos e na metamorfose da natureza em *commodities* (Lima e Costa Silva, 2017).

“[...] A hegemonia do fundo público estatal cria condições jurídicas, políticas e financeiras para edificação do meio técnico na forma de grandes projetos sob a ideologia do espaço vazio e da fronteira agrícola” (Nahum, 2019, p. 35).

A constituição da UC em questão, realizou-se em um cenário de ordenamento fundiário da área de influência da rodovia BR-163. A implantação dessa nova logística com a concretização e asfaltamento desta rodovia, desencadeou reivindicação antiga, a ligação em melhores condições entre Cuiabá e Santarém, com intuito de escoamento da produção de grãos, vinculado aos interesses e estratégias públicas e privadas que beneficiam o agronegócio.

Sendo assim, observa-se outra rugosidade espacial, que é a idealização de que o campo é o espaço de produção, ou seja, um espaço econômico, associado a agro exportação, à produção de *commodities*, com o objetivo de aumentar a produção.

O levantamento realizado pelo SECEX/MDIC, constatou que o agronegócio teve participação de 37,9% nas exportações brasileiras em 2010, trazendo US\$ 76.441 para o país. Destacando-se a soja como produto mais expressivo da pauta de exportação do agronegócio brasileiro.

Segundo a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (Antaq) e a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), de janeiro a agosto de 2020, a soja teve participação de 34%, sendo escoada do mercado brasileiro pela BR-163 após o início das atividades de asfaltamento, tornando os custos reduzidos e tornando-os mais competitivos no mercado internacional.

Outro evento que de certa forma acirrou os conflitos no local, interpostos por ocupações ilegais, desmatamento e grilagem de terras, foi a decisão tomada pelo executivo, ao qual editou a Medida Provisória (MP) 756/2016 pelo Presidente da República, com a intenção de alterar os limites do Parque Nacional do Rio Novo, da FLONA do Jamanxim e com a criação da Área de Proteção Ambiental (APA) do Jamanxim (BRASIL, 2016), que

mudaria parte da FLONA para a categoria APA com menor grau de conservação e a permissão de imóveis.

Em junho de 2017 essa MP foi vetada (Martins; Nunes e Souza, 2018), após a pressão da frente ambientalista sobre o estado.

No entanto, tal medida acirrou ainda mais os conflitos já existentes nessa região. Segundo o INPE (2020) em 2015 o desmatamento foi de 596,4 km², enquanto que em 2016 houve desmatamento 816.2 km², evidenciando o aumento na taxa de desmatamento na região de quase 30% em relação ao ano anterior.

As próprias políticas de ocupação do território influenciam a prática do desmatamento. As reformas realizadas nas áreas ocupadas, e as multas consignadas pelo IBAMA, eram apontadas como justificativa e documentação para a legalização de terras pelas agências de assentamento do governo, INCRA e ITERPA (Fearnside, 2005).

Desde a sua criação em 2006, a FLONA do Jamanxim ainda não possui um plano de manejo concreto e vigente, assim como, não possui um Conselho Consultivo para representar os atores locais. Esta UC também não possui uma cooperativa dos moradores e, segundo informações do ICMBio de Novo Progresso, possui apenas 3 fiscais para monitorar os 1,3 milhões de hectares da UC (Oliveira, 2019).

O modelo de UCs criado pelo Governo Federal ocasiona consequências desfavoráveis para as populações residentes, tais como o acentuamento das más condições de vida, a retirada da população, e a intensificação dos conflitos no espaço rural.

Após o estabelecimento regimental de uma UC, as populações residentes ficam condicionadas às regras de uso dos recursos que antes não existiam, correndo o risco de se adaptar ou não ao novo modelo, pode acarretar vulnerabilidade social e econômica, o que pode metamorfosear a mobilidade e distribuição da população desses espaços, reestabelecendo uma nova dinâmica espacial (Pereira, 2017),

Consequentemente ocasionado a pobreza e uma série de desvantagens aos moradores desta UC, limitando o acesso aos recursos naturais de subsistência, bem como às fontes tradicionais de renda, como por exemplo a extração de cipós que é abundante na região, o que acaba provocando conflitos entre a população e os órgãos gestores (Printes, 2017).

Observa-se que de um lado entre os poderes maiores há um conjunto de interesses particulares. E de um outro lado, existe a população que já habitava na FLONA antes de sua criação, e que após a criação da UC, elas têm por direito serem indenizadas e uma série de previsões que estão contidas na lei. Após a demarcação da terra como patrimônio da União, evidencia-se várias invasões e grilagem de terras.

Estima-se a necessidade da elaboração de estratégias por parte do Estado para ordenar o uso e mitigar os impactos socioambientais e embate ao desmatamento. A maioria das UCs foram criadas com base na suposição de equilíbrio e evolução, ignorando as dinâmicas mudanças sociais e ambientais nas quais o espaço e os territórios são organizados, desorganizados e reorganizados continuamente.

2.2. ÁREAS PROTEGIDAS E ASPECTOS LEGAIS

Com base no SNUC, as Unidades de Conservação do Brasil são divididas em dois grupos distintos: 1) Unidades de Proteção Integral, que apresentam como atribuição principal a preservação dos bens naturais, permitindo tarefas restritas, como pesquisa científica e visitação; e 2) Unidades de Uso Sustentável, com suas respectivas sub classificações, menos restritivas com relação a expansão de atividades econômicas de extração dos recursos naturais, respeitando a legislação específica e os procedimentos de licenciamento ambiental (BRASIL, 2000).

Mesmo protegidas por lei, essas áreas estão fortemente ameaçadas por atividades antrópicas, tais como: exploração florestal, queimadas, desmatamento e atividades minerárias.

As categorias das Unidades de Uso Sustentável estão classificadas em: I) Área de Proteção Ambiental; II) Área de Relevante Interesse Ecológico; III) Floresta Nacional; IV) Reserva Extrativista; V) Reserva de Fauna; VI) Reserva de Desenvolvimento Sustentável e VII) Reserva Particular do Patrimônio Natural.

Segundo a Lei nº 9985/2000, as unidades de conservação são conceituadas como:

“Espaços territoriais e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, ambientes com características naturais relevantes, legalmente instituídos pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção” (BRASIL, 2000 p. 1).

Os ambientes que refugiam uma das maiores taxas de biodiversidade do planeta foram significativamente impactados nos últimos anos devido às diversas atividades antrópicas. O desmatamento exterminou cerca de 16 milhões de hectares de florestas por ano (Leite, 2015).

As Unidades de Conservação Federais brasileiras abrigam uma área de mais de 2.000.000 km², entre os anos de 2000 e 2008, o Brasil foi o país que teve o maior crescimento de sua área de proteção, equivalente a 53%, totalizando 869.360 km² (UNEP,

2014; Leite, 2015). Em segundo lugar está a Austrália (125.128 km²), seguido por China com 114.913 km², Peru (75.049 km²), e República Democrática do Congo (44.833 km²) (UNEP, 2014).

As UCs exercem diversas funções, cujo os privilégios deveriam ser aproveitados pela maioria da população brasileira, com a ideia de conservação dos recursos naturais, bem como a sobrevivência das comunidades tradicionais e seus aspectos culturais e históricos, e principalmente pelo setor econômico em constante crescimento (Monteiro, 2019).

Ressalta-se ainda que, a maior parte da qualidade e quantidade da água que constituem os reservatórios das grandes hidrelétricas, fornecendo energia para cidades e indústrias, é garantida por mananciais e cursos d'água inseridos em unidades de conservação (Medeiros e Youg, 2011; Marin, 2013; Souza, 2016; ISA, 2019).

No ano de 2018, o Brasil mantinha aumento da efetividade em 15.377,58 km² (15 UCs) áreas protegidas, ocupando área total de 925.847,97 km², correspondendo a 14,13% da área terrestre, e aumento das áreas do bioma marinho brasileiro para 26,36% (MMA, 2019). A Amazônia atualmente representa 28,08%, obtendo um total de 2.546.796,89 km² de área total protegida, sendo 18,60% de área continental protegida e 26,46% de área marinha protegida (MMA, 2019).

A Floresta Nacional do Jamanxim está inserida no grupo de Unidade de Conservação de Uso Sustentável e subclassificação como Floresta Nacional. A Floresta Nacional é conceituada como uma área com cobertura florestal de espécies predominantemente nativas. Os objetivos são o uso múltiplo dos recursos naturais e a pesquisa científica com ênfase no uso sustentável de florestas nativas.

“É de posse e domínio público com as áreas particulares em seus limites sendo desapropriadas. É permitida a permanência da ocupação humana por populações tradicionais moradoras quando da criação em acordo com o plano de manejo. A pesquisa científica é incentivada com autorização prévia, condições e restrições estabelecidas pelos órgãos administrativos. A visitação pública é permitida, condicionadas às normas estabelecidas. Dispõem de um conselho consultivo formado pela administração, representantes de órgãos públicos, organizações da sociedade civil e da população residente. Também podem ser estaduais ou municipais quando criadas por estas unidades da Federação” (BRASIL, 2000).

A criação das UCs na Amazônia instituídas pelo Governo Federal como estratégias de ordenamento territorial. No entanto, não se levou em consideração a relação entre sociedade e natureza, elaborada frente as atividades intensivas e ilícitas dos recursos naturais.

Grande parte da política de proteção ambiental brasileira ocorreu sob ascensão do regime militar, e que acarretou diversas mudanças no sistema político. No entanto, seus instrumentos que legitimam a instituição de áreas protegidas contribuíram para que outras leis

fossem afirmadas (Quadro 1):

Quadro 1- Legislação brasileira

INSTRUMENTOS LEGAIS	DESCRIÇÃO
Lei nº 4.771/1985	Institui o Novo Código Florestal Brasileiro
Lei nº 5.197/1967	Institui a Lei de Proteção à Fauna
Lei nº 6.938/1981	Política Nacional de Meio Ambiente
Lei nº 7.804/1989	Alteração da Política Nacional de Meio Ambiente
Constituição Federal/1988	Proteção ao meio ambiente, art. 255, cap. VI
Lei nº 7.735/1989	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais (IBAMA)
Decreto 9.9274/1990	Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA)
Decreto nº 750/1993	Dispões sobre o corte, exploração e supressão da vegetação primária ou nos estágios avançados e médios
Lei nº 9.605/1998	Lei de crimes ambientais, referente a infrações e punições
Lei nº 9.985/2000	Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC)
PPCDAm/2004	Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal
Lei nº 11.284/2006	Gestão de florestas públicas para a produção sustentável; institui o Serviço Florestal Brasileiro (SFB); cria o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal
Decreto nº 5.758/2006	Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa
Lei nº 11.428/2006	Estabelece o Plano Nacional Estratégico de Áreas Protegidas
Lei nº 11.516/2007	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO)
Decreto nº 6.527/2008	Dispõe sobre o estabelecimento do Fundo Amazônia pelo Banco Nacional e Desenvolvimento Econômico e Social (BNDS)
Lei nº 12.651/2012	Novo Código Florestal
Decreto nº 9.578/2018	Dispõe sobre o Fundo Nacional sobre as Mudanças do Clima

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de bases legais.

No ano de 2004, o Governo Federal implementou o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), que tem como objetivo diminuir gradativamente e continuamente o desmatamento na Amazônia Legal, bem como fornecer subsídios para o desenvolvimento regional sustentável (Maia *et al.*, 2011). O plano é organizado em quatro eixos temáticos: 1) Ordenamento fundiário e territorial; 2) Monitoramento e controle ambiental; 3) Promoção de atividades produtivas sustentáveis; e 4) Instrumentos econômicos e regulatórios.

O PPCDAm, que se encontra na quarta fase, colabora para a redução do desmatamento, com base no reforço das ações de monitoramento e fiscalização e do desenvolvimento do sistema de unidades de conservação (Arima *et al.*, 2014; MMA, 2016). Além do mais, instrumentos legais internacionais, como o Fundo Amazônia e o programa Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD), foram elaborados para firmar atuação e políticas para reduzir o desmatamento em escala local (Correa *et al.*, 2019; Pinsky *et al.*, 2019).

Em acordo com as iniciativas nacionais para melhor desempenho territorial, o estado do Pará lançou o programa *Green County*, para combater a redução de florestas nos municípios com maiores taxas de desmatamento, e implantou o Cadastro Ambiental Rural - CAR, que impôs os proprietários a apresentarem seus limites fundiários, dando apoio ao monitoramento das reservas legais (Nepstad *et al.*, 2014).

Outro programa ambiental existente no Pará é o ICMS Ecológico, que é uma metodologia de distribuição de recurso fiscal ecológico, repassada pelo estado para os municípios comprometidos com práticas ambientais. Todavia, a execução do referido programa permanece contestável (Tupiassu *et al.*, 2017; Tupiassu *et al.*, 2019).

O “Novo Código Florestal” atualizado em 2012 (Soares-Filho *et al.*, 2014), é um dos principais instrumentos de regulação ambiental, que estabelece limites de uso e proteção da vegetação nativa em propriedades privadas.

Ademais, a região da FLONA do Jamanxim sempre apresentou inúmeros conflitos socioambientais, fato que se agravou após a sua criação. Porém, evidencia-se que a pretensão de salvaguardar referida floresta está associada com o ideal de instituição de espaços territoriais especialmente protegidos previstos na constituição.

As estratégias de instalação das políticas foram denominadas de “malha programada” e envolviam a criação de infraestrutura de integração para intensificar o povoamento e fluxo de pessoas e mercadorias; criação de instituições, como o Banco da Amazônia (BASA) e a Superintendência para o Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM); projetos hidrelétricos e

minerais e projetos de colonização agrícola, como o Plano de Integração Nacional (PIN) e o Programa de Redistribuição de Terras e Estímulo à Agroindústria nas Regiões Norte e Nordeste (PROTERRA).

A apropriação de recursos e terras, com ampliação da lógica predatória do agronegócio, que também orientou a edição das Medidas Provisórias 756 e 758. A Medida Provisória 756 alterava os limites FLONA do Jamanxim, reduzindo de 1.301.120 hectares para 557.580 hectares (BRASIL, 2016), instigou conflitos fundiários.

Esta restrição seria realizada com a criação da Área de Proteção Ambiental (APA) do Jamanxim, com 542.309 hectares, unidade de conservação mais flexível, autorizando inclusive a venda de terras, desmatamento do tipo “corte raso” e realização de atividades econômicas, como por exemplo, mineração e agropecuária (Torres et al., 2017; Leite *et al.*, 2018), tais atividades acarretam ao longo do tempo, significativas modificações na paisagem.

2.3. PAISAGEM

A elaboração do conceito de paisagem física e cognitiva, é compreendida como a relação homem/natureza. A palavra paisagem deriva do latim (*pagus*) que significa país, definida como lugar e território. Na Alemanha foi relacionada à palavra *landschaft*, caracterizando um espaço territorial delimitado.

A definição de paisagem expõe um significado de região, uma vez que seus saberes favoreciam a inter-relação entre os elementos naturais e humanos. Becker (2006, p. 65), destaca que: La Blache também ressaltou o propósito humano da Geografia, defendendo a relação homem-natureza no ponto de vista da paisagem, não abordando as relações entre os homens. Apresentando o homem como um ser ativo, que sofre a influência do meio, porém que atua sobre este meio e o modifica em oportunidades.

Já para Bertrand (1971) e Tricart (1976), conceituam paisagem partindo da mesma linha de pensamento de Troll, na qual adotam uma abordagem taxonômica, tipológica e dinâmica, e definindo-a como:

“Certa porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto, instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, formam um conjunto único e indissociável.” (Bertrand, 1971 *apud* Guerra e Marçal, 2006, p. 111-112).

Tricart (1976), discute ainda, a relevância da Geomorfologia no estudo e na ordenação da paisagem. Considerando que no enfoque dinâmico deve ser relevante parar três grandes tipos de cenários: os meios estáveis, os meios intermediários e os meios instáveis.

O mencionado autor buscou relacionar a geomorfologia com sua análise sistêmica, ressaltando que a paisagem retrata o funcionamento do ecossistema, concluindo que nas unidades de relevo associadas às modificações das sociedades humanas, produzem unidades de paisagem como um marco territorial.

A formação do conceito de paisagem na geografia brasileira baseou-se na escola francesa, influenciada pelo pensamento de Tricart e Bertrand. O debate sobre paisagem e sua ascensão na Geografia, juntamente com a organização do conceito de geossistema para conceber o método de análise da paisagem, foi base para compreender as inter-relações entre sociedade e meio ambiente nos distintos espaços (Monteiro, 2001).

No entanto, para Monteiro (2001) a paisagem é definida com enfoque da organização sistêmica, espacial, como um sistema aberto, baseado na análise na unidade de geográfica global, com elementos de suporte e cobertura (físicos, biológicos e antrópicos).

No ano de 1969, Ab'Saber sugeriu os Domínios Morfoclimáticos Brasileiros, analisando a relação cobertura vegetal, tipo de clima e predomínio do relevo. Ab'Saber (2003) interpreta a paisagem na concepção da herança, ao recitar:

“[...] paisagem é sempre uma herança. Na verdade, ela é uma herança em todo o sentido da palavra: heranças de processos fisiográficos e biológicos, e patrimônio coletivo dos povos que historicamente as herdaram como território de atuação de suas comunidades” (Ab'Saber, 2003, p. 9).

Pode-se dizer, que a paisagem é uma sucessão de processos ou fenômenos naturais que são acarretadas ao longo do tempo, além do mais, deve-se levar em consideração eventos sociais e culturais que estão intrinsecamente representados através do modo de vida de uma da população que ali habita, caracterizando e compondo determinado espaço geográfico. Na concepção de Santos (2006):

“Numa perspectiva lógica, a paisagem é já o espaço humano em perspectiva. A paisagem é história congelada, mas participa da história viva. São as formas que realizam, no espaço, as funções sociais. Assim, pode-se falar, com toda legitimidade, de um funcionamento da paisagem [...]” (Santos, 2006, p. 106-107).

Nesse caso, o movimento da paisagem é caracterizado como o princípio social para compreender o espaço geográfico. Ao qual a paisagem é caracterizada por um conjunto de formas e objetos, provindas de um argumento técnico específico, de um sistema material relativamente imutável, onde cada fração da paisagem é uma fração do espaço, resultantes de um histórico acumulado de meios de trabalho, é um momento do movimento, ou seja, a totalidade (Santos, 2006; Bernardes, 2020).

Levando em consideração o Índice de Progresso Social (IPS) que avalia as mudanças sociais e ambientais de territórios em escala global, que utiliza os indicadores econômicos, mas que, no entanto, são insuficientes, visto que o crescimento econômico sem o crescimento e desenvolvimento social resulta em degradação ambiental, crescimento da desigualdade social, exclusão e conflito entre atores sociais (Santos *et al.*, 2021).

O Imazon adaptou o IPS para a Amazônia para a escala municipal, tal índice é composto por indicadores especificamente sociais e ambientais, que vai desde às necessidades humanas básicas, qualidade do meio ambiente, inclusão social, acesso à educação superior, direitos individuais, dentre outros (Santos *et al.*, 2021).

Contudo, tais fatores podem ser apontados na concepção de geossistema ao qual foi abordado na escola Soviética. Pois segundo Ross (2006), observa-se que existe influência sobre as mais significativas conexões dentro de cada geossistema, sobretudo nas paisagens transformadas pelo homem:

Qualquer geossistema se encontra em um determinado estado de dinâmica, no qual as estruturas primitivas, as mudanças de estado e as funções de determinado componente são fundamentais para o seu entendimento e classificação. A classificação do geossistema deve revelar a tendência dinâmica do meio natural, mostrando as possibilidades diante das sociedades humanas (Ross, 2006).

A reconstrução dos ambientes paleogeográficos², são importantes para entender a dinâmica do presente e estabelecer a classificação em função da perspectiva futura da evolução de cada geossistema (Ross, 2006; Lima *et al.*, 2020).

Conforme Ross (2006), é no ramo da Geografia Física aplicada dos russos que se encontra uma preocupação crescente de arrolar a relação sociedade/natureza estudada na Geografia. Entretanto, a presença humana não é omitida de seu conceito, mas considerada como ações antrópicas, identificadas pelo uso da terra e responsáveis pela vulnerabilidade de ambientes.

Compreender a velocidade de modificações da paisagem amazônica, associada à ocupação do território, continua sendo um obstáculo que demanda um esforço do pesquisador, e é considerado de grande importância na análise dos desfechos dos impactos das políticas públicas implantadas na região (Almeida, 2015).

Nesse caso, a Geografia Física se debruça na temática ambiental com o objetivo de contribuir com a análise da paisagem mediante o estudo da organização espacial, das

² Transformações geológicas da terra ao longo do tempo.

disparidades e obscuridades naturais e sociais, e assim elabora um transformador rumo ante os diversos caminhos de se investigar o espaço.

2.4. GEOSSISTEMA

Mediante aos estudos sistêmicos, buscou-se compreender o segmento que cabe à Geografia na análise composta entre os fluxos de matéria e energia dos sistemas ambientais. O conceito de “geossistema” desde sua origem sustenta a análise dos processos geográficos de interface entre sociedade e natureza através da definição de paisagem (Neves *et al.*, 2014).

Bertrand (1968) emprega o termo geossistema para citar uma das escalas espaço-temporais da paisagem, abrangendo a 4^a e 5^a ordem de grandeza na classificação de Cailleux e Tricart, englobando escalas espaciais da ordem de 10 a 10² km² e temporais da ordem de 10⁶ a 10⁷ anos. Nesse período, o conceito de geossistema em Bertrand possui dimensões espaciais e temporais precisas.

Posteriormente, Bertrand passa a realizar estudos com Georgiano Nikolai L. Beruchashvili, revela que havia conceituado geossistemas como uma grandeza menos coesiva quando comparada a proposta de Sotchava. Reiterando que, entre 1964 e 1965 havia definido sua concepção como uma unidade taxológica, dentre outras, como: geótopo, geofácies, geossistema, região natural, domínio geográfico e zona (Berouthachvili e Bertrand, 1978; Cavalcanti e Corrêa, 2016).

Tadavia, Bertrand definiu o geossistema (geótopo e geofácia) como uma unidade de paisagem espaço temporal inferior, considerada para o autor a grandeza onde o Geógrafo teria que centralizar e aplicar suas pesquisas.

Segundo Cavalcanti e Corrêa (2016), levando isso em consideração, Bertrand renova sua opinião sobre o conceito de geossistema, passando a entendê-lo como uma organização natural formada pelas relações entre os elementos da natureza que são impactados pelas ações antrópicas.

Tal ideia, foi utilizada para formular seu modelo Geossistema-Território-Paisagem (GTP), respectivamente agregados aos princípios de *source* (geossistema representado pelo espaço natural), *resource* (território representado pelo espaço socioeconômico, dado a cobertura e uso da terra, onde localiza-se o espaço do poder) e *resourcement* (paisagem vista a partir de sua aparência e fisionomia, aspecto sociocultural). O sistema auxilia na delimitação cartográfica, na identificação dos problemas socioambientais locais e no nível de antropização desses espaços.

Bertrand (1968) reitera que a combinação entre o Potencial Ecológico (clima, hidrologia, geomorfologia) com a Exploração Biológica (vegetação, solo, fauna) e a Ação Antrópica, formando um complexo dinâmico que se correlacionam. Dando assim, importância à dinâmica social e aos processos naturais do geossistema.

Já Sotchava (1963) cria o termo geossistema como uma “unidade natural de todas as categorias possíveis, do geossistema planetário (envelope geográfico ou ambiente geográfico em geral) ao geossistema elementar (fácies físico-geográfica)” toda a superfície planetária (Sotchava, 1963, p. 53). O autor preocupou-se em instituir uma metodologia de análise da natureza e paisagem que se tornasse aceitável aos estudos geográficos.

Conforme Grigoriev, Svozdeski, Isatchenko e Miklallov, entre 1960 e 1970, ressaltou-se a importância da classificação das paisagens para aprimorar a produção agroindustrial da União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), expandindo e configurando na teoria e na prática a concepção de regionalização ambiental, através da definição de geossistema.

Considerava-se que estruturar o parcelamento do meio era indispensável à composição de cartas para a compreensão do território e das paisagens (*landschaft*) (Neves *et al.*, 2014).

No Brasil, uma importante contribuição dada por Ab’Saber (1974) definindo o geossistema como uma exploração biológica no espaço. Reitera que o geossistema é um espaço original de abrangência de um ecossistema no intermédio de uma zona, domínio ou região morfoclimática e fitogeográfica (Ab’Saber, 2003). E que a paisagem é um legado de processos fisiográficos e biológicos, e herança comunitária dos povos que historicamente as receberam como território de atuação.

Desse modo, a referência da análise sistêmica forneceu a chance de reconsiderar os fundamentos lógicos da ciência da paisagem adjacentes do “Complexo Territorial Natural” e meio ambiente, definindo uma diferenciação iluminada entre problemas da fisiografia e da setorização das disciplinas geográficas (Sotchava, 1978; Snytko, Semenov, 2008; Neves *et al.*, 2014).

A discussão da temática, analisa uma visão integralizada e aplicada do meio ambiente, colaborando com a relevância da análise sistêmica na Geografia por meio do geossistema (Neves *et al.*, 2014).

O artigo publicado por Bertrand em 1971, chamado de “Paisagem e Geografia Física Global: Esboço Metodológico”, que emprega o conceito de geossistema proposto por Sotchava (1977), como resultado da exploração de fatores ecológicos, biológicos e

antrópicos, e classificou a paisagem de acordo com as grandezas espaços temporais, que configuravam as escalas de análise geográfica.

Tais grandezas foram divididas em dois níveis espaços temporais: 1). Superiores – clima e relevo; 2). Inferiores – Geossistema (GTP). Na escala de análise geográfica, Bertrand sugere o geossistema como unidade de paisagem inferior (geótopo e geofácia) (Bertrand, 1978; Teles e Pimentel, 2015). Ao qual o geossistema é elucidado como uma conjuntura de pesquisa do meio natural.

Quando Berutchachvili em 1978 chama o geossistema de “Complexo Territorial Natural”, ele interpreta que o mesmo é composto por estruturas internas próprias do meio natural, estão entrelaçados com os elementos bióticos e abióticos, e são influenciados por objetos internos e ações humanas, originárias de um poder territorial heterogêneo, a nível econômico e social acerca do meio físico (Sotchava, 1978; Beroutchacvili e Bertrand, 1978; Teles e Pimentel, 2015).

Segundo Beroutchacvili e Bertrand (1978), os diagnósticos temporais do geossistema sucedem-se a partir das ações humanas, que são descritas pelas relações históricas entre sociedade e ambiente, não mais obstante dos processos físicos específicos ao meio ambiente.

Para Bertrand e Bertrand (2009, p 140), o antrópico (resultante da ação humana) retrata o “conjunto das formas” da atividade humana sobre a natureza, e a antropização o “conjunto dos processos materiais e imateriais” das atividades humanas sobre a natureza. As formas nesse caso, seriam por exemplo, as áreas demarcadas dentro da FLONA do Jamanxim para a criação de gado e para o plantio. E os processos materiais seriam as consequências das ações humanas, como por exemplo, o desmatamento e perda da floresta nativa.

Já os processos imateriais, seriam resultantes da representação da paisagem que surge de uma ideia ou ação humana sobre o meio natural (Teles e Pimentel, 2015), sobre a floresta primária.

Para Teles e Pimentel (2015), dentro do conceito de geossistema, as dinâmicas socioeconômicas passam a se evidenciar no comportamento da natureza. O tempo passa a ser de fundamental importância para a interpretação das dinâmicas e alterações que ocorrem sobre a natureza, passando a ser não somente o tempo dos elementos internos e físicos, mas sim, o tempo das modificações antrópicas que revelam o progresso do geossistema, das atividades humanas sobre o meio natural (Bertrand e Bertrand, 2009; Teles e Pimentel, 2015).

Nesse contexto, para Teles e Pimentel (2015) admite-se que a natureza não pode ser

entendida em diferentes estágios de impacto e ações antrópicas, precisa ser interpretada geograficamente, mas não podendo deixar de levar em consideração as estruturas territoriais específicas da natureza, visto que, a natureza enquanto recurso assegura a diferentes fundamentos de apropriação de poder, aproximando-se da concepção de território.

O processo de territorialização do meio natural na FLONA do Jamanxim expõe sua dinâmica espacial, suas relações de ocupação, suas particularidades, seus conflitos que envolvem diversos atores sociais, e que retratam os elos coletivos, interpretando a paisagem e sua ordenação desigual. O grupo de atores sociais com interesses distintos, que ocupam o geossistema e tomam posse dos recursos naturais, se efetivam na paisagem e são expressos a partir dos padrões de desmatamento nesta UC.

2.5. MODELAGEM DE CENÁRIOS AMBIENTAIS

Atualmente, com o avanço tecnológico e a eficiência diversificada de ferramentas computacionais na área de geotecnologias, torna-se viável e eficiente o uso das mesmas para estudos ambientais, que de certa forma venha auxiliar a pesquisa e/ou monitorar as modificações na paisagem.

A utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) refere-se à apuração de dimensões de investigação e estudo de suas relações, pelo qual busca-se testar e representar de forma simplificada a realidade, baseada na escolha dos aspectos mais pertinentes e demanda de respostas sobre correlações e comportamentos de aspectos ambientais (Aragão *et al.*, 2015).

Para tal, as metodologias computacionais são expandidas empregando-se ferramentas de um SIG, que permite utilizar os modelos de investigações espaciais para delinear cenários, simulações de fenômenos, fundamentadas em tendências observadas ou condições estabelecidas.

Visto que, que o desenvolvimento de modelos temporais e espaciais e o atributo de uma certa localização geográfica, modifica ao longo de um determinado período de tempo, tendo como resposta um conjunto de indicadores, que são de extrema importância para a modelagem ambiental e proporciona a representação de fenômenos dinâmicos (Soares-Filho, 1998).

As representações dinâmicas espaciais são capazes de caracterizar quantitativamente um fenômeno, assim como, a transformação de padrões espaciais de um sistema ao longo do tempo, calculando assim as tendências de mudança e agregando suas escalas temporal e

espacial, como por exemplo, as análises de mudanças da cobertura e uso da terra.

Os cenários futuros servem para melhor compreensão dos padrões subjacentes às técnicas dinâmicas associadas ao desmatamento, pode ser visualizada como instrumento de aquisição de discernimento a partir da inserção e aplicação da informação, adquirida através de mapas de sensoriamento remoto e SIG, em relação a sistemas dinâmicos como é o caso da paisagem amazônica (Soares-Filho, 1998; Saito *et al.*, 2011; Oliveira *et al.*, 2019; Maurano, Escada e Renno, 2019).

Todavia, segundo Vitel (2009) e Barni *et al.* (2018), o modelo deve responder três questões relacionadas à modificações da cobertura e uso da terra: “Onde” referindo-se aonde ocorrerão as mudanças a respeito de um determinado fenômeno, onde será desmatado (orientação espacial), “Quando” qual será a quantidade de mudanças que ocorrerão para cada transição, ou seja, quando será desmatado (orientação em relação às taxas de desmatamento) e “Como”, qual será a representação espacial das novas áreas de modificações, isto é, como será o processo de desmatamento (orientação em relação a quantidade de desmatamento em determinada localização do mapa).

Alguns fenômenos espaciais, tais como a drenagem de água pluviométrica e mudanças de cobertura e uso da terra, são fenômenos espaciais dinâmicos. Devido a essa característica, o avanço de técnicas para explicar o que é abstrato, e que sejam capazes de configurar pertinentemente tais fenômenos espaço-temporais, torna-se um grande desafio para a Ciência da Geoinformação (Câmara e Monteiro, 2003).

Os modelos dinâmicos espaciais utilizados para analisar as complexas questões ambientais, tem despertado a atenção de pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento, como por exemplo, a utilização de modelos de simulação para estimar trajetórias futuras e impactos de desmatamento referentes às mudanças climáticas (Soares-Filho *et al.*, 2006; Fearnside *et al.*, 2009).

Assim como, a redução de carbono associado ao desmatamento em áreas protegidas (Soares-Filho *et al.*, 2008; Soares-Filho *et al.*, 2010), estudo da mudança de cobertura da terra na Bacia do rio Formiga – MG (Suarez e Soares-Filho, 2013), cenários de emissões de gases do efeito estufa (Barni *et al.*, 2014), monitoramento e controle da ocupação urbana (Paula, 2019), futuro potencial de áreas protegidas na Amazônia (Linero *et al.*, 2020), simulação de dinâmicas da paisagem (Pinheiro *et al.*, 2020b) dentre outros.

Dessa forma, uma parcela do desafio é alcançada quando se alia os fenômenos espaciais em sistemas ambientais, utilizando a modelagem como ferramenta metodológica.

Segundo Christofolletti (1999), “um sistema é uma totalidade que é criada pela

integração de um conjunto estruturado de partes componentes, cujas inter-relações estruturais e funcionais criam uma inteireza que não se encontra implicada por aquelas partes componentes quando desagregadas”. Tratando-se da totalidade entre os limiares do sistema, não obstante da soma dos fragmentos.

Segundo Soares-Filho (1998), o termo modelar é entendido como a tentativa de representar a realidade de forma compreensível e simples. Tal sistema operacional denominado DINAMICA EGO, é um *software* livre, desenvolvido por pesquisadores da Universidade Federal de Minas Gerais, constituído em programa computacional escrito em C++³ orientado a objeto, que possibilita a elaboração de modelos de simulação fundamentados em autômatos celulares⁴, com a aplicação de tarefas de transição desenvolvidas para representar as proporções e os aspectos das modificações da paisagem (Soares-Filho *et al.*, 2002; Alves *et al.*, 2014).

Os modelos espaciais dinâmicos têm o papel de operar simulações matemáticas de sistemas e/ou processos detectados no mundo real, em que se verifica a mudança das variáveis e em consequência a variações de suas forças motrizes (Burrough, 1998). Para Soares-Filho (1998), são os padrões mais complexos e específicos, dentre os modelos de paisagem, e possuem o potencial de simular a tendência da composição espacial da mesma.

Segundo Santos Junior (2018) o advento do desmatamento é realizado pelo módulo “*patcher*”, e o prolongamento das manchas já efetivas são geradas pelo módulo “*expander*”, ambos do *software* DINAMICA EGO, no qual a dimensão de novas células de desmatamento destinada a cada uma destas aplicabilidades, são indicadores fundamentados na replicação contígua do padrão de desmatamento analisado historicamente.

Devido à grande busca por análises espaciais, foi desenvolvido um conjunto de ferramentas conciliadoras ao usuário, agregados no *software* DINAMICA EGO, que é um *freeware* para apuração de modelos acessíveis, assim como também modelos não acessíveis determinados espacialmente, que vem sendo empregado em diversos estudos ambientais (Soares-Filho *et al.*, 2013; Oliveira *et al.*, 2019).

Para o desempenho e ajuste do modelo de simulação faz-se necessário um conjunto de dados de entrada (*raster*) da região de interesse, tais valores retratam as classes da paisagem inicial da área de estudo, como por exemplo os mapas de classificação da cobertura e uso da terra (2013 e 2020). Tais dados são empregados para calcular as taxas de

³ É uma ferramenta computacional utilizada em estudos investigativos e detecção de frequências espaciais, navegação espacial em ambientes virtuais.

⁴ São ferramentas que podem descrever sistemas evolutivos, embasando-se em estados anteriores dos sistemas físicos, que são compostos por componentes discretos com interações pontuais.

transições, dos pesos de evidências e de suas variáveis, como altimetria, declividade e mapas de distâncias de estradas e assentamentos (Barni *et al.*, 2018).

Barni *et al.* (2014) reiteram que os valores de saída, que é a resposta (resultado) construída com base nos mapas simulados posteriormente à leitura do modelo, calculam e retratam a probabilidade de modificações de uso da terra em determinado local e data da simulação.

A compreensão dos processos e alteração dos ecossistemas é um assunto de interesse regional e global, ao qual busca-se adentrar no entendimento das causas reais e implícitas que propiciam mudanças no uso e ocupação da terra (Leemans e de-Groot, 2005; ONU, 2010; Galicia *et al.*, 2014; Sotelo-Caro *et al.*, 2015), e tem como objetivo principal analisar áreas vulneráveis à degradação, e aplicação de medidas de conservação e preservação da biodiversidade em áreas protegidas.

Devido a essa problemática, destaca-se o interesse aos estudos da modelagem. Em pesquisa realizada por Sahagún-Sánchez e Reyes-Hernández (2018), o método utilizado a partir da modelagem dinâmica permitiu estimar os padrões de mudança na cobertura da terra e o impacto de cada uma de suas variáveis, a partir do cálculo de seus pesos de evidência.

Constatou-se que as mudanças na cobertura e uso da terra (Marcuartú *et al.*, 2017), podem provocar ameaças à conservação do meio e levar a impactos negativos para o desenvolvimento sustentável da região e comunidades locais, colocando em risco a integridade e conectividade dos ecossistemas (Sahagún-Sánchez e Reyes-Hernández, 2018).

A modelagem dinâmica de simulação espacial, iniciou-se com o intuito de entender o espaço geográfico de uma nova forma, propiciando a inserção dos processos dinâmicos nas observações espaciais, oferecendo subsídio as análises para melhor entendimento dos sistemas ambientais, abrangendo todos os processos inseridos no sistema, e a partir de então, definir como ocorre sua evolução diante de inúmeros e distintos cenários, em âmbito social, econômico, político e ambiental (Rodrigues *et al.*, 2007).

Tais modelos dinâmicos possibilitam o entendimento de lacunas de amostragem biológicas existentes, que são insuficientes para compreensão das modificações ocorridas em uma determinada região (Oliveira *et al.*, 2019).

Os processos naturais ou antrópicos, de certa forma, são controlados pelo ordenamento espacial e de um conjunto ambiental, esta organização espacial é denominada de paisagem (Soares-Filho, 1998).

Segundo Santos (1996, p.66) e Metzger *et al.* (2017) “a paisagem é o conjunto de forma que, em um dado momento, exprime as heranças que representam as sucessivas

relações localizadas entre homens e natureza, o espaço são essas formas mais a vida que as anima.”. Uma das conduções de desordem da paisagem não natural mais ativo é orientado pela dinâmica da cobertura e uso da terra (Soares-Filho, 1998).

Metzger *et al.* (2017) reiteram que a identificação e percepção das mudanças de uso e cobertura da terra podem conceder uma melhor compreensão das interações entre os fenômenos naturais e as ações humanas.

Além do estudo do fenômeno das transições da paisagem, e de suas mudanças na cobertura e uso da terra, os modelos dinâmicos espaciais concedem a criação de cenários futuros frente a vários tipos de cenários (Ferrari, 2008). As quais exibem uma reprodução do que poderá suceder-se em uma paisagem, caso a disposição atual de um ambiente seja condicionada, tornando-se um indicador e auxiliador para a elaboração de políticas ambientais e tomada de decisões prévias.

E apesar das limitações do modelo dinâmico, tanto em relação às incertezas e de fatores importantes que não são acrescentados para simular o modelo, ele pode fornecer resultados indicando grandes impactos com relação a abertura e construção de estradas planejadas e não planejadas na Amazônia (Santos Junior, 2018) fatos estes de suma importância no decorrer histórico e da organização e ocupação espacial dos cenários atuais.

Diante do exposto, a modelagem dinâmica espacial é conceituada como um instrumento computacional que simula eventos do universo real, e apresenta uma proporção tanto espacial quanto temporal.

Estes modelos abrangem um extenso conjunto de aplicações, as quais são: simulação de desmatamento e perda de carbono na Amazônia, condutores de ocorrência de incêndios florestais, antropização da paisagem, variação climática sobre formação de erosão hídrica, disponibilidade hídrica de efluentes, escalas de cobertura e uso da terra e modificações na paisagem, dentre outros.

Levando em consideração tais abordagens, a modelagem de cenários ambientais torna-se aliada para aprimoramento de pesquisas e melhor compreensão da dinâmica dos processos geográficos em áreas protegidas na Amazônia Legal.

2.5.1. Autômatos Celulares

A plataforma dinâmica que será utilizada no estudo, é arquitetada em modelos de sistemas de simulação espacial dinâmica fundamentada em Autômatos Celulares (AC) como citado no item anterior. Desse modo, será realizado uma revisão mais detalhada das

características para melhor compreendê-lo.

Os modelos baseados em AC são originários da Geografia Quantitativa, com suporte computacional na Inteligência Artificial. O trabalho pioneiro realizado por Waldo Tobler (1970) da Universidade de Michigan, buscando analisar a aplicabilidade de modelos de autômatos celulares em sistemas geográficos, resultou em seu famoso artigo denominado de *Cellular Geography* (Almeida *et al.*, 2007; Campos e Queiroz Filho, 2017).

Em 1982 John Conway expôs o Jogo da Vida (*The Game of Life*), comprovando que regras simples quando aplicadas repetidamente sobre estados aleatórios geram resultados semelhantes à forma como certos sistemas alteram no mundo real (Pedrosa e Câmara, 2007).

Até o final da década de 80 tais aplicações autômatos galgaram novas consolidações e passaram a ser utilizadas para aprimoramentos conceituais, como por exemplo, a concepção de entropia, criticidade e fractais.

Posteriormente, os modelos urbanos de autômatos celulares passaram a incorporar dimensões socioambientais, econômicas e políticas, passando então a vincular-se à níveis analíticos e de grandes e pequenas escalas espaciais.

Os modelos dinâmicos espaciais fundamentados em AC possuem aplicações nas mais variadas áreas de conhecimento, desde a física teórica e empírica até as mudanças de cobertura e uso da terra, engenharia e controle de escoamento, propagação de epidemia, biologia comportamental, e muitas outras (Kawashima *et al.*, 2016).

Segundo Pedrosa e Câmara (2007), nos modelos ordenados em AC, o espaço é caracterizado por um mosaico de células, normalmente de tamanhos e formatos iguais, e o que define o estado de uma célula é sua vizinhança, determinada por quatro células próximas. Veja na Figura 2 as formas mais simples usadas para caracterizar células em autômatos celulares.

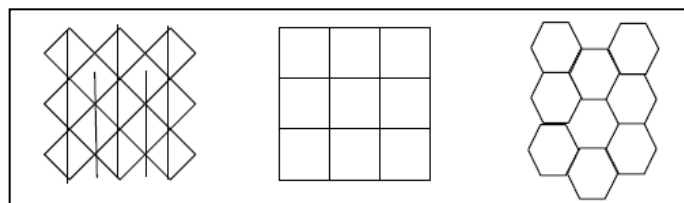


Figura 2- Caracterização das células em autômatos celulares
Fonte: Câmara (1996).

Para cada célula de um autômato celular são executadas regras de transição, que indicam quando e porque o estado de uma célula se modifica e podem ser de forma qualitativa e/ou quantitativas.

Para Soares-Filho *et al.* (2007) tal dispositivo consiste em um arranjo n-dimensional de células, ao qual cada estado de uma célula, depende de seu estado prévio e de um conjunto de regras de transição, de acordo com o arranjo particular de cada célula vizinha, sendo todas as células remodeladas simultaneamente e passos simples de tempo. O referido engenho é utilizado para comprovar a distribuição espacial de um determinado elemento ou variável no espaço, ao qual é representado por pontos expressando seu tamanho, altura e largura.

Para demonstrar como o dispositivo de aplicação de regras de transição Câmara (1996) e Pedrosa e Câmara (2007) exemplificam de forma simples, uma célula pode assumir dois estados, e sua vizinhança é determinada sobre duas células adjacentes. As normas de transição classificam que o estado de uma célula em um instante $t+1$ é similar ao dos vizinhos no instante t , caso os vizinhos apresentarem estados iguais; quando não, o estado da célula continua o mesmo. Para melhor compreender o presente exemplo, faz-se necessário reconhecer os componentes básicos do autômato celular clássico, as quais são os seguintes:

- Espaço euclidiano, dividido em uma regra de células;
- Uma vizinhança de tamanho e formato definido (Figura 3a);
- Um conjunto de estados discretos (Figura 3b);
- Um conjunto de regras de transição (Figura 3c);
- Um conjunto de intervalos de tempo, com atualização simultânea das células (Figura 3d).

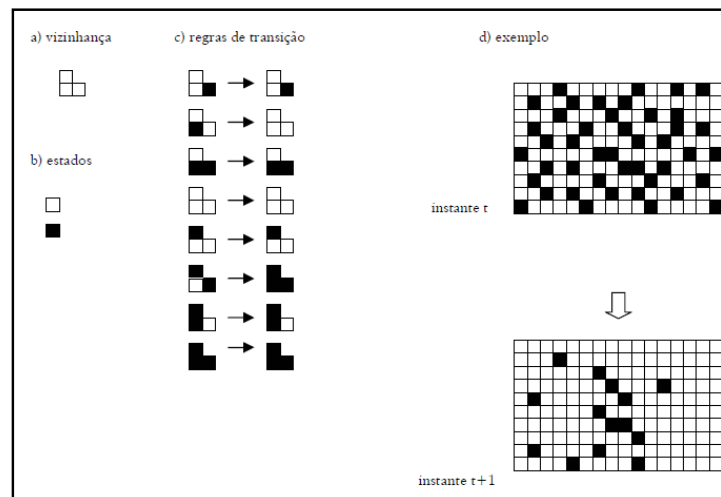


Figura 3 - Exemplificação de autômatos celulares
Fonte: Câmara (1996); Pedrosa e Câmara (2007).

A dinâmica da realização das regras de transição em um autômato celular é similar à de um filtro espacial. Dessa maneira, todas as células são avaliadas e, quando for o caso,

modificadas para um novo estado.

Na figura 4d, a primeira célula da segunda linha do autômato tem, no instante t , o estado branco e suas vizinhas possuem estados diferentes (uma é branca e outra preta). Nesse caso, o estado da célula permanece o mesmo (1ª regra de transição). Acompanhando o mesmo raciocínio, a segunda célula da segunda linha, tem no instante t o estado preto e suas vizinhas têm ambas o estado branco, logo o estado desta célula sofre uma transição para branco (2ª regra de transição) (Câmara, 1996; Pedrosa e Câmara, 2007). O processo segue este mecanismo para as demais células até que todas tenham sido avaliadas.

Na exemplificação acima, pode-se observar que as mudanças geradas por autômatos celulares são estritamente locais, isto é, apoiadas nas vizinhanças de cada célula.

Nesse sentido, pode-se dizer que sua aplicação é eficiente em processos em que a ordem global emerge de ações locais e descentralizadas. Entretanto, em Sistemas de Informações Geográficas, a ordem global depende tanto de elementos internos (ações locais) como exógenos (ações à distância) (Câmara, 1996; Pedrosa e Câmara, 2007).

3. CAPÍTULO II - ÁREA DE ESTUDO E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Floresta Nacional (FLONA) do Jamanxim é uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável de âmbito federal, criada pelo Decreto – s/n em 13 de fevereiro de 2006 (ISA, 2019), está sob gestão do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO).

Sua delimitação surge dentro do contexto de ordenamento fundiário da Área de Influência do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) da rodovia BR-163, que liga Cuiabá (MT) a Santarém (PA), surgindo para reprimir o desmatamento previsto com o asfaltamento da rodovia. Todavia, o cultivo da soja avança do Mato Grosso rumo ao Pará, assim como, a criação de gado, pressionando a floresta existente no interior das Unidades de Conservação.

A FLONA do Jamanxim está inserida no município de Novo Progresso no Estado do Pará, 100% da FLONA está localizada no município (ISA, 2019). No entanto, parte de sua área limita-se na parte sul com o município de Itaituba (comunidade Moraes de Almeida) e pelo extremo sudoeste de Altamira (comunidade Castelo dos Sonhos). Segundo o IBGE (2018), Novo Progresso possui área de 3.816.203,50 ha, e a área da FLONA do Jamanxim dentro dos limites é de 1.306.483,48 ha, ocupando 34,23% do território municipal (Figura 4).

O clima segundo *Koppen* é da categoria “Ami”, equatorial úmido, com ventos constantes e abundantes chuvas, e o índice pluviométrico é menor nos meses de julho a outubro com índices médios entre 2.000 a 2.500 mm/ano.

Nessa região, elaborou-se o Plano de Desenvolvimento Florestal Sustentável, o qual dividiu a área em mesorregião e subáreas. Foram conjecturados um arcabouço de políticas públicas, baseando-se no argumento de que é possível conciliar o crescimento econômico e a integração nacional com justiça social, e a conservação e o uso sustentável dos recursos naturais (Kruger *et al.*, 2017).

Há possibilidades de implementação de ações em acordo com as estratégias do Plano, que são: Ordenamento Fundiário e Gestão Ambiental; Infraestrutura para o Desenvolvimento; Fomento a Atividades Produtivas Sustentáveis; e Inclusão Social e Cidadania. Todavia, o presente estudo é de suma importância para que tais estratégias e planejamentos sejam articulados de forma precisa.

De acordo com o censo 2010 o total da população do município de Novo Progresso é de 25.106 habitantes, ao qual é constituída principalmente por migrantes do sul.

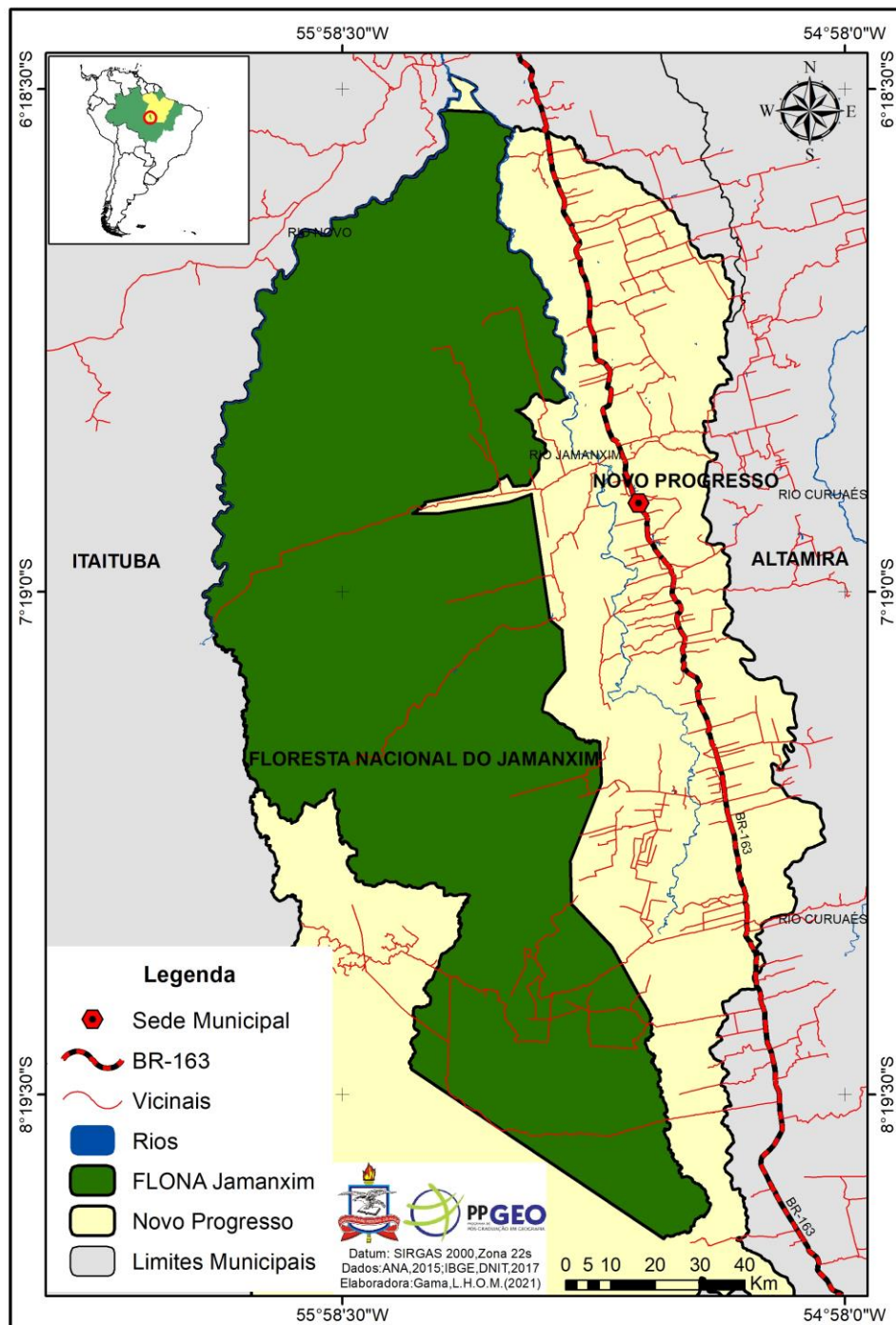


Figura 4- Mapa de localização da FLONA do Jamanxim em Novo Progresso – PA
 Fonte: Autora (2022).

A população residente na FLONA do Jamanxim é de 770 moradores, distribuídos ao longo das viciniais, representando 3% do município de Novo Progresso (Pereira *et al.*, 2019).

A unidade de conservação leva o nome do rio Jamanxim que limita a porção sudeste da Floresta Nacional (ISA, 2020). Para os indígenas do território, Jamanxim é um material feito de cipó utilizado para carregar pertences nas costas como se fosse uma mochila.

A FLONA do Jamanxim abrange a bacia hidrográfica do rio Tapajós (ISA, 2020),

parte da bacia do rio Jamanxim e o rio Novo (ICMBIO, 2010; IBGE, 2018). O relevo baseia-se em dois táxons: Domínios Morfoestruturais e Unidades Geomorfológicas. Predomina a Floresta Ombrófila Aberta Submontana e solo do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo Distófico típico, e declividade de 37,74% (Chagas *et al.*, 2013; IBGE, 2015; IBGE, 2019).

3.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia foi dividida em três fases principais, e cada uma dependente da etapa anterior. A primeira consiste no processamento das imagens de satélite (variáveis dependentes) – capítulo III; a segunda no processamento das variáveis independentes – capítulo IV; e a terceira etapa considerada a principal da pesquisa, que consiste na modelagem espacial no DINAMICA EGO – capítulo V. Todas as etapas metodológicas estão representadas na Figura 5, e detalhadas posteriormente.

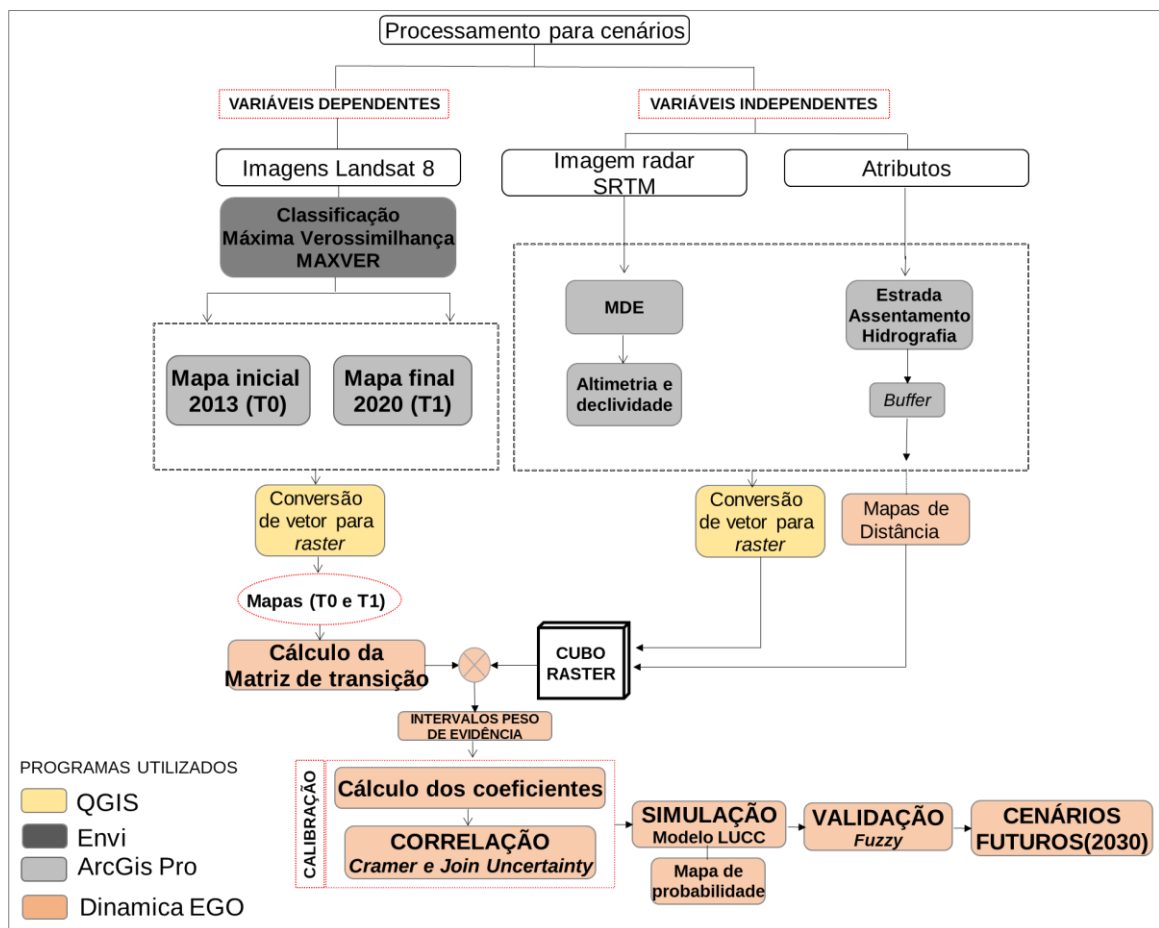


Figura 5 - Fluxograma metodológico da pesquisa

Fonte: Autora (2022).

Bem como, a estruturação e levantamento da base de dados consiste em informações referentes as variáveis explicativas que compõem a modelagem e as características da

paisagem, bases vetoriais para geração da variável de distância e variáveis categóricas (Quadro 2).

Quadro 2 - Fonte de dados secundários utilizadas na pesquisa

Base de dados	Fonte	Data	Representação
Unidade de Conservação	Ministério do Meio Ambiente (MMA)	2015	Vetorial
Limites Municipais	IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)	2015	Vetorial
Estradas	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)	2017	Vetorial
Hidrografia	ANA (Agência Nacional das Águas)	2017	Vetorial
Assentamento	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA)	2017	Vetorial

Fonte: Autora (2022).

Tal conjunto de informações foram projetados para o sistema UTM–Fuso 22, hemisfério Sul.

3.3. VARIÁVEIS DEPENDENTES

As variáveis dependentes são compostas pela análise da cobertura e uso da terra. No pré-processamento utilizou-se as imagens de Landsat 8, sensor OLI (Operational Terra Imager), referentes às órbitas ponto 227/64, 227/65, 227/66, 228/64 e 228/65, para os anos de 2013 e 2020, apresentando resolução espacial de 30 metros. As imagens foram adquiridas na página eletrônica da *United for States Geological Survey* (USGS, 2020), levou-se em consideração cobertura de nuvem de no mínimo 10% para ambos os períodos.

Realizou-se a correção atmosférica e correção radiométrica das imagens para melhor apuração dos resultados, foi aplicado o modelo físico MODTRAN implantado no aplicativo *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes* (FLAASH) do *software* ENVI 5.3 (Bernstein *et al.*, 2012; Souza *et al.*, 2013; Harris, 2021).


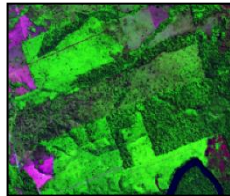

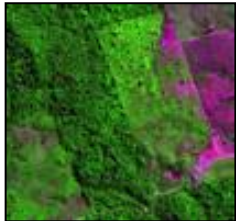
O MODTRAN calcula os valores dos parâmetros que dependem das condições da atmosfera, da geometria de iluminação, do albedo esférico e da radiância retro espalhada da atmosfera, e assim determinar a radiância da superfície e a reflectância, além de constituir em fonte elevada de dados parecidos ao TM5, visto que também opera em plataforma orbital (Gaida *et al.*, 2020).



E em seguida foi feito o mosaico das imagens por meio do uso da ferramenta *Seamless Mosaic* do ENVI 5.3 (Harris, 2021), unindo as cinco cenas que englobam a área de estudo. Foram utilizadas as bandas OLI 6, 5 e 4, para a composição *Red/Green/Blue* (RGB).

3.4. PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DE SATÉLITE

Para a seleção das amostras, realizou-se a análise de cobertura e uso da terra no *software* ENVI5.3 (Harris, 2021), foi utilizado como base o Plano de Manejo da Floresta Nacional do Jamaxim (ICMBIO, 2010), no Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013) e na metodologia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2019b). As chaves de interpretação para a coleta das amostras estão descritas no Quadro 3.

Quadro 3- Critérios de avaliação utilizados para a classificação de uso e cobertura da terra

CLASSES	DESCRIÇÃO	AMOSTRAS	CHAVE DE INTERPRETAÇÃO
Floresta Primária	Áreas onde a cobertura da terra é predominantemente composta por vegetação arbórea.		Cor: Verde; Tonalidade: Verde escuro; Textura: Rugosa; Forma: Regular Contexto: Floresta densa, com presença de árvores de médio e grande porte.
Vegetação Secundária	Áreas que após a supressão total da vegetação florestal encontram-se em processo avançado de regeneração da vegetação arbórea.		Cor: Verde Tonalidade: Verde claro Textura: lisa Forma: Regular Contexto: Predomínio da cor verde, com sinais de degradação antiga com tom verde claro.
Exploração Florestal	Áreas submetidas a retirada de vegetação; predomínio da cor verde, presença de feições circulares de cor magenta, com padrão de corte seletivo geométrico (tipo 1) e corte desordenado (tipo 2)		Cor: Magenta, cinza. Tonalidade: Escuro Textura: Rugosa Forma: Regular e Irregular Contexto: Predomínio de tonalidade verde escuro com presença de tons verde claro e magenta.
Mosaico de ocupações (desmatamento)	Áreas representadas por uma associação de diversas modalidades de uso da terra. A agricultura familiar é realizada conjugada ao subsistema de pastagem para criação tradicional de gado. Predomínio de solo exposto		Cor: Mista Textura: Lisa/Rugosa Forma: Irregular Contexto: as áreas de pastagem e de agricultura (temporária principalmente) das regiões onde estão as pequenas propriedades, agrupadas nesta categoria

Mineração	Área de extração mineral com presença de clareiras e solo exposto, envolvendo desmatamento nas proximidades de águas superficiais.		Cor: Magenta, azul e branco. Tonalidade: Claro, escuro Textura: Lisa Forma: Irregular Contexto: Seus limites são associados a rios e canais de drenagem, apresentam aspectos de elementos aglutinados e de afloramento rochoso
Água	Áreas com corpo d'água continental referem-se a água naturais e artificiais que não são de origem marinha, tais como: rios, canais, lagos e lagoas de água doce		Cor: Azul; Textura: Lisa Tonalidade: Escuro Forma: Meandraste Contexto: Inclui todas as águas interiores, como rios, riachos, canais e outros corpos d'água lineares. Engloba corpos d'água naturalmente fechados (lagos naturais) e reservatórios artificiais

Fonte: Adaptado (IBGE, 2013; INPE, 2019b).

De posse do mosaico e do recorte da área de interesse, realizou-se a coleta das amostras no *Region of Interest* (ROI) do ENVI, para cada classe. Esta etapa foi dividida em dois grupos: 70% das amostras foram utilizadas para treinamento e 30% para teste.

Para mapear tais áreas, aplicou-se o método supervisionado de classificação das imagens, através do algoritmo de Máxima Verossimilhança (MAXVER).

Segundo Leite e Rosa (2012); Vale *et al.* (2018) o classificador MAXVER é um algoritmo paramétrico que agrega classes levando em consideração pontos individuais e atribui a essas classes a distribuição normal, definidos a partir de uma amostra de pixel adquirida, tal algoritmo computa a probabilidade estatística de um pixel desconhecido da imagem, envolvendo estimativas de valores médios de cada classe, a análise é feita *pixel a pixel*.

3.5. VALIDAÇÃO

Em seguida foi feita a validação do algoritmo de classificação, inseriu-se a imagem classificada e os vetores de avaliação para cada classe, e através da ferramenta *Confusion Matrix Using Ground Truth ROIs*, gerou-se o Índice *Kappa* para obtenção da exatidão global e acurácia do algoritmo classificador (Landis e Koch, 1997), utilizados como base para a confirmação dos resultados das classificações, sendo que, quanto mais próximo de 1 for o resultado, mais excelente será a classificação (Tabela 1):

Tabela 1- Qualidade da classificação do algoritmo pelo índice *kappa*

Índice <i>Kappa</i>	Qualidade
0	Péssima
0,10 a 0,20	Ruim
0,21 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Boa
0,61 a 0,80	Muito Boa
0,81 a 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1997).

Tais valores foram utilizados como base para analisar a acurácia da classificação supervisionada.

3.6. VARIÁVEIS INDEPENDENTES

As variáveis independentes, são: altimetria, declividade, distância às estradas, distância à assentamentos e distância à hidrografia. O conjunto de variáveis selecionadas para o estudo foram baseadas em estudos de análise de cenários de desmatamento para a Amazônia realizados por Soares-Filho *et al.* (2005), modelagem de desmatamento por Matricardi *et al.* (2018), cenários de desmatamento no estado do Pará de Siqueira-Gay (2020) e outros.

Os dados espaciais utilizados na modelagem, a caracterização de cada variável (elementos da paisagem), e as variáveis utilizadas para a simulação do modelo dinâmico, com suas respectivas resoluções espaciais e mais detalhes da base de dados estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados de representação das variáveis que serão empregadas no modelo dinâmico

Elementos	Origem/Ano	Escala/Resolução
Variáveis dependentes		
Mapa Inicial (T ₀) Mapa Classificado 2013	USGS 2013	30 m
Mapa Final (T ₁) Mapa Classificado 2020	USGS 2020	30m
Variáveis independentes		
Mapa altimétrico	USGS 2017	30m
Mapa de declividade	USGS 2017	30 m
Mapa de distância às estradas	DNIT 2017	1:100
Mapa de distância à assentamentos	INCRA 2017	1:25.000

Mapa de distância à hidrografia	ANA 2017	1:1.000.000
---------------------------------	----------	-------------

Fonte: Autora (2022).

O Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizados neste estudo foram obtidos também do Banco de Dados da USGS, disponibilizados pelo *U. S. Department of The Interior*, os dados de radar possuem resolução espacial de 30 metros. O MDE foi utilizado para gerar mapas de altimetria e declividade para a área de estudo.

A elaboração dos mapas de altimetria e declividade foram calculados no *software* ARCGIS Pro. Para a criação do Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizou-se o interpolador de triangulação da ferramenta *Create TIN* do *ArcToolbox*, a partir da curva de nível com contorno de 30 metros.

Segundo Li *et al.* (2005) o TIN (*Triangulated Irregular Network*) é uma estrutura de dados vetoriais que particionam o espaço geográfico em triângulos que não se sobrepõe, onde os vértices dos triângulos são pontos de amostragem com coordenadas X, Y e Z, e os TINs são empregados para memorizar e expor modelos de superfície. Na conversão do *raster* respeitou-se a resolução espacial da imagem.

Ressalta-se que as bases matriciais devem respeitar a resolução de pixel, o mesmo número de linhas e colunas e sistema de referência.

Realizou-se a análise dos dados de vegetação, geologia, geomorfologia e pedologia no programa ARCGIS Pro, visto que são elementos importantes que compõem a paisagem. Fez-se o recorte do polígono que limita a FLONA do Jamanxim, e as informações foram extraídas do banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2019).

As variáveis que envolveram as distâncias dos objetos de análise (estrada, assentamento e hidrografia), foram preparadas a partir de estimativas das distâncias euclidianas, em que cada pixel da imagem recebeu um valor específico referente à distância no mapa do objeto de referência, e a base de dados de origem e ano estão descritos na Tabela 2 acima.

Sendo assim, para as variáveis altimetria e declividade, não foram estabelecidas distâncias, pois segundo Matricardi *et al.* (2018) o MDE derivado das imagens do USGS constitui variáveis contínuas de terreno.

Assim como, foram elaborados os mapas do geossistema climático, apesar de não terem sido utilizados na modelagem de cenários futuros na FLONA. Para tais variáveis climáticas: precipitação e temperatura, foram elaboradas no programa ARCGIS. A interpolação do banco de dados para a variável precipitação, foi realizada utilizando a

fermenta Inverso de Distância Ponderada (IDW) (Righi e Basso, 2016).

A base de dados para extração das informações de precipitação, foram extraídas na página eletrônica da *WorldClim 2.1* (Fick e Hijmans, 2017), reduzidos a partir de CRU-TS-4.3.0 (Harris *et al.*, 2014) que disponibiliza índices de pluviométricos em milímetros, foi selecionado os dados referentes ao ano de 2020, com resolução espacial de aproximadamente 340 km² (10 minutos).

Já os dados de temperatura média do ar, foram extraídos do MapBiomas (2021), derivados da inspeção visual da imagem de satélite. E para obter a estimativa da temperatura da superfície terrestre – *Land Surface Temperature* (LST) aplicou-se a Equação 2, conforme Yu, Guo e Wu (2014) e Jesus e Santana (2017), ao qual extraiu-se as informações a partir das imagens do sensor Landsat 8 OLI/TIRS, com resolução espacial de 30 metros.

$$LST = T / (1 + W * (T/p) * \ln(e)) \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: T é a temperatura do satélite; W o comprimento de onda da radiação emitida (11,5µm); p = h*C/S (1,438*10⁻²mk); h = constante de planck (6,626*10⁻³⁴ Js); s = Constante de Boltzmann (1,38*10⁻²³ J/K); C = Velocidade da luz (2,998 * 10⁸ m/s) e p = 14380 (Yu, Guo e Wu, 2014; Jesus e Santana, 2017).

Para tanto, utilizou-se as bandas 5 e 4 para extrair os valores mínimos e máximos do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que foi utilizado para calcular a proporção de vegetação e emissividade da superfície terrestre, e a banda 10 termal, referentes ao ano de 2020.

O processamento e observação dos dados foram realizados em ambiente computacional de nuvem, na plataforma do Google Earth Engine (GEE). Todos os dados são fornecidos no formato *raster* e seus subprodutos são originados do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2017).

3.7. CONVERSÃO DAS BASES VETORIAIS EM MATRICIAIS

A fase de conversão das bases vetoriais em matriciais serão realizadas no SIG QGIS 3.8. Esta é uma etapa de grande importância, visto que visa evitar erros no processo de modelagem no *software* DINAMICA EGO, é imprescindível que todas as variáveis de entrada para simulação do modelo estejam convertidas no formato *GeoTIFF*, com a mesma resolução de pixel, o mesmo número de linhas e colunas e sistema de referência.

Os vetores que serão convertidos são as bases vetoriais representadas pelas variáveis independentes, e os dados em formato *shapefile* que foram elaborados na classificação supervisionada.

Antes de ser realizada a fase de conversão de vetor para *raster*, foi necessário fazer o recorte dessas bases que abrangem a área de estudo. Para alguns vetores como: estradas, assentamentos e hidrografia foram estabelecidos *buffers* de 200 metros com base em estudo realizado por Miranda (2005, p. 229) e Kawashima (2015) para cada variável, sendo necessário para definição de distância e melhor estudo na escala de trabalho no processo de modelagem.

As conversões padrões estabelecidas para serem empregadas foram determinadas com base nos valores do *raster* que compreende a área de interesse, definida em 30 metros, correspondendo ao valor do *pixel*, da resolução espacial da imagem de satélite LANDSAT-8. Sobretudo, todas as bases matriciais devem obedecer a mesma resolução de *pixel*, linhas e colunas.

3.8. MODELAGEM NO DINAMICA EGO

O modelo de simulação da paisagem será executado em sete cenários, em passos anuais, que corresponde ao intervalo do ano de 2013 para 2020, utilizando-se o *software* DINAMICA EGO (*Environment for Geoprocessing Objects*), aplicou-se o modelo LUCC (*Land Use and Cover Change*) (Soares-Filho et al., 2009), que emprega o método de pesos de evidências, é necessário ter como entrada tais pesos que representam o efeito de uma variável espacial na mudança da cobertura e uso da terra (Vitel, 2009).

O DINAMICA EGO possibilita desde a composição de modelos espaciais estáticos simples até modelos dinâmicos complexos, os quais podem abranger influências ocultas, retroalimentações dinâmicas, abordagem multirregionais, manipulação e combinação algébrica de dados em vários formatos, como mapas, tabelas, matrizes, e uma sucessão de algoritmos espaciais complexos para a análise e simulação de fenômenos espaço-temporais (Soares-Filho et al., 2009).

O ambiente que este *software* proporciona contém um encadeamento de operadores denominados *functors*, o mesmo é programado a operar uma tarefa específica, e também pode ser entendido como uma técnica que atua sobre um conjunto de dados de entrada, em que é aplicado um número limitado de cálculos, gerando como saída um conjunto de dados inovadores. Existem ainda, os operadores de grupos conhecidos como *containers*.

Os *containers* compilam e determinam um comportamento para o conjunto de operadores contidos no mesmo. Como por exemplo, os operadores “*Repeat*”, que compartilha a execução do submodelo inserido no modelo. O “*Block*” que agrega *functors*, e o “*Region*”, que aplica para que uma determinada operação atinja apenas uma região específica em um mapa (Rodrigues *et al.*, 2007).

A princípio, gerou-se os mapas de distâncias, que foram elaborados no próprio *software* DINAMICA EGO, fundamentado nos dados matriciais de entrada e do *functor* “*Calc Distance to Feature Map*”. Segundo Soares-Filho (1998) e Kawashima *et al.* (2015), o *software* produz um mapa de distância euclidiana de centroide a centroide a uma distância que é dada em unidade de célula.

Para melhor compreender, Miranda (2005 p.229) afirma que o cálculo da distância euclidiana é executado célula a célula, e o algoritmo funciona de forma repetida, ao qual cada célula que possui um valor (uma identificação/número digital) propaga esse valor mais a largura (resolução espacial) da célula principal para a célula vizinha. E por definição, o autor confirma que as células-alvo (ponto inicial do cálculo) tem a distância igual a zero (0).

Os mapas de distância gerados no presente estudo para as variáveis foram: assentamentos, estradas e hidrografia. Outro dado principal é o recorte (limite) da área de estudo, que entra e interage como “máscara” para delineamento do mapa de saída.

Ao executar o programa, os mapas de distância elaborados como saída a partir da ferramenta “*Save Map*” no modelo, são de distâncias à assentamentos, distância às estradas e distância à hidrografia, referentes aos cursos d’água.

Como regra para execução do modelo dinâmico, as classes de uso e cobertura da terra são representadas por códigos (números) como mostra o Quadro 4. Visto que os dados de referência em arquivo *raster* não aceitam inúmeras quantidades de informações nas células, e a descrição de valores equivalentes a cada classe simplifica os procedimentos na elaboração de equações e a modelagem no DINAMICA EGO, o *software* interpreta as informações em feições numéricas (Marques, 2019).

Quadro 4 – Código de cada classe da cobertura e uso da terra

Código	Classe
1	Floresta Primária
2	Vegetação Secundária
3	Exploração Florestal
4	Mineração
5	Mosaico de Ocupações

	(desmatamento)
6	Água

Fonte: Autora (2022).

Em seguida foi realizada a construção do mapa Cubo *Raster*, o mesmo é formado usando os *functors*: “*Load Map*”, “*Creat Cube Map*” e um “*Save Map*”, nessa etapa foram inseridas as variáveis independentes selecionadas para o modelo.

O mapa Cubo *Raster* é uma imagem multicamada que junta todas as variáveis independentes, que devem estar na mesma projeção, coordenadas, número de linhas e colunas.

3.8.1. Produção da matriz de transição

A matriz de transição engloba o processo de estimativa das taxas de transição de vegetação nativa para desmatamento ocorrido entre o ano inicial e final do período de estudo.

A matriz de transição foi calculada através de um modelo estocástico, utilizando como base a cadeia de Markov (Luna, 1977), através do functor “*Determine Transition Matrix*” (Soares-Filho, 1998), a faixa de transição entre os anos de 2013 a 2020, com intervalo de sete anos. Tais resultados foram utilizados para produzir as projeções de desmatamento nos cenários futuros.

Gerou-se as matrizes históricas de transição entre as classes, obtendo-se como resultado uma tabela com valores e percentual de modificações entre as classes estipuladas em passos simples (*single step*) e passos múltiplos (*multiple step*).

Para tal, foram selecionadas as transições mais significativas para analisar a trajetória de desmatamento e as principais modificações na cobertura florestal e uso da terra nesta UC, conforme Almeida (2018) e Vale (2018).

Segundo Soares-Filho *et al.* (2009), a forma simplificada de representar o modelo de estado de transições (Equação 1), que consiste não somente em um modelo espacial, mas no arranjo da quantidade de mudanças por toda a paisagem.

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ \cdot \\ j \end{bmatrix}_{t=v} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{21} & P_{\cdot 1} & P_{j1} \\ P_{12} & P_{22} & P_{\cdot 2} & P_{j2} \\ P_{1\cdot} & P_{2\cdot} & P_{\cdot\cdot} & P_{j\cdot} \\ P_{1j} & P_{2j} & P_{\cdot j} & P_{jj} \end{bmatrix}^v * \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ \cdot \\ j \end{bmatrix}_{t=0} \quad (\text{Equação 1})$$

Para Soares Filho *et al.* (2009), a matriz P_{ij} é conhecida como matriz de transição, em que as colunas representam as probabilidades de um determinado estado i permanecer ou alterar para o estado j durante um intervalo de tempo de t para $t + v$. Ou seja, ele calcula as taxas de transição e expõe um sistema que é modificado em incrementos de tempo discreto, nos quais os valores de qualquer variável em um estipulado período, é determinado como a soma das porcentagens fixas de valores de todas as variáveis inseridas no modelo, e as somas das frações ao longo da coluna da matriz é igual a um, e suas taxas são transferidas para o modelo LUCC (Soares-Filho *et al.*, 2009).

3.8.2. Composição e correlação dos intervalos de pesos de evidência

A etapa de composição dos pesos de evidência é responsável por calcular os intervalos que irão categorizar as variáveis contínuas de tons de cinza para derivar os pesos de evidência. Tais intervalos são calculados de forma semelhante a um fatiamento (definição de taxas de valores) de acordo com a estrutura dos dados.

Pesos de evidência é um método bayesiano, que gera os mapas de probabilidade de transição relacionadas a cada variável espacial, e descreve as áreas mais propícias a mudanças (Soares-Filho *et al.*, 2002).

Na sequência realizou-se o cálculo dos coeficientes dos pesos de evidência das variáveis, determinados pelo *container* “*Determine of Weights of Evidence Coefficients*” com relação a uma transição ou um conjunto de transições.

Foram definidos os parâmetros para a determinação dos intervalos dos pesos de evidências da seguinte forma: o incremento, referente a resolução espacial das imagens de satélite (15 metros); o número mínimo de células para fatiamento no eixo x (*Minimum Delta*) para as variáveis de distância equivale a um, para a variável de altimetria equivale a 180 e para variável de declividade equivale a zero, essas últimas obedecendo os valores de máximo e mínimo da base de dados.

O número máximo de células para fatiamento no eixo x (*Maximum Delta*) para as variáveis de distância equivale a 50.000, para a variável de altimetria equivale a 510 (valor máximo de altimetria em metros), e para variável de declividade equivale a 8,34 (valor máximo de declividade em graus); e por último o ângulo de tolerância (*Tolerance Angle*) definido em cinco graus.

A análise de correlação entre os pesos de evidência foi realizada por intermédio do *functor* “*Determine Weights of Evidence Correlation*” do DINAMICA EGO. Para Soares-

Filho *et al.* (2009) engloba os métodos *Crammer*, que utiliza a estatística qui-quadrado, e a Incerteza da Informação Conjunta (*Join Information Uncertainty*), que pertence à classe de medidas de entropia, mas também pode ser utilizada para medir associações entre tabelas de contingência. Tais testes fornecem uma medida padronizada que varia entre zero e um, quanto mais próximo de um, maior a associação entre as variáveis.

Ressalta-se que as variáveis utilizadas no modelo expressam as mudanças ocorridas na paisagem referente aos períodos analisados, a partir de inúmeras tentativas e combinações para a calibração do modelo. Por isso, é de grande importância, o conhecimento do analista sobre a sua área de estudo, visto que contribui positivamente na etapa de calibração, a fim de que, na etapa final do processo, o mapa simulado nos períodos analisados (2013 e 2020) fique o mais próximo possível do mapa real.

A calibração do modelo consiste na verificação da independência entre as variáveis. A análise de correlação entre os mapas que gerou os valores referentes ao índice de *Crammer* e *Join Information Uncertainty*, resultante da análise para das variáveis selecionadas.

Ressalta-se que, índices inferiores a 0,5 indicam associação significativa entre pares das variáveis, caso esse valor exceda, uma das variáveis deve ser excluída do modelo, ou ambas combinadas em um único plano de informação para evitar obliquidade no modelo (Bonham-Carter, 1994; Soares-Filho *et al.*, 2007). Todavia, não houve a necessidade de exclusão de variáveis, uma vez que os valores levantados foram inferiores a 0,5.

Diante disso, a análise dos pesos de evidências e seus índices, são utilizados para determinar as categorias das variáveis que são representadas por suas camadas de referência no Sistema de Informação Geográfica (Soares-Filho *et al.*, 2007).

3.8.3. Configuração do modelo: simulação LUCC

Para a configuração e execução do modelo de simulação LUCC, é inserido no DINAMICA EGO a matriz de transição “*multiple-step*”, para calcular as taxas brutas e quantidades de células alteradas no modelo.

Apartir das configurações de execução são gerados os mapas de probabilidades e o mapa final simulado (2020), para fim de comparação com o mapa real (2020) ao qual será classificado no presente estudo. Além da matriz de transição, os dados de entrada inseridos neste modelo, são as variáveis independentes a partir do arquivo *tiff* de cubo *raster*, o mapa final do ano de 2020, e o arquivo com os pesos de evidências (Figura 6).

A partir do functor “*repeat*” é definido o número de vezes que o modelo fará a

interação, e atualização automática através do functor “*Mux Catgorial Map*” que recebe o mapa inicial (2013), e em cada interação armazena os mapas de probabilidade com modificações.

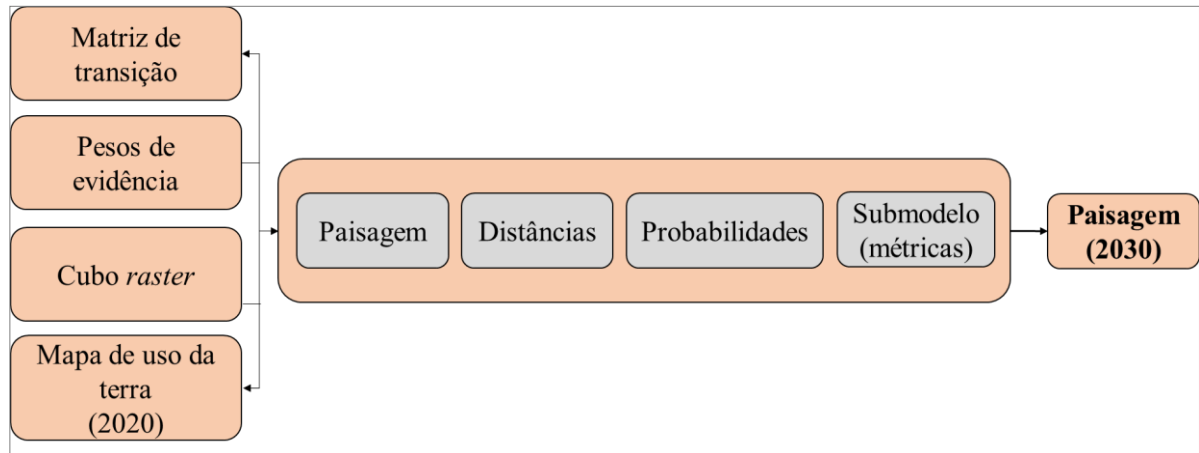


Figura 6– Modelo LUCC

Fonte: Adaptado de Soares-Filho *et al.* (2009).

Ressalta-se ainda, a função *repeat* que foi executada sete vezes, gerando os mapas de probabilidades e mapas simulados dos anos entre 2013 a 2020. Nesse caso, utilizou-se apenas o mapa simulado e o mapa de probabilidade do ano de 2020, para ser posteriormente comparado ao mapa real.

Os demais *functors* utilizadas neste modelo, tais como o “*Calc Weights of Evidence Probability*”, tem a função de calcular as probabilidades das evidências das variáveis que influenciam na determinação de áreas suscetíveis à transição; o *functor* “*Calc Chage Matrix*” recebe os dados da matriz de transição e calcula a taxa bruta da quantidade de células a serem alteradas, multiplicando essa taxa pelo número de células disponíveis.

Para aplicar as mudanças calculadas existem dois *functors* especiais e complementares, que se baseiam em autômatos celulares e probabilidade, projetados para reproduzir os padrões espaciais de mudanças, as quais são: o “*Patcher*” e o “*Expander*”.

O *functor* “*Patcher*” permite controlar os parâmetros de geração de manchas de forma mais isométricas, a partir da parametrização de distribuição, como a média e a variância dos tamanhos. Ele escolhe um conjunto de células em conformidade com suas probabilidades de transição e de combinações pela seleção das células vizinhas ao núcleo escolhido, para formação de um novo conjunto de células. Já o “*Expander*” é dedicado apenas à expansão ou contração de patches anteriores de uma determinada classe (Soares-Filho, 2007).

Foram estabelecidos os parâmetros de 1.0 e 2.0 (ha) para a média e a variância, e 1.0 para *isometry*. O parâmetro *isometry* varia de 0 a 2, e quanto mais próximo de 2, mais isométrica serão as manchas formadas. Nesse processo são gerados os mapas de

probabilidades de transições entre as classes de cobertura e uso da terra.

3.8.4. Validação do modelo

Para a validação das simulações do modelo LUCC, foram aplicadas as medidas de similaridade *Fuzzy* apontada como equivalente à estatística *Kappa* (Hagen, 2003), em função da incerteza da localização de uma classe e sua vizinhança local, com objetivo de identificar a similaridade entre os padrões espaciais do mapa simulado (2020) e o mapa real (2020) utilizado como referência.

Tal ajuste tem decaimento exponencial com a distância para aferir e assemelhar a distribuição de classes de células ao redor de uma célula central (Godoy e Soares-Filho, 2007).

Utilizou-se a função de decaimento constante em janelas múltiplas, e foram analisados os valores das janelas de 3x3 e 5x5 pixels. Os índices de similaridade *Fuzzy* com valores acima 0,50 para janelas com tamanhos de 3x3 a 5x5 são consideradas concordâncias aceitáveis (Almeida *et al.*, 2008; Soares-Filho *et al.*, 2013).

O mapa resultante do presente processo, descreve apenas as células que foram modificadas. Foi utilizado o menor valor de similaridade, pois os mapas aleatórios tendem a produzir um ajuste artificialmente alto, quando comparados, espalham as mudanças por todo o mapa.

3.8.5. Formação de manchas e simulação de cenários futuros

E por fim, é executado o modelo de formação de manchas e simulação de cenários futuros, responsável pela formação de “*patcher*” e “*expander*” para simulação de cenários para o ano de 2020.

Para tanto, adota-se valores de “*patcher*” e “*expander*” para cada transição, tais parâmetros foram extraídos no próprio DINAMICA EGO, que calcula os valores médios das manchas da paisagem, valor das variâncias e isometria (Tabela 3).

Tabela 3 – Parâmetros utilizados para a formação de manchas

Transições*	Média das manchas (ha)	Variância (ha)	Isometria
1-2	50.34	137.93	1.02
1-3	30.06	22.22	1.0
1-5	57.35	201.99	1.02

2-3	30.06	22.22	1.0
2-5	57.35	201.99	1.02
3-2	50.34	137.93	1.02
3-5	57.35	201.99	1.02
4-5	57.35	201.99	1.02
5-3	30.06	22.22	1.0
6-4	1.558,26	3.0968,63	1.02

*Floresta Primária (1); Vegetação Secundária (2); Exploração Florestal (3); Mineração (4); Mosaico de Ocupações (5) e Água (6).
Fonte: Autora (2022).

Após esta etapa, foi executado o modelo para simular tendências futuras, que é o objetivo principal deste estudo, analisar a dinâmica ocorrida na paisagem até o ano de 2030.

O que diferencia essa etapa da etapa de execução do modelo LUCC, é que o mapa representando o cenário inicial é o de 2020 (gerado na última simulação), e o número de interações definido como “10”, equivale ao número de vezes que o modelo vai repetir a partir do *functor* “For” até o ano de 2030, gerando como saída todos os mapas dentro deste intervalo de tempo.

Os valores de parametrização da simulação do período 2013-2020 foram mantidos, referente ao tamanho médio e variância das manchas de paisagem, percentual de “*patcher*” e “*expander*”, e índice de isometria.

4. CAPÍTULO III⁵ – ANÁLISE TEMPORAL DE 2013 E 2020

4.1. COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA

Foram obtidas seis classes de cobertura e uso da terra, definidas como:

1 - Floresta primária (áreas onde a cobertura da terra é predominantemente composta por vegetação arbórea);

2 - Vegetação secundária, que se difere da floresta primária, pois é caracterizada por áreas que após a supressão total da vegetação florestal, encontram-se em processo avançado de regeneração da vegetação arbórea;

3 - Exploração florestal (áreas submetidas à retirada de vegetação, com predomínio da cor verde e presença de feições circulares de cor magenta, com padrão de corte seletivo geométrico (tipo 1) e corte desordenado (tipo 2));

4 - O Mosaico de ocupações (desmatamento): classe relacionada à conversão por supressão de áreas florestais primárias em outras coberturas vinculada ao ciclo de limpeza para atividades de cultivo e pastagem (Foley, 2007);

5 - Mineração (área de extração mineral com presença de clareiras e solo exposto, envolvendo desmatamento nas proximidades de águas superficiais) e;

6 - Água (áreas com corpo d'água continental, referentes às águas naturais e artificiais, que não são de origem marinha, tais como: rios, canais, lagos e lagoas de água doce) (IBGE, 2013; INPE, 2019).

A acurácia do mapeamento para o ano de 2013, resultou em 92,33% de exatidão global e para índice *kappa* 0,81 % (81%). Para o ano de 2020 a exatidão global foi de 96,68% e 0,93% (93%) índice *kappa*, os quais são considerados resultados excelentes e satisfatórios para os dois anos analisados (Landis e Koch, 1977).

A classe que ocupa a maior extensão da área total da FLONA (13.078,16 km²) é a Floresta primária, com 68,02%, seguida pela classe Exploração florestal, com 20,59%, ambos referentes ao ano de 2013. Conforme Paiva *et al.* (2019), as áreas de exploração florestal são áreas submetidas à retirada de vegetação, com predomínio do padrão de corte seletivo geométrico e corte desordenado que resultam, posteriormente, em desmatamento.

Outras classes como Vegetação secundária (4,69%), Mineração (3,91%), Mosaico de ocupações - Desmatamento (2,72%) e Água (0,05%), obtiveram números reduzidos de intervenção (Figura 7; Tabela 4).

⁵ Artigo submetido à Revista Boletim de Geografia, que se encontra em situação de avaliação.

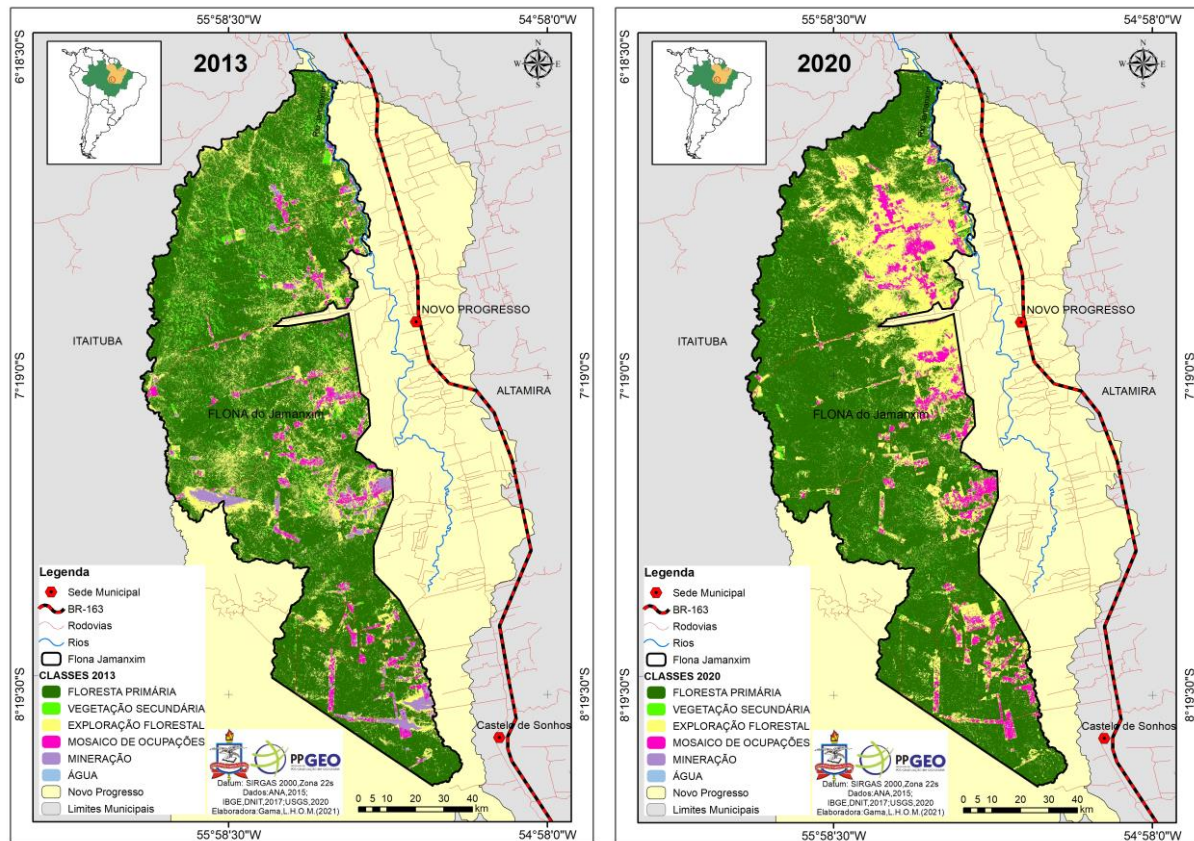


Figura 7 - Mudanças na cobertura vegetal e uso da terra na Floresta Nacional do Jamanxim nos anos de 2013 e 2020

Fonte: Autora (2022).

Referente as mudanças na cobertura e uso da terra entre os períodos analisados, os valores positivos indicam que houve aumento de área. Dentre as classes, a exploração florestal foi a que apresentou o maior aumento de área, contabilizando um acréscimo de 612,32 km², que equivale a 4,68%, deixando evidente a retirada de madeira nessa região. Outra classe, como por exemplo, mosaico de ocupações (desmatamento) obteve um aumento de 392,29 km² (3%) de área (Figura 7).

Tabela 4 - Classes e mudanças na cobertura e uso da terra na FLONA do Jamanxim nos anos de 2013 e 2020.

Classes	2013		2020		Mudanças entre os anos	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Floresta Primária	8.895,45	68,02	8.782,94	67,14	-112,51	-0,87
Vegetação Secundária	614,59	4,69	194,07	1,48	-420,52	-3,22
Exploração Florestal	2.693,05	20,59	3.305,36	25,27	612,32	4,68
Mosaico de Ocupações	356,41	2,72	748,70	5,73	392,29	3,00
Mineração	511,56	3,91	39,01	0,29	-472,54	-3,61
Água	7,08	0,05	8,61	0,06	1,53	0,01
Total	13.078,16		13.078,16			

Fonte: Autora (2022).

Houve redução de área na classe de floresta primária avaliado em 112,51 km² (0,87%),

para um período de oito anos analisado, assim como, observou-se diminuição da classe mineração 472,54 km² (3,61%), e vegetação secundária 420,52 km² (3,22%) (Figura 8).

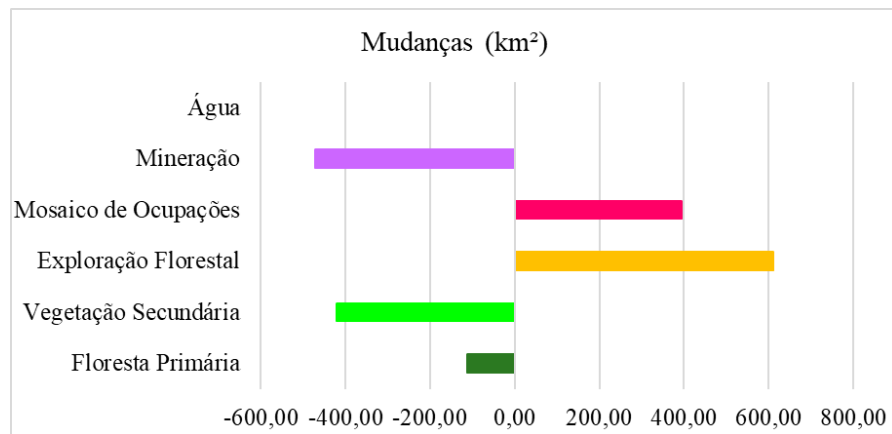


Figura 8 – Mudanças na cobertura e uso da terra, perdas e ganhos, 2013 e 2020.
Fonte: Autora (2022).

Entre as classes analisadas, a que obteve maior redução em seu tamanho de área foi a classe mineração, seguida por vegetação secundária e floresta primária respectivamente.

É possível analisar e identificar os principais padrões de desmatamento relacionando-os com as distintas e desiguais formas de ocupação do território e uso da terra nesta UC.

Com base nos padrões de tipologia de desmatamento do Projeto de Monitoramento e Desmatamento na Amazônia Legal (PRODES), destaca-se o padrão de desmatamento classificado como geométrico regular (Saito *et al.*, 2011; Maurano, Escada e Renno, 2019) ao sul da FLONA do Jamanxim, a aproximadamente 30,60 km da Comunidade Castelo dos Sonhos, como mostra a Figura 9.

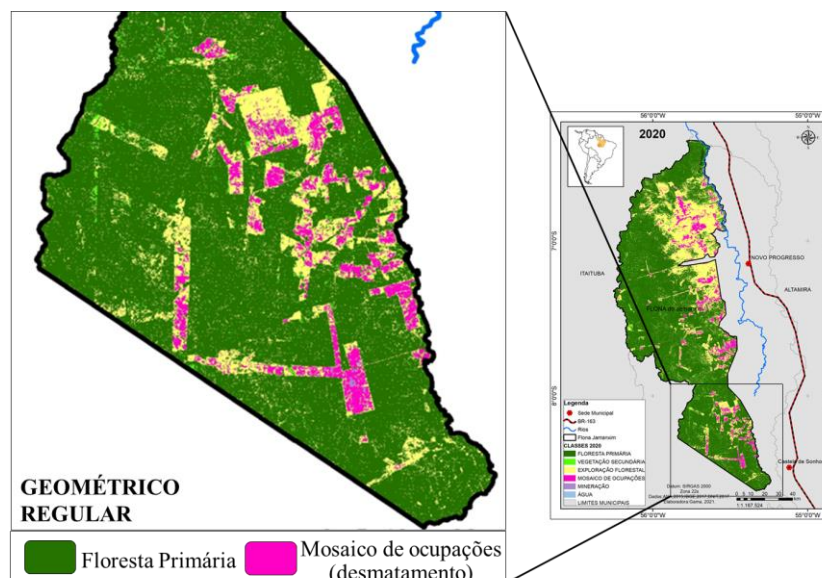


Figura 9 – Padrão espacial de desmatamento (geométrico regular)
Fonte: Autora (2022).

Tal padrão, é caracterizado com manchas que variam de médias a grandes, distribuídas isoladamente, de forma geométrica regular, e densidade populacional de baixa a média, especificando padrões de médios e grandes estabelecimentos rurais – áreas compostas por assentamentos de imóveis rurais do INCRA, com atividades econômicas, como a agricultura, e principalmente monoculturas de grão e pecuária de média a larga escala, e estágio intermediário de ocupação; ou o padrão geométrico que caracteriza extensas fazendas de produtividade agropecuária (Saito *et al.*, 2011; Maurano, Escada e Renno, 2019).

Na perspectiva de se compreender a estrutura espacial da paisagem da FLONA do Jamanxim, deve-se levar em consideração as principais as atividades econômicas tanto antigas, quanto as mais recentes, que são apontadas como indicadores geográficos, econômicos, sociais, culturais e ambientais, que configuram a atual distribuição espacial.

De acordo com Serviço Florestal Brasileiro (2010), as principais atividades econômicas que configuram esta UC espacialmente, aponta-se a pecuária, seguida pela agricultura de subsistência e do garimpo. Atualmente, o quadro geral é dominado pelas atividades econômicas informais, baseadas na extração ilegal de madeira, extração ilegal de minérios e grilagem de terra (BRASIL, 2016).

Até o dia 22 de outubro de 2020, segundo a atualização do banco de dados do ICMBio, foram embargadas áreas com um total aproximado de 42.097,68 hectares, e foram autuados atores sociais por executar extração mineral (ouro e cassiterita) no interior da FLONA do Jamanxim sem prévia autorização, por explorar e danificar a floresta por corte seletivo (extração de madeira), por destruir a vegetação nativa para implantação de pastagem e gado, por lotear área no interior da UC, danificar área de preservação permanente, destruir, desmatar e queimar a vegetação nativa (ICMBIO, 2020).

A atividade de mineração só é permitida por previsão expressa no Decreto de criação da FLONA, desde que, seja em áreas específicas descritas no Art. 3º, e que estejam de acordo com as especificações do Plano de Manejo. Ademais, deve-se haver autorização ou concessão da União estatal previsto no artigo 176, inciso 1º da legislação brasileira (BRASIL, 2006).

Para Castro *et al.* (2002), em Novo Progresso e Castelo de Sonhos, o padrão de ocupação é representado pela chegada da população na década 70, atraídas pela construção da BR-163 e pelos programas de integração, com um formato de lotes de 2.500 hectares. A pecuária e a pequena produção familiar, estavam presentes desde este período. No entanto, é em torno da pecuária e da extração de madeira que se expandia a economia da região nesse, e que indicam as formas de apropriação da terra (Castro *et al.*, 2002; Brown *et al.*, 2016).

A FLONA do Jamanxim, uma das áreas mais afetadas pelo desmatamento, entre 2012

e 2015, em torno de 12% da sua área original já havia sido convertida (IPAM, 2017).

Nesta UC, evidencia-se que as estradas, no caso a rodovia BR-163, e grandes obras de infraestrutura geram impactos sociais e ambientais relacionados ao aumento de migrações, grilagem e ocupação irregular de terras públicas, desmatamento e exploração não sustentável dos recursos naturais - cerca de 7,6 % da floresta foi desmatada entre os anos de 2012 a 2017, tal valor corresponde a 33 mil hectares (IMAZON, 2017).

Observa-se, que a região norte da FLONA do Jamanxim, é a área mais afetada pela exploração florestal ilegal, localizado às margens do rio Jamanxim, há aproximadamente 12,48 km da BR-163. Nesta mesma região, está localizado o projeto de assentamento federal nomeado Projeto de Desenvolvimento Sustentável – PDS Brasília. E na porção sul e leste são as regiões mais afetadas pelo desmatamento, que conseqüentemente pode ser um dos motivos dos altos índices de desmatamento e uso desordenado da terra, devido a ocupação populacional desenfreada nessa região.

Para Silva *et al.* (2020), as áreas mais suscetíveis ao desmatamento são ao norte, referente às regiões sujeitas à influência da rodovia que liga a BR-163 às áreas de mineração na região oeste. A FLONA do Jamanxim sofre constantes pressões devido a interesses do agronegócio, que insistem em transformá-la em Área de Proteção Ambiental, este tipo de proteção apresenta menores restrições de uso da terra, permitindo o desmatamento para agricultura sustentável e execução de outras atividades (Silva *et al.*, 2020).

Conforme Pinheiro *et al.* (2016), a extração seletiva de madeira tem sido a principal atividade responsável pela degradação florestal, foi identificado um padrão de mudanças fundiárias no município de Novo Progresso, apontado como indicador do desmatamento. Os autores reiteram que o desmatamento, a degradação florestal e os incêndios florestais estão diretamente relacionados.

Ademais, a perda de vegetação ocasiona a fragmentação florestal, deixando a floresta muito mais suscetível a secas, incêndios, extração de madeira, e a qualquer outro impacto ocasionado pela ação humana, visto ainda, que a fragmentação florestal cria áreas suscetíveis ao efeito de borda, e conseqüentemente o desmatamento (Alencar *et al.*, 2015; Laurance *et al.*, 2017).

Visto que, a FLONA do Jamanxim foi considerada a unidade de conservação com maior índice de desmatamento no estado do Pará em 2019, deve ser dada atenção especial a esta área protegida de grande importância para a região, que é impulsionada pelo desmatamento próximo à rodovia BR-163. E com base na presente pesquisa, é possível delimitar áreas que precisam ser preservadas e elaborada melhor gestão socioambiental.

5. CAPÍTULO IV: ANÁLISE DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES

5.1. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

Os mapas das variáveis contínuas (altimetria e declividade) para modelagem de cenários futuros são apresentados na Figura 10.

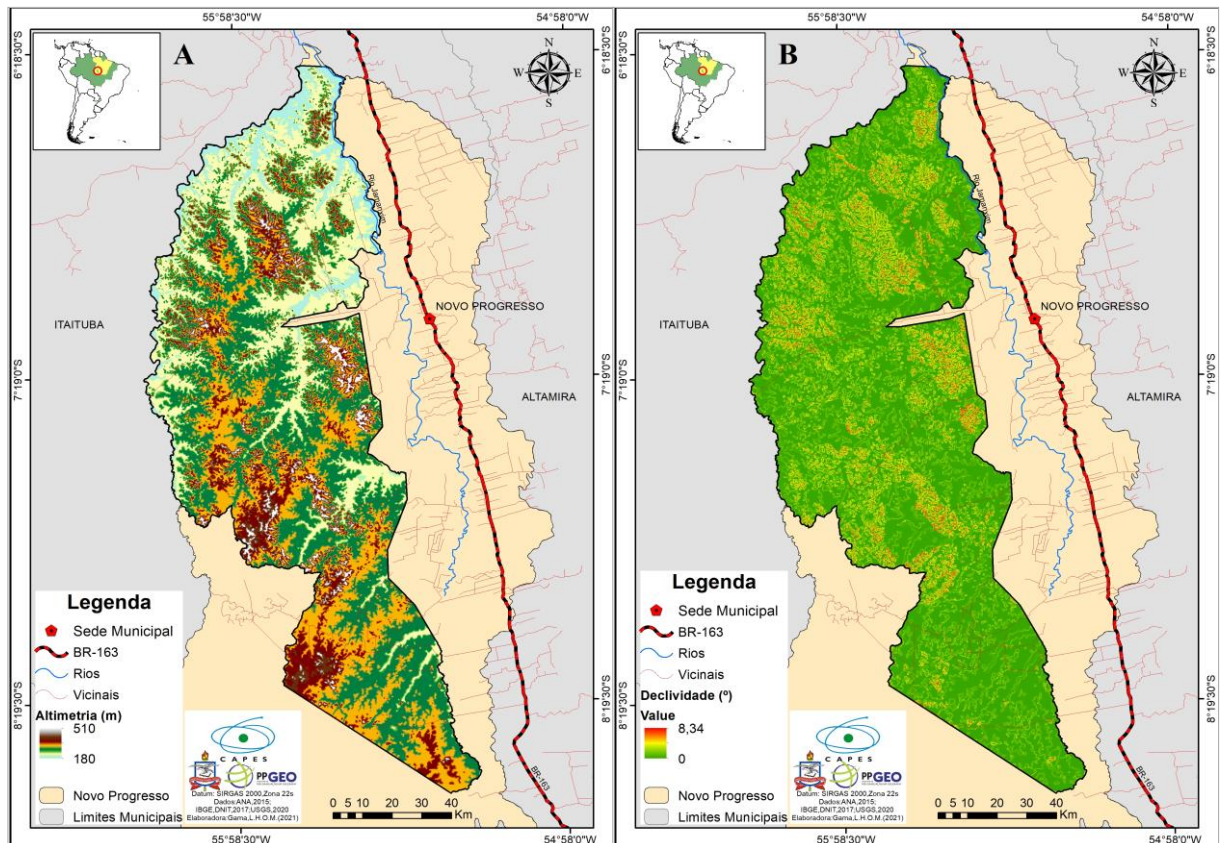


Figura 10 - Mapas de altimetria (A) e declividade (B)
Fonte: Autora (2022).

De acordo com o mapa (Figura 9A) a altimetria varia entre 180 metros nas áreas mais baixas a 510 metros nas áreas mais altas, observa-se que a altitude diminui em direção ao norte da FLONA do Jamanxim.

A FLONA apresenta grande predomínio de declividades inferiores a 8,34 graus (Figura 9B), o que indica tratar-se de relevo ondulado. Segundo a EMBRAPA (2018) é uma superfície de topografia pouco movimentada, constituída por um conjunto de colinas, apresentando declives moderados, predominantemente variáveis de 8 a 20 graus. As áreas com declividades menores, representadas pela cor verde, podem estar associadas ao curso d'água.

5.2. GEOSSISTEMA HIDROGRÁFICO

A Floresta Nacional do Jamanxim está inserida no bioma Amazônia, assim como, a bacia hidrográfica do rio Tapajós (ISA, 2020). Sua área engloba parte da bacia de dois grandes afluentes do Rio Jamanxim e o Rio Novo (ICMBIO, 2010; IBGE, 2018) (Figura 11).

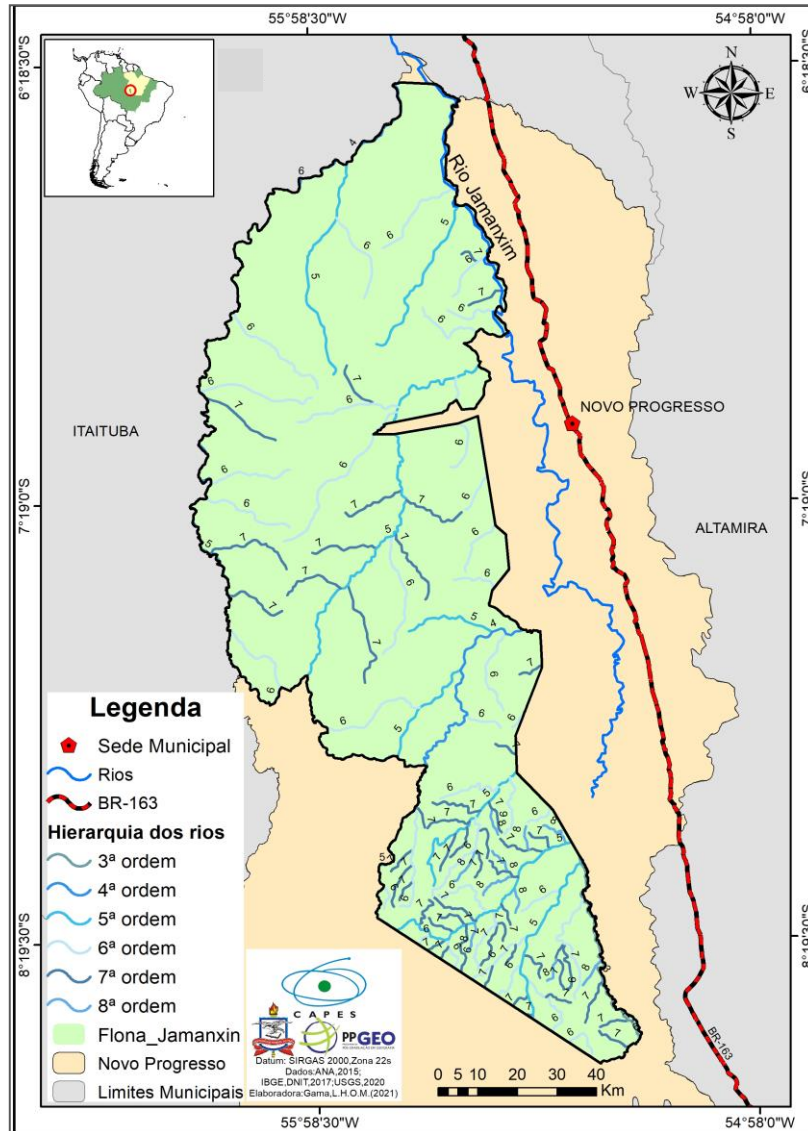


Figura 11- Mapa de hidrografia da FLONA do Jamanxim em Novo Progresso – PA
Fonte: Autora (2022).

Os rios ocorrem em uma organização natural hierárquica de 3ª ordem (101 km) e 8ª ordem (10 km), possui elevada quantidade de nascentes, aos quais estão mais concentradas e acentuadas ao sul da FLONA (Figura 11).

Por meio do geossistema hidrográfico, destaca-se a água que é um bem comum primordial para a sobrevivência de vida no globo terrestre (De Carli, 2015). Todavia, com o avanço desordenado e acelerado da sociedade, nota-se acentuada degradação do meio ambiente, particularmente a água do planeta (Lago e Pádua, 2017).

A bacia hidrográfica do Rio Jamanxim é considerada rica em recursos hídricos e de grande importância, por possuir rios de médio e grande porte, quantidade grande de afluentes, igarapés e nascentes, assim como, abriga considerável biodiversidade aquática – especificamente peixes, que servem de subsistência para comunidades ribeirinhas e indígenas que habitam na região (ICMBIO, 2014).

5.3. GEOSSISTEMA GEOMORFOLÓGICO

Segundo o mapeamento geomorfológico na escala 1:250.000 da EMBRAPA (2018) para o zoneamento econômico-ecológico da BR-163, a estrutura do relevo baseia-se em dois táxons principais: Domínios Morfoestruturais e Unidades Geomorfológicas.

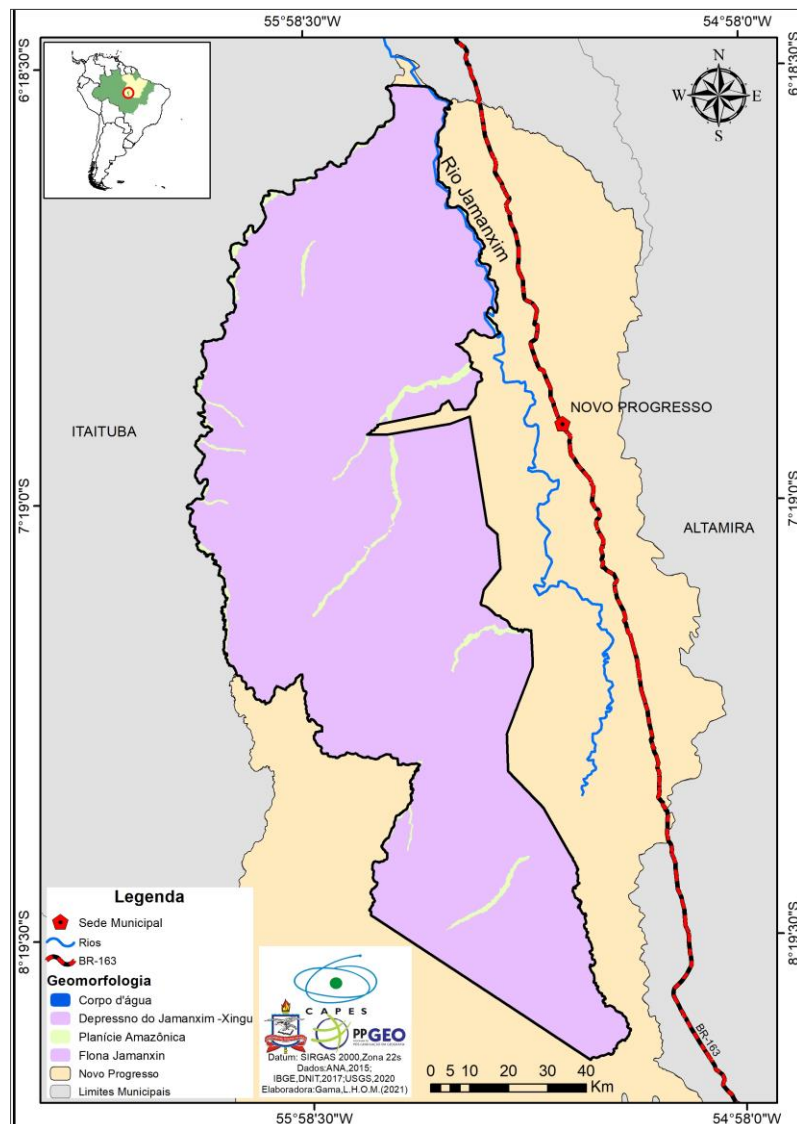


Figura 12- Domínio geomorfológico da FLONA do Jamanxim em Novo Progresso – PA
Fonte: Autora (2022).

O domínio geomorfológico mais representativo nesta unidade de conservação, é

denominado Depressão do Jamanxim-Xingu, sendo 47,39% do município de Novo Progresso (IBGE, 2019), e 97,34% corresponde a FLONA (Figura 12), com baixa densidade de drenagem (1ª ordem), caracterização dissecada e forma de topo convexo de categoria homogênea.

5.4. GEOSSISTEMA VEGETAL

Nesta Unidade de Conservação predomina a Floresta Ombrófila Aberta Submontana (Asc) com dossel emergente, correspondente a 44,35% do município de Novo Progresso (IBGE, 2019) e 73,27% da FLONA do Jamanxim. Assim como, a Floresta Ombrófila Densa Submontana (Dse), ambas emergentes e com predomínio de cipós, possuem dossel contínuo e biomassa pesada (ICMBIO, 2010) (Figura 13).

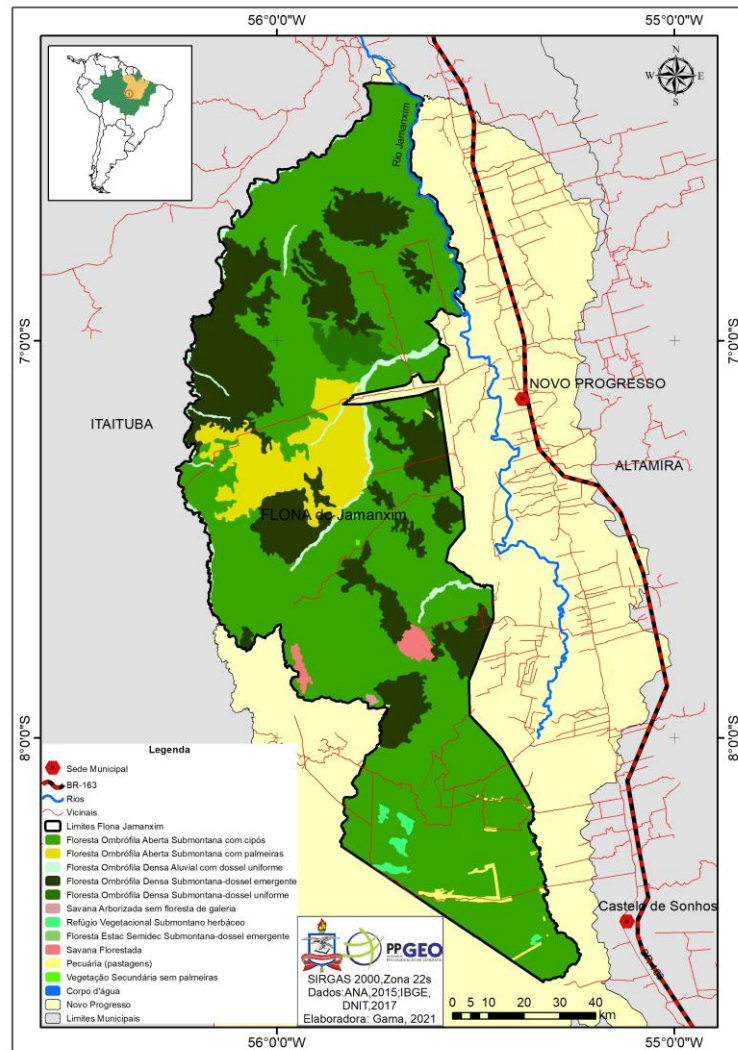


Figura 13 - Mapa de vegetação da FLONA do Jamanxim em Novo Progresso – PA
Fonte: Autora (2022).

As tipologias de vegetação formam um agrupamento, conforme o relevo e o solo.

Nas zonas de relevo mais baixo, circundando os canais de drenagem, apresenta-se alta ocorrência de lianas (cipós) em crescimento, sem formar dossel definido, a flora epifítica é muito rica, no sub-bosque há abundância de palmeiras (em amarelo) localizadas no centro da FLONA do Jamanxim, como mostra a Figura 13 (ICMBIO, 2010; IBGE, 2019).

A floresta Asc que é bastante conhecida pela quantidade elevada de cipós, é encontrada na parte sul e sudeste da Amazônia, e em áreas de transição entre o bioma Amazônia e Cerrado, e que podem estar parcialmente tomadas por lianas associadas com palmeiras, especificamente com a espécie *Orbignya phalerata* conhecida como babaçu (ICMBIO, 2010), utilizado como alimento e medicamento por possuir ação antioxidante e anti-inflamatória natural (Silva *et al.*, 2021).

Levando em consideração o Índice de Valor e Importância do inventário florestal realizado pelo ICMBIO, as espécies com maior relevância em ambas florestas predominantes na FLONA do Jamanxim foram: Breu - *Protium spp.*; Louro - *Aniba spp.*; Abiu - *Pouteria caimito*, Abiurana - *Franchetella grongrijpii*; Castanheira - *Betholletia excelsa*, e Muiratinga - *Perebea lecontei* (ICMBIO, 2010).

A FLONA do Jamanxim possui áreas peculiares e de grande importância para a conservação da biodiversidade ao longo dos flúvios, que está localizado nas áreas de Floresta Ombrófila Densa Aluvial com dossel uniforme, área característica de mata ciliar e de rios meandros, que são comuns na floresta amazônica.

Os ecossistemas de Floresta Ombrófila Densa Aluvial, são característicos da região e ocorrem em áreas com planície de inundação, com a presença de Latossolo Vermelho-amarelo. E estão sob pressão de áreas de pastagem, ao qual o acesso é por barco ou balsa subindo o Rio Jamanxim (ICMBIO, 2010; IBGE, 2019). As áreas de pastagem nessa região, coincidem com as áreas de desmatamento ao sul da UC levantados no Capítulo III anterior, composto por fazendas para a produção agropecuária.

5.5. GEOSSISTEMA GEOLÓGICO

A FLONA do Jamanxim está inserida na porção centro-sul do Cráton Amazônico, cuja evolução está ligada aos períodos Arqueano e Proterozóico Paleoproterozoica Orosiriano representando 57,37% do município de Novo Progresso (ICMBIO, 2010; IBGE, 2019), e 93,97% da FLONA, correspondente a 1.227.738,62 ha (Figura 14).

As hipóteses para evolução geológica do Cráton Amazônico polarizam-se principalmente em torno de suposições que envolvem tanto o aperfeiçoamento de crosta antiga como os eventos de atração de partículas (CPRM, 2001).

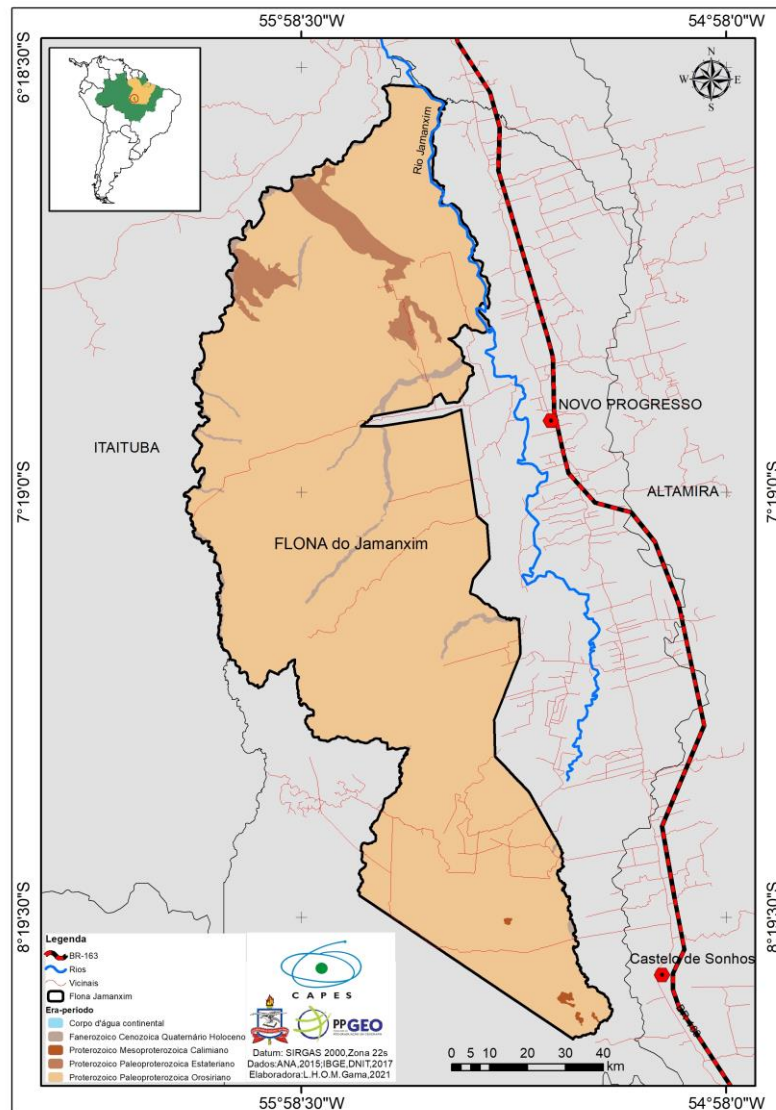


Figura 14 - Mapa geológico da FLONA do Jamanxim em Novo Progresso – PA
Fonte: Autora (2022).

Segundo o mapeamento do Levantamento de Recursos Naturais do Projeto RADAM (DNPM, 1975), na escala 1:1.000.000, a FLONA do Jamanxim está inserida principalmente no contexto do Complexo Xingu.

5.6. GEOSSISTEMA PEDOLÓGICO

Segundo o IBGE (2019), baseado no Manual Técnico em Pedologia (2015) e os critérios, conceitos e normas do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS), identificou-se que o solo predominante na FLONA do Jamanxim é o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico - PVAd (Figura 15), de textura argilosa, A moderado, característico de relevo plano associado ao Argissolo Vermelho Eutrófico típico, textura média cascalhenta/argilosa, caracterizando solos com baixa fertilidade natural, representando

91,77% da unidade de conservação.

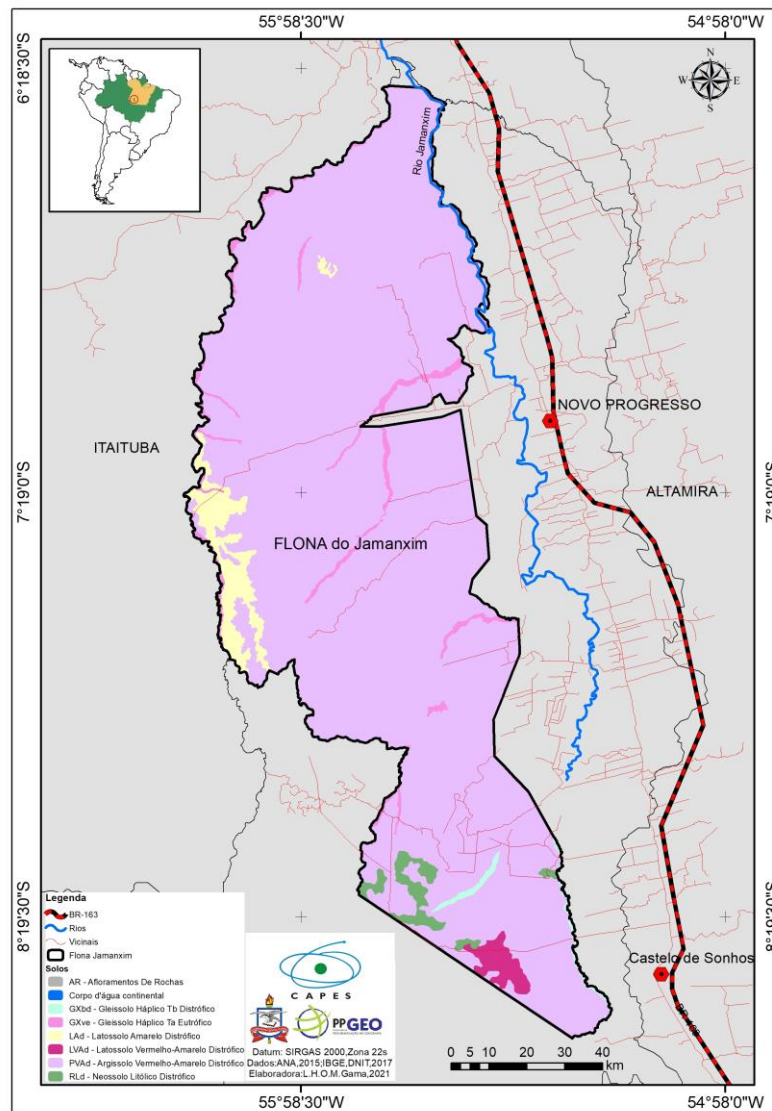


Figura 15- Mapa pedológico da FLONA do Jamanxim em Novo Progresso – PA
Fonte: Autora (2022).

Os perfis de solo PVAd indicam declividade média de 37,4 % (Chagas *et al.*, 2013). A declividade tem importância específica nessas condições, visto que, influencia o sombreamento topográfico, que pode levar a diferenças nos gradientes locais entre as encostas, causando heterogeneidades espacial e temporal na energia local e no balanço de água, interferindo inclusive o padrão de distribuição das propriedades dos solos (Fu e Rich, 1999).

5.7. GEOSISTEMA CLIMÁTICO

A floresta Amazônia é responsável pela regulação climática em escala regional e

global, e desempenha papel importante no estudo da paisagem e geossistema climático – precipitação e temperatura da superfície terrestre.

Em cada região ou UC, a floresta possui suas particularidades, e dependendo das espécies de fauna nela existente. Segundo Santos *et al.* (2019) a mesma precisa de condições específicas da atmosfera e de água para o desenvolvimento, visto que o clima retrata atributo singular e indissociável para a produtividade e desenvolvimento das espécies nativas.

De acordo com *Koppen* o clima é da categoria “*Ami*”, equatorial úmido, com ventos constantes e abundantes chuvas. O clima *Ami* é caracterizado por precipitação pluviométrica média anual que varia entre 9 mm em períodos menos chuvosos, e 315 mm em meses de maior ocorrência de precipitação na FLONA do Jamanxim (Figura 16A). Levando em consideração a resolução espacial que é de aproximadamente 340 km² (IBGE, 2020; Fick e Hijmans, 2017).

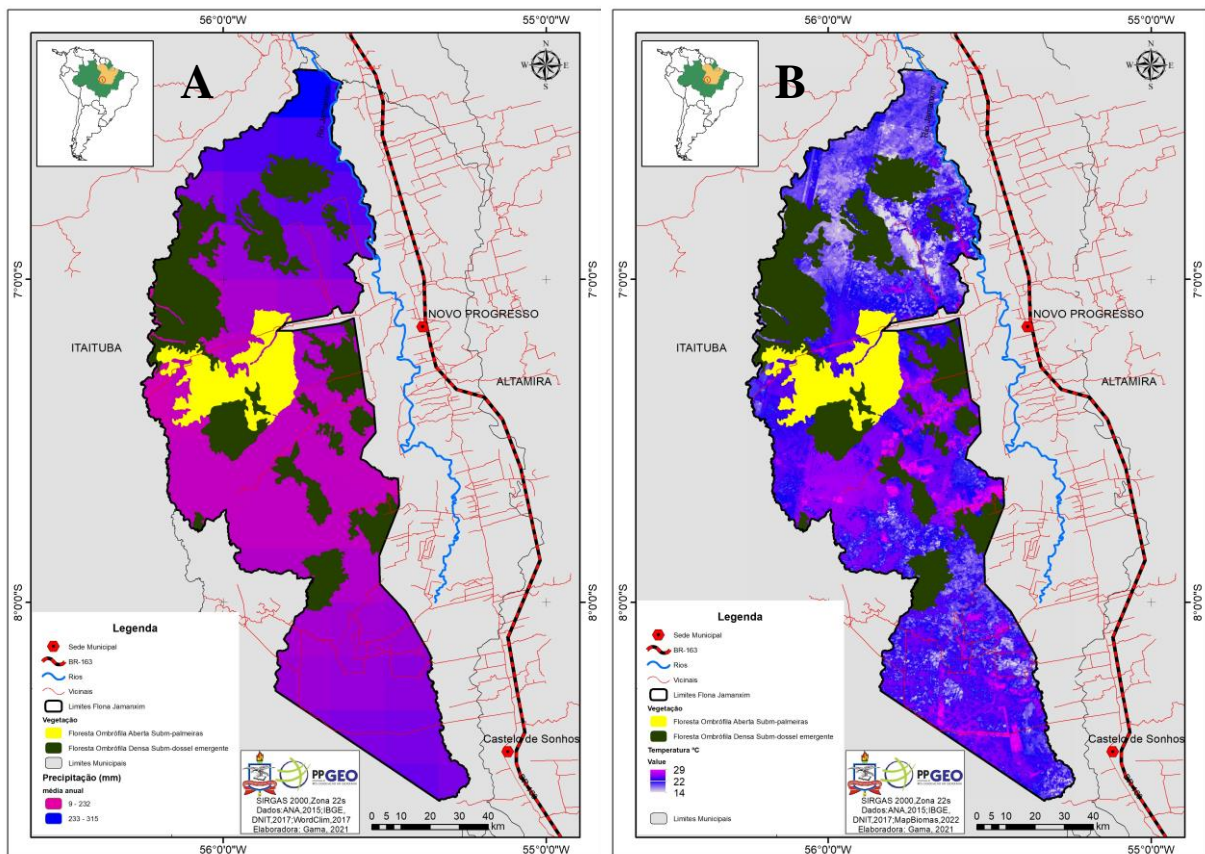


Figura 16 - Mapa de precipitação (A) e temperatura (B) da FLONA do Jamanxim em Novo Progresso – PA
Fonte: Autora (2022).

Conforme a Figura 16(B), a temperatura varia entre 14° C e 29° C, segundo a base de dados do MapBiomias (2021) Coleção 6, com ocorrência de 14° C ao norte da FLONA próximo a vegetação de Floresta Ombrófila Densa Submontana (Dse) com dossel emergente.

Em regiões com presença de solo Argissolo Vermelho-Amarelo, e variação de 29° C ao sul, áreas onde estão localizadas extensas fazendas, e que possuem os maiores índices de desmatamento.

Assim como, observa-se ao leste áreas com maiores temperaturas, que podem estar associadas às ações antrópicas, regiões estas de fácil acesso via BR-163, vicinais e Rio Jamanxim, e que estão próximas à vegetação do tipo Dse com biomassa considerável (Figura 16B).

O clima *Ami* no município de Novo Progresso é diferenciado por apresentar precipitação pluviométrica média superior a 2.000 mm ao ano. Ao qual foi identificado área de 925,12 km² de Floresta Ombrófila Aberta, com presença de palmeiras da espécie *Orbignya phalerata* regionalmente conhecido como babaçu, associadas a lianas (cipós), que correspondem a temperatura média mensal de até 29 ° C na FLONA do Jamanxim.

Por fim, a média da precipitação nesta UC indica que os totais pluviométricos atribuídos pela atmosfera ao longo do ano analisado, modificam nas áreas de maior ocorrência de floresta de cipós, com precipitação entre 233 e 315 mm (Figura 16A), a uma temperatura de 22 °C (Figura 16B), e que predomina o clima do tipo “*Ami*” e solo Argissolo Vermelho-Amarelo.

O geossistema do solo e da temperatura, que condicionam a resiliência climática da paisagem, são características homogêneas peculiares em escala regional, e que contribuem com as mudanças de uso da terra na FLONA do Jamanxim e no desenvolvimento das espécies nativas, evidenciando a importância da conservação da biodiversidade e preservação da paisagem.

5.8. MAPAS DE DISTÂNCIAS

As variáveis que envolveram as distâncias dos objetos de análise (estrada, assentamento e hidrografia), resultantes das distâncias euclidianas entre eles e o recorte da área de estudo. A proximidade espacial resultante da distância euclidiana entre os objetos ou da fronteira entre eles, podem ser observados na Figura 17A e Figura 17B. Os valores mínimos e máximos, posteriormente serão utilizados para o cálculo dos pesos de evidência que irá compor o capítulo V da pesquisa.

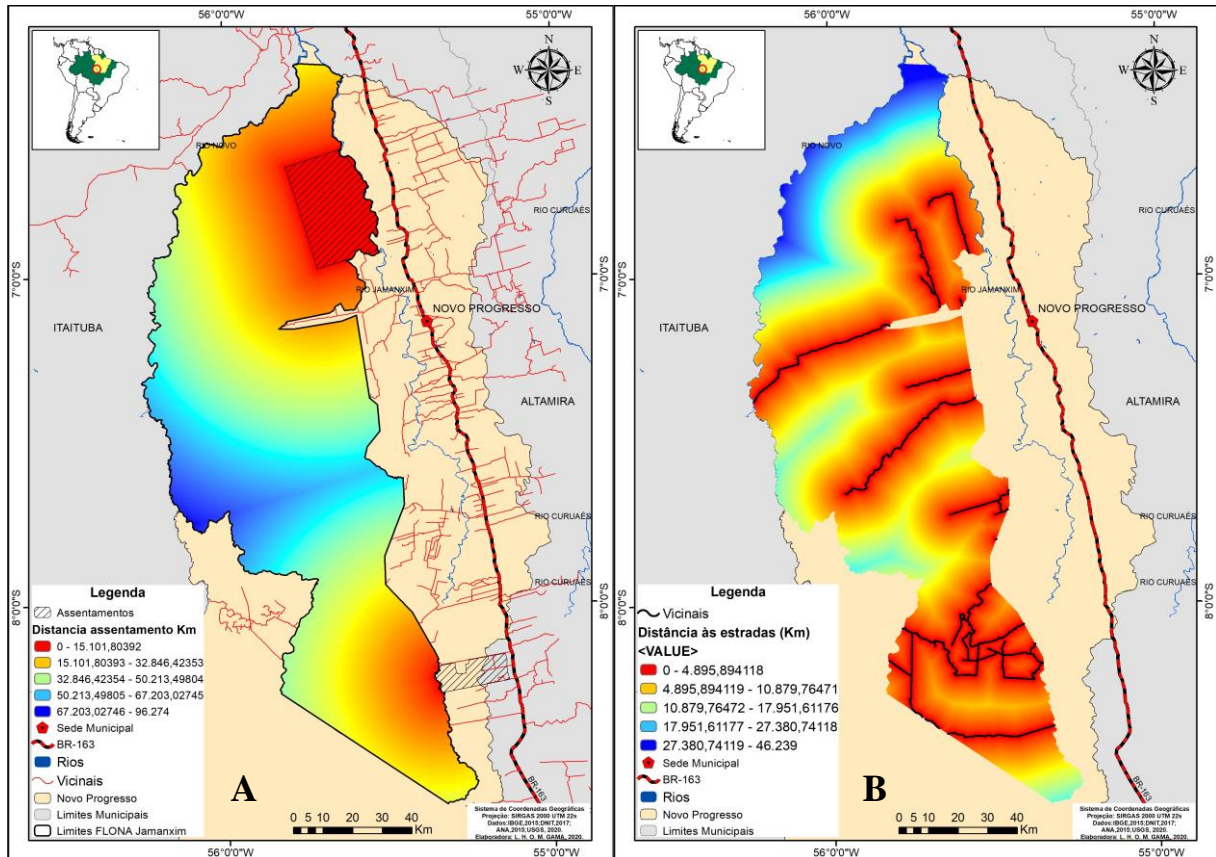


Figura 17 - Mapa de distância à assentamentos (A) e distância às estradas (B)
Fonte: Autora (2022).

A distância à assentamentos (Figura 17A) apresentou valores de distância entre 15.101,80 km a 96.274 km, observa-se que a área que recebe maior influência de ocupações da terra, está no noroeste da FLONA do Jamaxim, localiza-se o assentamento do Projeto Vale do Jamaxim. Segundo a base de dados do INCRA (2017) o mesmo possui área de 89.440,90 hectares, foi criado em 2005 e abriga 411 famílias.

Outra área de influência que configura o espaço pode ser evidenciada ao sul da FLONA, o assentamento nomeado de Projeto PDS Brasília mesmo que não esteja localizado nos limites internos desta unidade de conservação, apresenta influência sobre a mesma, visto que está em área adjacente à floresta (0 a 15.101,80 km de distância), localizado entre a zona de amortecimento e aos municípios de Novo Progresso e Altamira, e a aproximadamente 1.64 km da BR-163. Segundo a base de dados do INCRA (2017) possui 19.936,80 hectares e abriga 340 famílias.

O mapa de distância às estradas (vicinais) apresentou proximidade espacial mínima de 4.985,89 km e máxima de 46.239 km entre os objetos. Sendo mais concentradas ao sul da FLONA e também evidentes ao leste, centro e noroeste da floresta (Figura 17B).

Embora as estradas abram acesso para áreas anteriormente inacessíveis, o Rio

Jamaxim fornecer outra forma de circulação, que para Barber *et al.* (2014) e Silva *et al.* (2020) é um grande potencial de acesso a regiões florestais intocáveis, promovendo a exploração madeireira e o desmatamento.

Na variável distância à hidrografia (Figura 18), os valores mínimos de proximidade espacial foram de 1.057,76 km e máximos de 9.990 km. A sub-bacia do rio Jamaxim (situadas no setor leste e sul) e sub-bacia do Rio Novo localizada no setor nordeste, torna tal unidade de conservação de grande importância para a conservação da biodiversidade, visto que abriga inúmeras nascentes e corpos d'água.

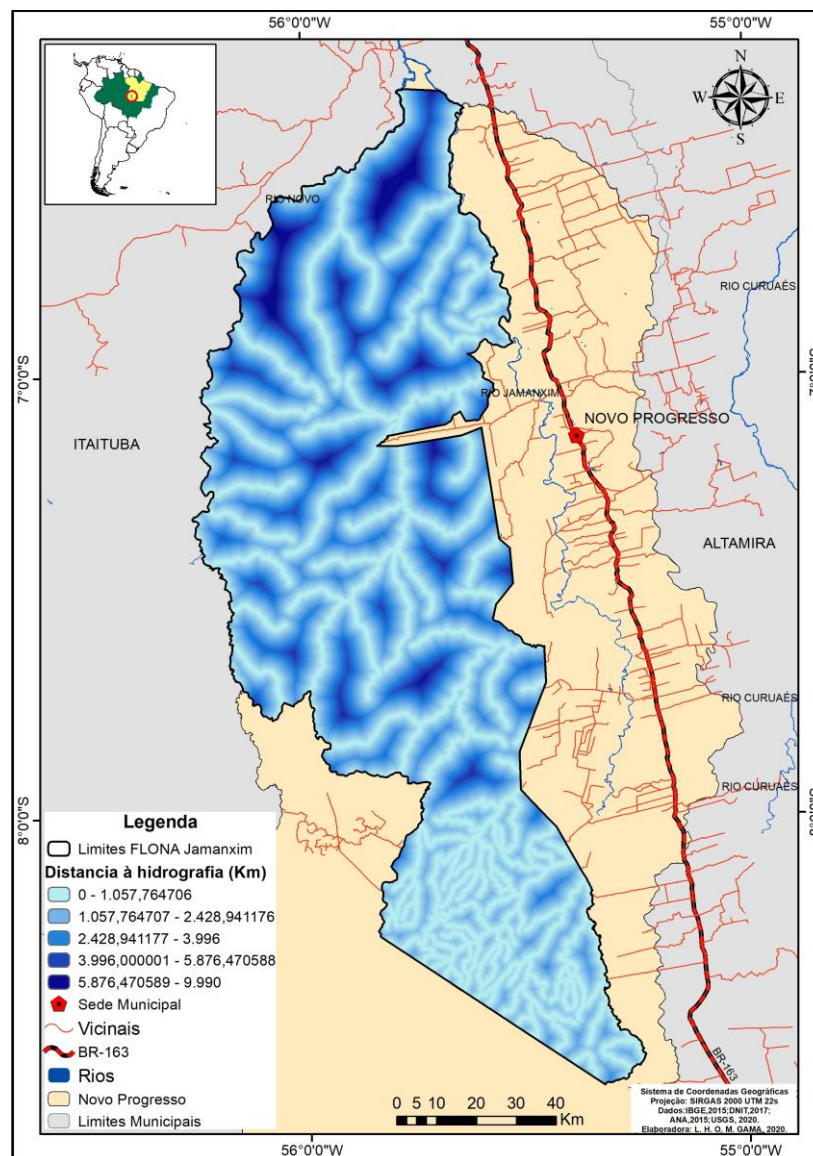


Figura 18 - Mapa de distância à hidrografia

Fonte: Autora (2022).

De modo geral, as variáveis independentes apresentadas, assumem o modelo GTP de Bertrand (1968) para analisar a dinâmica da paisagem, as quais são: altimetria, declividade,

geologia, geomorfologia e distância à hidrografia como potencial ecológico; vegetação e pedologia como exploração biológica; e as variáveis distância de estradas e distância de assentamento como ação antrópica, visto que são essenciais para a análise do geossistema como Complexo Territorial Natural proposto por Beroutchachvili e Bertrand (1978) (Figura 19).

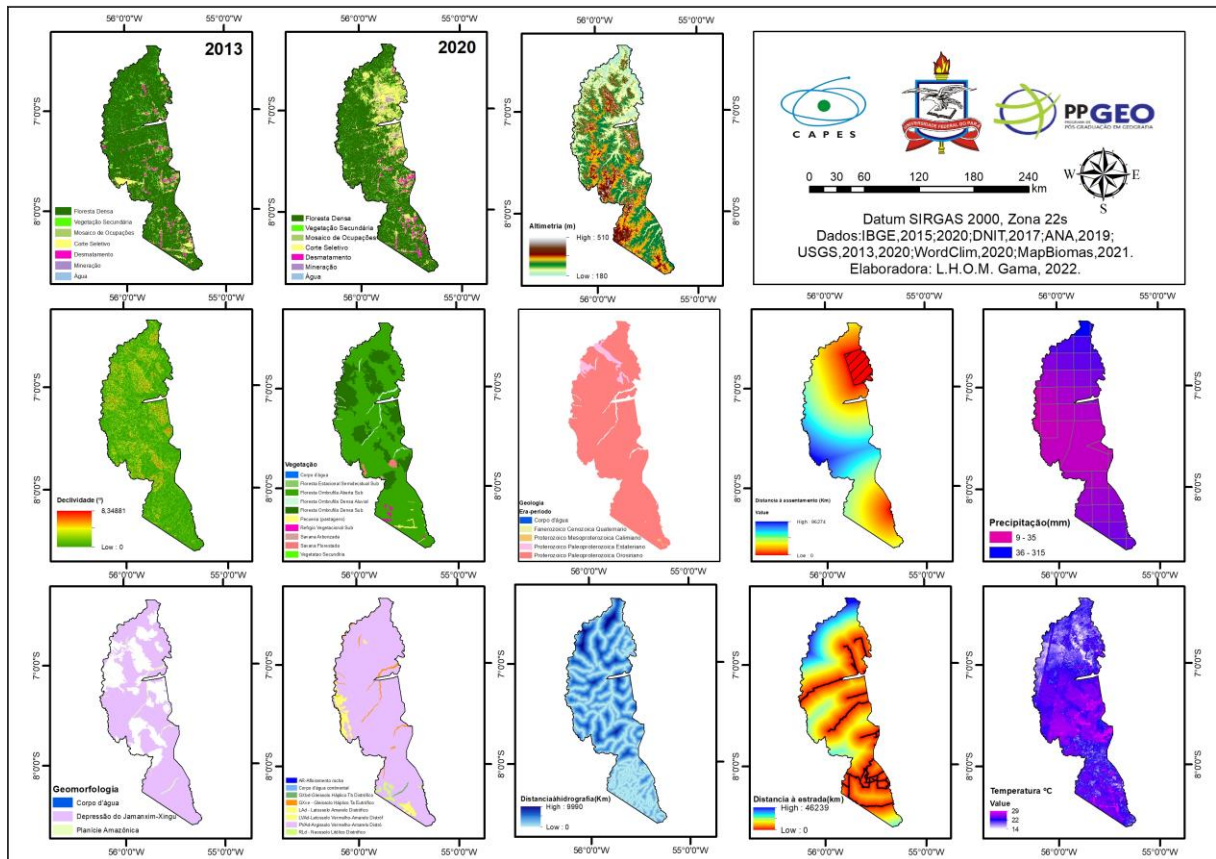


Figura 19 - Mapa de representação geral das variáveis analisadas
Fonte: Autora (2022).

Dessa forma, cada elemento que compõe as estruturas internas do meio natural e heterogêneo, concomitante com os elementos biótico, abióticos e as ações antrópicas, possuem suas peculiaridades, e revelam o processo de formação do território e das dinâmicas econômicas e sociais da paisagem sobre o meio físico.

6. CAPÍTULO V: MODELAGEM DE CENÁRIOS AMBIENTAIS

6.1. MATRIZ DE TRANSIÇÃO

As causas históricas e atuais dos altos índices de desmatamento perduram desde a liberação dos incentivos fiscais (Venturiere, 2007), acarretam marcas da política de colonização do passado, propiciaram forte migração para a Amazônia, ocasionando recorrentes conflitos fundiários devido à ausência de titularidade de terra (Nepstad *et al.*, 2014; Torres *et al.*, 2017; Leite *et al.*, 2018; Pereira *et al.*, 2019), e que retratam a paisagem atualmente, tornando-se desafiador o estudo deste grande “Complexo Territorial Natural” como proposto por Berutchachvili e Bertrand (1978).

Cabe ao pesquisador, o desafio de analisar as particularidades desta região e os cenários ambientais presentes, para intervir em políticas públicas e mitigar impactos socioambientais e econômicos.

Sendo assim, de posse da matriz de transição de passos múltiplos (Luna, 1977; Soares-Filho, 1998), que se refere a taxa anual de transição entre as classes, representando o resultado do cruzamento dos elementos que compõem a paisagem nos anos de 2013 e 2020, e que exibe a quantidades de células em porcentagem, que mudaram de uma classe para outra nesse intervalo de tempo. Foi possível notar as taxas de transições mais significativas (valores destacados em cinza) (Tabela 5).

Tabela 5 – MATRIZ DE TRANSIÇÃO DE PASSOS MÚLTIPLOS EM VALORES PERCENTUAIS

DE/PARA		2020					
		1	2	3	4	5	6
2013	FLORESTA PRIMÁRIA(1)	-	0,12	2,8	0,01	0,28	0
	VEGETACAO SECUNDARIA (2)	0	-	5,71	0	0,71	0
	EXPLORAÇÃO FLORESTAL (3)	0	0,14	-	0,04	0,64	0
	MINERACAO (4)	0	0,08	0,00	-	11,63	0,09
	MOSAICO DE OCUPAÇÕES (DESMATAMENTO) (5)	0,09	0,04	3,71	0,08	-	0,01
	ÁGUA (6)	0	0	0	0,76	0	-

Fonte: Autora (2022).

Dentre estas, estão em ordem crescente: mineração para desmatamento (4 para 5); vegetação secundária para exploração florestal (2 para 3); desmatamento para exploração florestal (5 para 3); floresta primária para exploração florestal (1 para 3); água para mineração (6 para 4); vegetação secundária para desmatamento (2 para 5); exploração florestal para

desmatamento (3 para 5); floresta primária para desmatamento (1 para 5); exploração florestal para vegetação secundária (3 para 2) e floresta primária para vegetação secundária (1 para 2) (Tabela 5).

As taxas indicam que 0,28% da floresta primária foi convertida para mosaico de ocupações (desmatamento) por unidade de tempo (Figura 20). Ou seja, dentro desse período de tempo (de 2013 para 2020), o desmatamento está ocorrendo a uma taxa líquida de 28% ao ano.

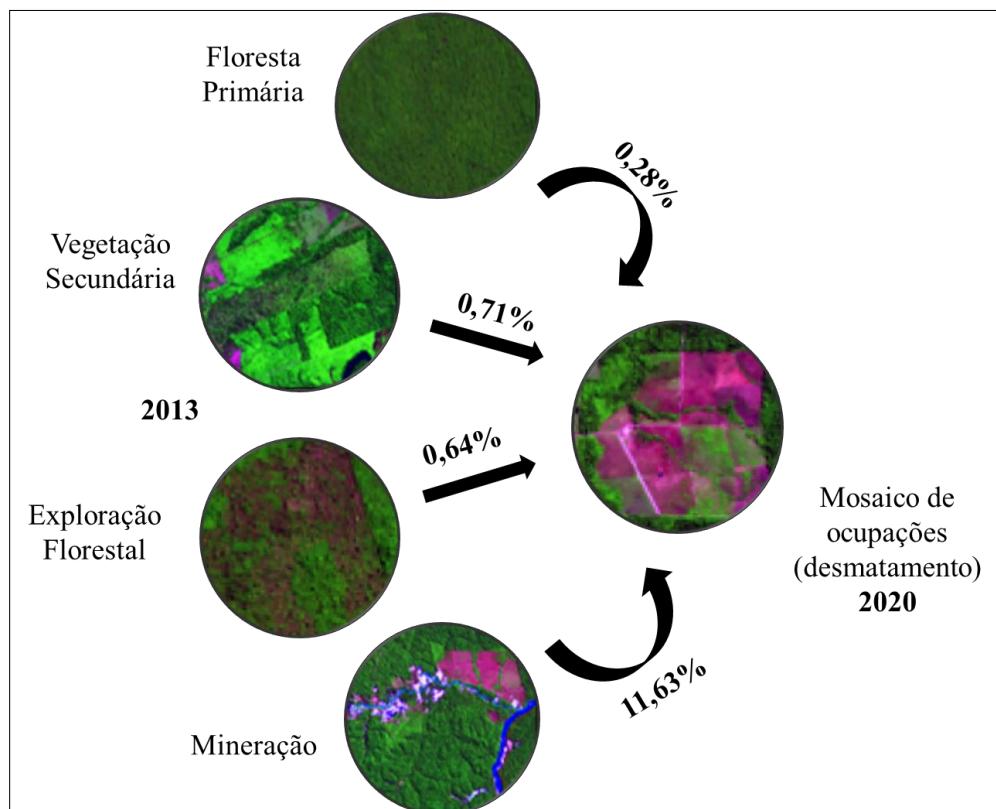


Figura 20 – Percentual de células da paisagem que mudaram para desmatamento de 2013 para 2020
Fonte: Adaptado de Santos et al. (2019).

Além do mais, pode-se perceber mudança significativa de 11,63% da classe mineração para desmatamento, áreas específicas em que foi extraído o minério e posteriormente deixado um padrão de solo exposto às margens dos rios.

Em estudo realizado por Marcuartú *et al.* (2017) verificou-se significativa diminuição inicial da mineração, de 0,64 km² nas áreas após a sua criação, tal resultado colabora com o observado no Plano de Manejo da FLONA do Jamanxim (ICMBIO, 2010), em que foram comprovados somente 51 domicílios (barracos) nos garimpos, apontando tal declínio.

Todavia, apesar de ser observado diminuição da classe mineração, sabe-se que a atividade de extração mineral causa impactos severos ao meio ambiente, podendo causar

contaminação do leito do rio por mercúrio, e acúmulo de sedimentos às margens dos rios ocasionando assoreamento, além de contaminar o ser humano que se alimenta de peixes e mariscos que habitam no meio, evidenciando que os rios são indicadores de desmatamento (Silva *et al.*, 2020).

Outra mudança observada, é a de 0,71% de vegetação secundária que foi convertida para desmatamento. E 0,64% da classe exploração florestal para desmatamento (Figura 20), tal processo se inicia a partir da abertura de trechos rodoviários para acesso às áreas que possuem madeira nobre (com valor comercial alto) que são extraídas, e posteriormente é feita a derrubada da floresta remanescentes, é ateadado fogo para a limpeza do pasto e criação do gado no interior da UC (Torres *et al.*, 2017; Monteiro, 2019).

De modo geral (Figura 20), tais resultados apontam que, a área de floresta primária e de vegetação secundária da FLONA do Jamanxim diminuiu a uma taxa total de 0,99% ao ano, áreas estas que foram convertidas para desmatamento.

A transição de vegetação secundária para exploração florestal, no valor de 5,71% (Tabela 5), justifica-se por ser considerada uma floresta descaracterizada - floresta onde foi realizado o aproveitamento de madeira através de corte seletivo para uso alternativo, dando aspecto de florestas abertas e florestas de cipós (IBAMA, 1991).

Esta UC é caracterizada atualmente por aspectos que expressam a relação homem/natureza, e simbolizam o denominado “Complexo Territorial Natural” proposto por Berutchachvili e Bertrand, composto por estruturas sociais, econômicas e culturais, e são marcados pelo material abundante na região, que é a floresta de cipós.

Tal aspecto retrata o marco inicial de ocupação do território por indígenas nas proximidades do rio Jamanxim. Visto que, no interior da FLONA do Jamanxim, a tipologia vegetal apresenta-se com alta ocorrência de cipós em evolução. Este material era utilizado para carregar produtos agrícolas pelos povos indígenas, ao qual deu origem ao nome da FLONA de Jamanxim, e que perdura até a atualidade.

Além disso, o cipó na FLONA do Jamanxim está entre os 15 produtos com maior potencialidade de comercialização, material este não ligado à exploração madeireira, considerado matéria-prima especificamente regional e de extração sustentável dos recursos naturais (Monteiro, 2019).

6.2. PROBABILIDADES DE TRANSIÇÃO DA PAISAGEM

Verificou-se nesta UC, que nenhum valor ultrapassou 0,50 tanto para o índice

Cramer quanto para o índice de Incerteza de Informação Conjunta, alcançou aproximadamente 0.27 e 0.13 respectivamente (Figura 21).

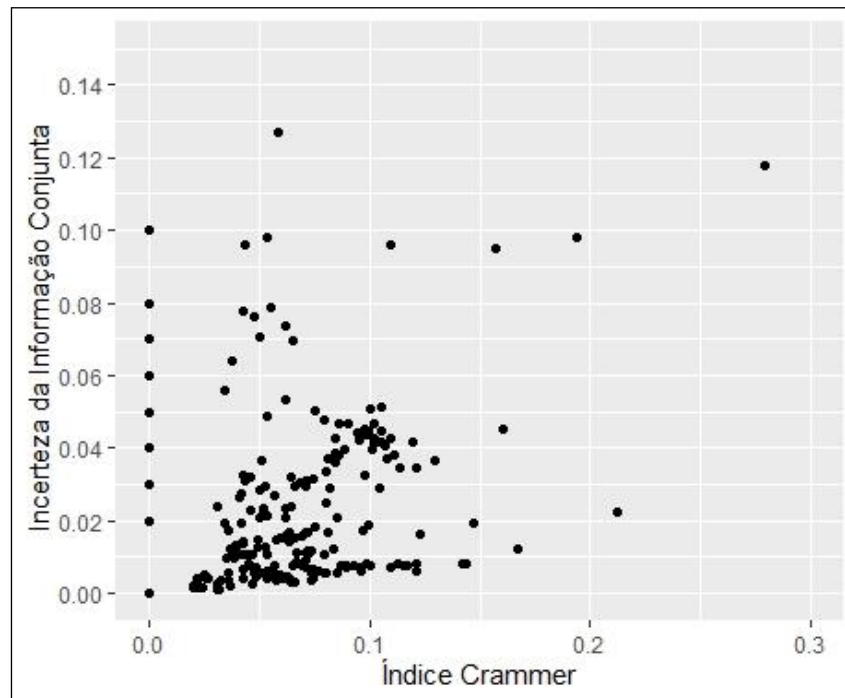


Figura 21 – Correlação entre os pesos de evidência
Fonte: Autora (2022).

Os resultados ratificam que valores inferiores a 0,50 em tais índices, indicam associação significativa entre os pares de variáveis, que demarcam áreas mais favoráveis às mudanças, e que são representadas pelos mapas de probabilidade (Bonham-Carter, 1994; Soares-Filho *et al.*, 2007).

Dentre os mapas de probabilidade, foram selecionados para discussão aqueles que apresentaram tendência de transição, as quais são: mapa de probabilidade de transição floresta primária para desmatamento (Figura 22A); e probabilidade de transição de exploração florestal para desmatamento (Figura 22B).

Observa-se que há alta probabilidade de transição de floresta primária para desmatamento e de exploração florestal para desmatamento ao norte e ao sul da FLONA do Jamanxim (área em vermelho), que podem estar associadas a implantação das estradas, neste caso a BR-163 e instalação de projetos de assentamentos de imóveis rurais.

Silva *et al.* (2020) afirma que no ano de 2019, a rodovia BR-163 que faz o cruzamento de norte a sul, influencia o aumento do desmatamento em áreas vizinhas à FLONA, e que a região está sob influência da Rodovia Transgarimperira que liga a BR-163 às regiões de mineração no Oeste.

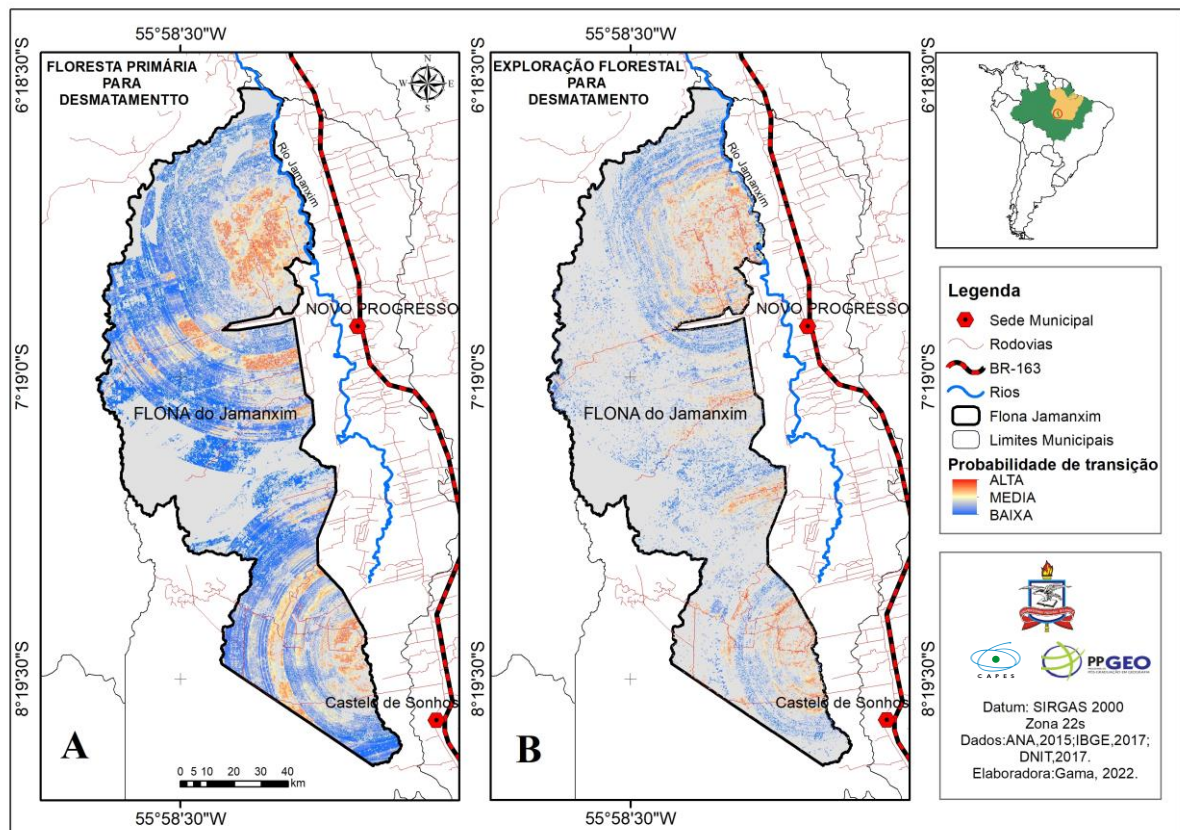


Figura 22 – Probabilidades de transições da paisagem (2013/2020)

*Floresta primária para desmatamento (A); Exploração florestal para desmatamento (B)

Fonte: Autora (2022).

Constata-se ainda, que os trechos rodoviários que dão acesso aos projetos de assentamentos, evidenciam que ao sul da FLONA do Jamanxim, as mesmas foram abertas em função da estrada principal (BR-163), e atravessam horizontalmente esta UC. Conseqüentemente, tais objetos implantados sem planejamento, podem causar impacto direto à fauna silvestre e à flora local, afetando a resiliência climática da paisagem e dos serviços ecossistêmicos naturais da região.

Assim como, em todas as áreas que apresentam alta probabilidade de ocorrência de desmatamento, estão coincidindo com os trechos rodoviários no interior da FLONA do Jamanxim, ratificando que as rodovias exercem grande influência para o aumento acelerado do desmatamento, por facilitar o acesso e traslado de pessoas e recursos.

Nesse caso, segundo Beroutchacvili e Bertrand é exposto um processo de territorialização do meio natural, a dinâmica espacial e as relações de ocupação interpretam a paisagem e sua ordenação desigual, e os atores sociais envolvidos, que ocupam o geossistema e usufruem dos recursos naturais, se fixam na paisagem e se manifestam através dos padrões de ocupação nesta UC, ocasionando maior probabilidade de mudanças neste geossistema.

Além do mais, levando em consideração o pensamento de Santos (1996), ao analisar

os grandes sistemas de objetos que configuram a paisagem e que modelam estas áreas em fluxos e fixos da economia, observa-se um viés de informações: de cunho econômico, político, regional, e de poder de território.

Visto que, o escoamento de *commodities* nessa região ao longo do tempo, no decurso da BR-163 que vai de Cuiabá à Santarém, fortalece o agronegócio e ocasiona o desmatamento e consequentemente a desigualdade social. Possibilitando assim, analisar a paisagem na ótica Bertrandiana que vai além dos cenários, considerando a organização global, constituída por natureza e sociedade e entendida por meio do geossistema.

Os resultados analisados podem estar associados à retirada de madeira, e consequentemente tais regiões são convertidas para áreas desmatadas. A exploração madeireira ilegal supria serrarias, que destinavam o recurso explorado para o comércio nacional via Mato Grosso, e além disso, parte da madeira era vendida e exportada via Santarém (ICMBIO, 2010).

Tais observações, retratam períodos históricos de ocupação da FLONA do Jamanxim, desde as primeiras leis criadas para demarcação de terra. Bem como, expressam atualmente a disposição pública de terras que variam de acordo com a política agrária do país, e que judicialmente se apresentam sem direito de propriedade (Tupiassu *et al.*, 2017).

A governança ambiental do Brasil sempre foi foco do agronegócio e da frente parlamentar mineira, no ano de 2012 esse embate e com a queda do desmatamento, foi proposto revisões no Código Florestal, que diminuiu drasticamente a proteção ambiental, assim como, tornou flexível a legislação que regulamenta o uso da terra e gestão em propriedade privada, concedendo anistia para proprietários de áreas ilegalmente desmatadas anteriormente (Soares-Filho *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2020).

A aprovação do Novo Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012) transformou-se em um ponto de mudanças na tendência das diminuições das taxas de desmatamento, que posteriormente voltaram a subir (INPE, 2019; Silva *et al.*, 2020).

Além disto, o acelerado aumento da demanda por recursos hidrelétricos e minerais pressionou as áreas protegidas, ao qual foi proposto medidas legislativas para abrir áreas para concessões de mineração, além de embargar novos espaços protegidos em regiões de alto potencial mineral ou hidrelétrico (Silva *et al.* 2020).

Diante do que foi abordado, analisando os pesos de evidência representados na Figura 23, dado a evidência das variáveis expostas. Observa-se que, na FLONA do Jamanxim as variáveis que apresentaram maior influência e tendência às mudanças de floresta primária para desmatamento são: distância à assentamento, distância à estradas e distância à

hidrografia.

Na Figura 23, a variável assentamento apresenta alta probabilidade de propagação de desmatamento à uma distância entre 75.000 e 87.500 km, variável de maior influência, que provavelmente está relacionadas as atividades econômicas desenvolvidas nesta área; consecutivamente a variável estrada apresenta maior probabilidade de mudança de floresta primária para desmatamento a uma faixa de 37.500 a 50.000 km de distância; e em seguida a hidrografia apresenta probabilidade de mudanças em uma área de até 12.500 km.

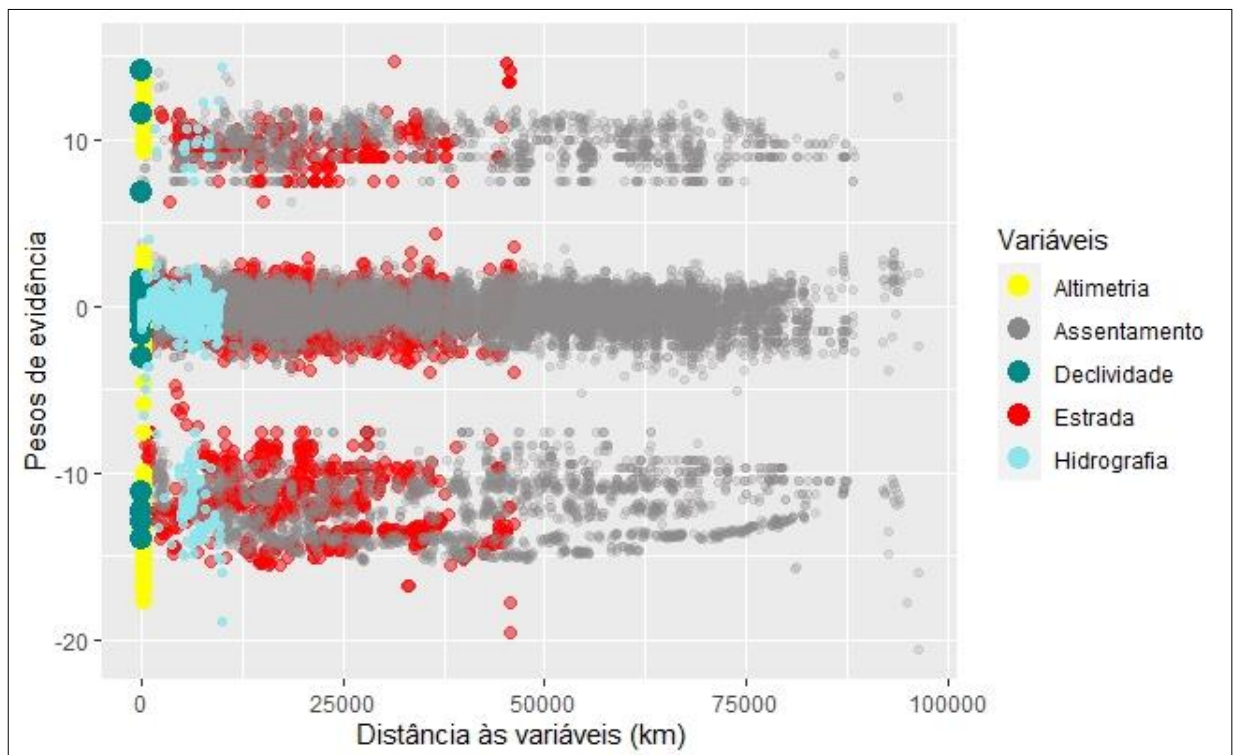


Figura 23 – Áreas propícias às mudanças de floresta primária para desmatamento dado a evidência das variáveis (km)

Fonte: Autora (2022).

Já referente às variáveis altimetria e declividade, é mais provável localizar áreas desmatadas em até 1 km de distância nos limites da FLONA do Jamaxim, com base nos dados levantados (Figura 23).

De modo geral, observou-se que a perda da floresta primária até o ano de 2030, pode ocorrer em declives moderados inferiores a $8,34^\circ$, e altitudes entre 180 e 510 metros, em áreas de ocorrência de Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, e com distância de até 1 km em área consolidada, resultante das ações antrópicas.

Dessa forma, nota-se que a maioria das áreas desmatadas na FLONA do Jamaxim, estão posicionadas próximo às estradas, assentamentos ou rios com rota de fácil acesso, tais variáveis são consideradas indicadores potenciais de desmatamento, e podem ser utilizadas

para a elaboração de políticas públicas nesta região.

6.3. VALIDAÇÃO DO MODELO

Observa-se na Figura 24 que a mínima similaridade de 0,5 na FLONA do Jamanxim está entre as janelas com resolução de 3x3 e 5x5, com valores 0,52 e 0,58 respectivamente, o que está dentro dos critérios descritos no item 4.64. Assim como, o modelo alcançou o valor de 0,73 na janela 11x11.

Conforme sugerido por Hagen (2003), Almeida *et al.* (2008) e Soares-Filho *et al.* (2013), com esse resultado, pode-se afirmar que a simulação atingiu um valor acima de 50% de similaridade entre as paisagens.

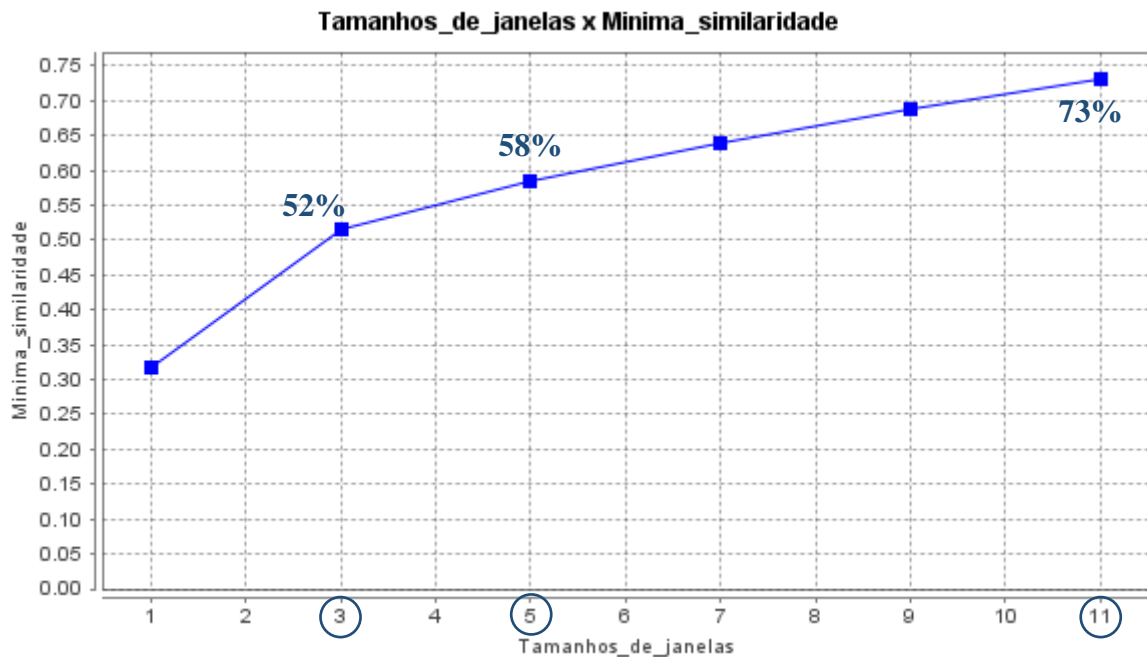


Figura 24 – Similaridade da paisagem
Fonte: Autora (2022).

Todavia, tais valores são considerados satisfatórios para a validação de uma classificação, indicando que a área que compõe a FLONA do Jamanxim com 13.078,16 km², 73% das células da paisagem simulada são exatamente iguais ao da paisagem de referência do ano de 2020.

6.4. CENÁRIOS DE DESMATAMENTO NA FLONA DO JAMANXIM ATÉ 2030

As projeções de desmatamento na FLONA do Jamanxim sob cenários futuros exibem trajetórias específicas de cobertura e uso da terra. Através do prognóstico gerado, foi possível

analisar as mudanças na paisagem representada por cada classe de 2021 até 2030 (Figura 25).

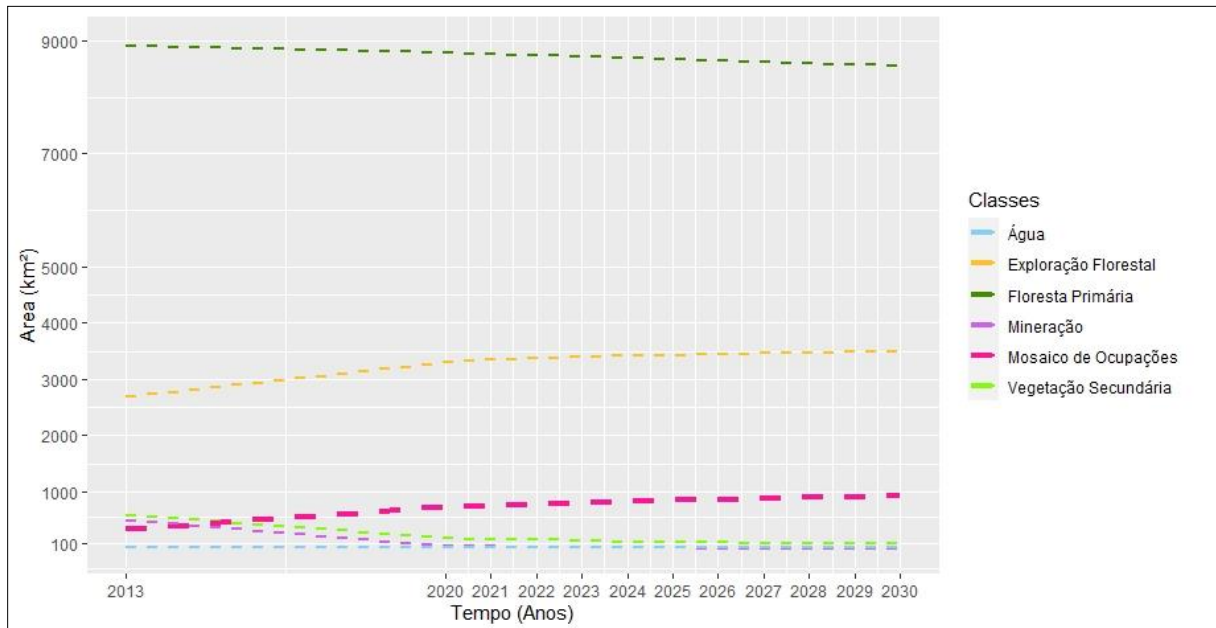


Figura 25 – Projeção de desmatamento e cenários futuros para a FLONA do Jamanxim até 2030
Fonte: Autora (2022).

O cenário gerado apresenta perda de 198,79 km² da classe floresta primária no período de 10 anos, e perda florestal total de 1,52% até o ano de 2030. Assim como, provavelmente haverá perda de 77,38 km² de vegetação secundária; 28,31 km² da classe mineração e 0,53 km² de água (Figura 26).

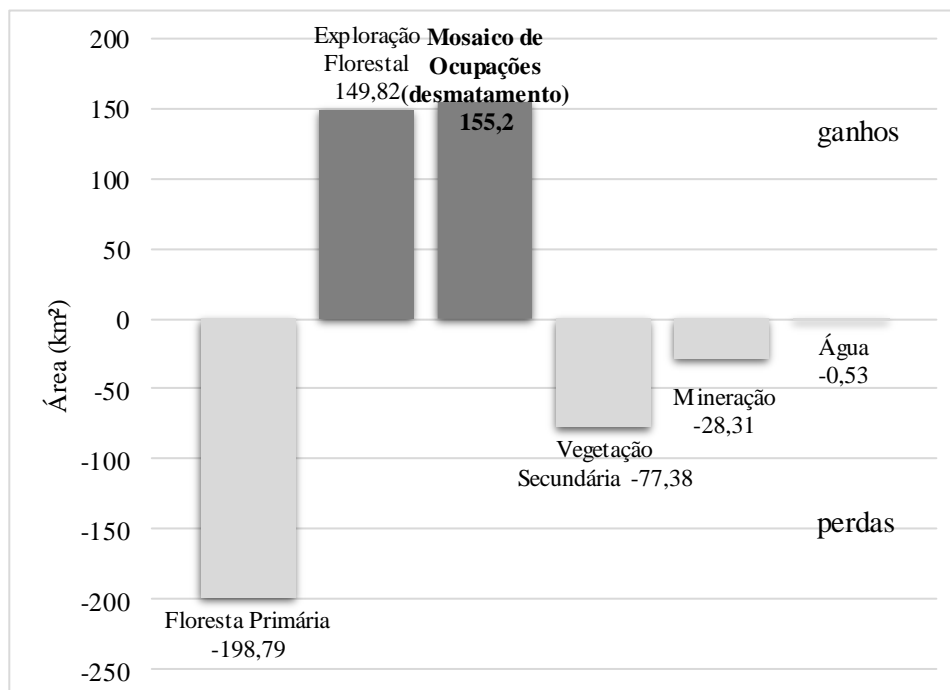


Figura 26 - Perdas e ganhos de cobertura e uso da terra na FLONA do Jamanxim de 2021 a 2030
Fonte: Autora (2022).

Tais modelos são bastante utilizados para simular as trajetórias de uso da terra, bem como, avaliar os impactos de trajetórias futuras de desmatamento sob diversos cenários sociais, econômicos e cenários de políticas públicas, para aferir perda de serviços ambientais e bens econômicos (Soares-Filho *et al.*, 2006; Fearnside *et al.*, 2009; Soares-Filho *et al.*, 2010; Suarez e Soares-Filho, 2013; Barni *et al.*, 2014; Paula, 2019; Pinheiro *et al.*, 2020b; Gama *et al.*, 2021).

Por outro lado, a tendência prevista de desmatamento e exploração florestal, apresentam aumento considerável de 155,2 km² e 149,82 km² respectivamente (Figura 26).

Para Soares-Filho *et al.* (2005), a implantação e pavimentação de estradas são consideradas determinantes dos futuros padrões de desmatamento na Amazônia, a pavimentação de 700 km da BR-163 que perdura até os dias atuais, e que divide o Pará com o Mato Grosso até o porto de Itaituba, acarretados por interesses econômicos de tal projeto que visa interligar a região produtora de soja do Mato Grosso à portos internacionais.

O asfaltamento de rodovias planejadas (Sousa Junior, 2018) e não planejadas incentiva na ampliação da fronteira agrícola e da exploração madeireira (Torres *et al.*, 2017; Monteiro, 2019), o que pode transformar áreas de florestas nativa em grandes áreas de pastagem e terras agrícolas, e conseqüentemente perda dos serviços ecossistêmicos e perturbação da resiliência da paisagem.

Historicamente, o Pará lidera o ranking de desmatamento na Amazônia Legal, com 162.631,00 km² de área desmatada, equivalente a 34,57% de taxas de desmatamento acumulado, com taxa estimada de 5.257,00 km² até 2021 (INPE, 2022). Na FLONA do Jamanxim o incremento de desmatamento chega a alcançar área de 190,02 km² neste mesmo período (INPE, 2022).

Além do mais, o desmatamento pode causar redução da resiliência climática em diferentes escalas, e redução regional dos níveis de precipitação, redução de 25% do carbono até 2050 em unidades de conservação (Soares-Filho *et al.*, 2008; Soares-Filho *et al.*, 2010; Marengo e Souza Junior, 2018).

O desmatamento em áreas protegidas na Amazônia em conjunto com a degradação florestal, perturbação natural e remoção de CO₂ (dióxido de carbono), armazenam 56% do carbono terrestre, por ser detentora de áreas com extensas de florestas (MMA, 2019), moeda utilizada no mercado de carbono.

Os dados levantados, apontam para o aumento considerável do desmatamento ao norte e ao sul da FLONA do Jamanxim até o ano de 2030 (Figura 27), áreas estas próximas ao assentamento PDS Brasília e Vale do Jamanxim.

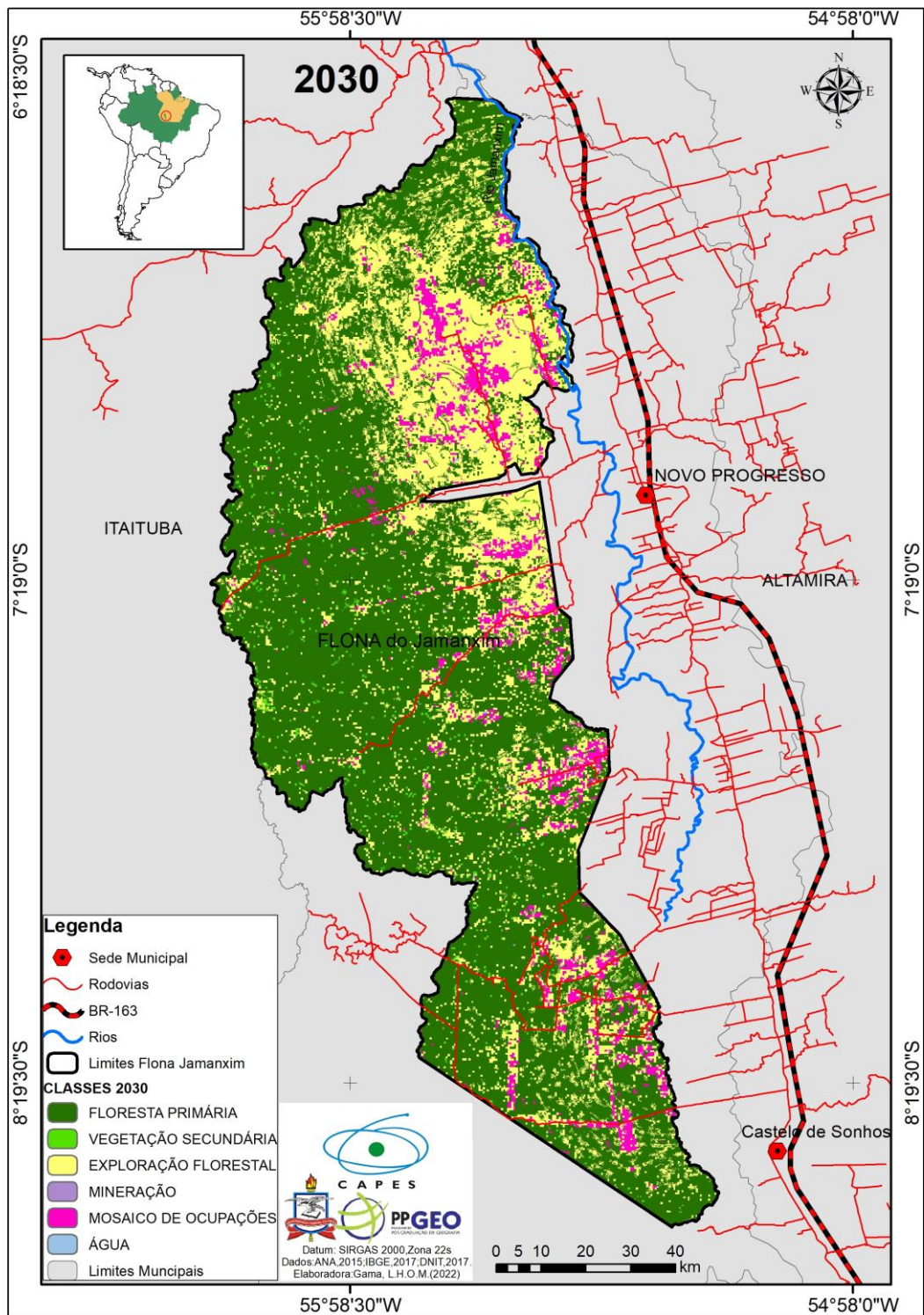


Figura 27 – Mapa de cobertura vegetal e uso da terra simulado para o ano de 2030 na FLONA do Jamanxim
 Fonte: Autora (2022).

Ao centro da FLONA do Jamanxim, observa-se áreas prioritárias para melhor conservação da floresta primária, constata-se um corredor de floresta nativa, que podem ser consideradas áreas específicas para a manutenção e conservação da biodiversidade e dos

recursos naturais que compõem a paisagem, e no seu entorno, pode-se estabelecer planos de gestão – comando e controle de zonas estratégicas para a fiscalização e contenção do desmatamento.

Diante do que foi abordado, ao longo dos anos analisados, neste caso até o ano de 2030, as áreas mais sujeitas ao desmatamento coincidiram com as terras assentadas, áreas próximas à estradas e hidrografia, que segundo Silva *et al.* (2020) configuram os intitulados corredores de expansão do desmatamento.

Segundo dados do INPE (2020) e IBGE (2020), na Amazônia Legal desde o ano de 2010, ocorreu inversão nas curvas do PIB referente ao desmatamento. Desta forma, observa-se que quando o desmatamento diminui, o PIB *per capita* aumenta (Santos, Salomão e Veríssimo, 2021) (Figura 28).

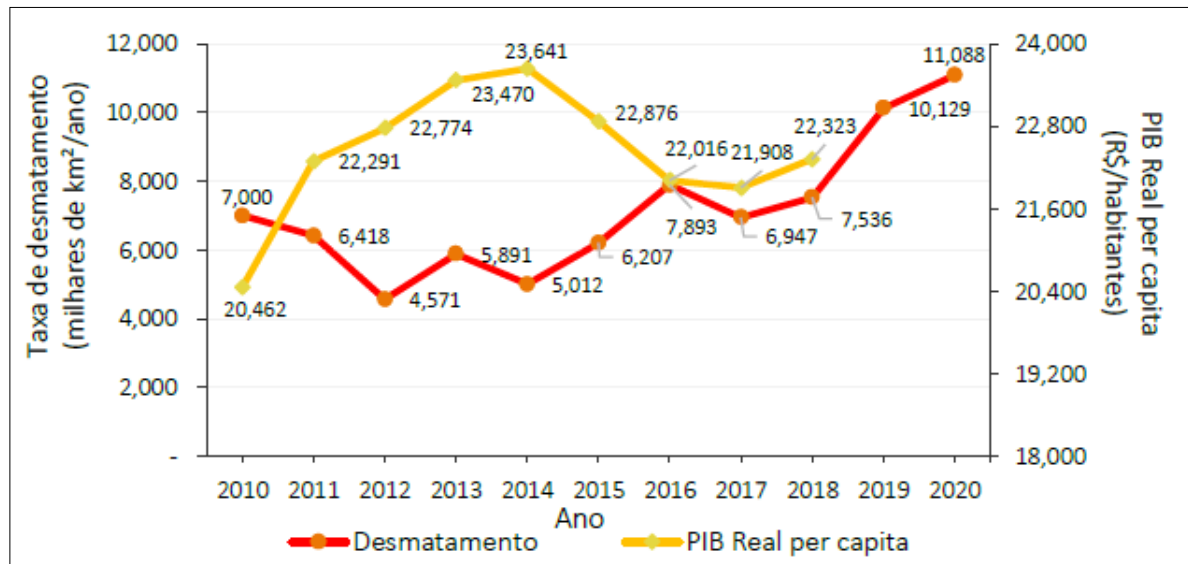


Figura 28 – Índices de desmatamento e PIB Real *per capita* na Amazônia Legal de 2010 a 2020
Fonte: INPE, IBGE, BCB (2020); Santos, Salomão e Veríssimo (2021).

Analisando a paisagem na ótica de Beroutchacvili e Bertrand, constata-se que o desmatamento não gera nenhum ganho ambiental e nem social, pelo contrário, o desmate causa pobreza e acarreta desigualdade social e trabalho escravo.

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal em Novo Progresso é de 0.673 até a última atualização (IBGE, 2022), este valor é considerado como nível de eficiência médio referentes a educação, longevidade e renda (IBGE, 2010), e PIB *per capita* R\$ 27.175,33 reais até o ano de 2019 (IBGE, 2022).

Além do mais, a distribuição do IPS Amazônia em 2021 é desigual entre os municípios. Dentre estes, na região que está situada a rodovia BR-163 no Pará, por exemplo,

em Novo Progresso, apresentam baixas pontuações para essa dimensão – pior IPS, apresentando o valor de 48,03 em 2014, e 57,60 em 2021, e está entre os municípios que mais desmatam na Amazônia, representando 44% da do território amazônico, 30% da população e apenas 18% do PIB regional (Santos *et al.*, 2021).

Diante do exposto, à nível local precisa-se criar resiliência da paisagem, e o que ocasiona tal resistência é a floresta primária em pé. A Amazônia efetiva função umidificadora em virtude da transpiração da floresta, uma mata em pé de grande porte pode bombear de 300 a 500 litros de água na atmosfera por dia, um total de 20 bilhões de litros de água diariamente (IPAM, 2021). O desmatamento e a substituição da floresta e sua paisagem local por outras atividades, podem acarretar impactos significativos ao meio ambiente, à sociedade e à economia regional e global.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Floresta Nacional do Jamanxim apresentou significativas mudanças de cobertura e uso da terra entre os anos de 2013 a 2020. Observou-se aumento representativo da classe exploração florestal de 612,32 km², equivalente a 4,68% de retirada de madeira de forma desordenada e/ou planejada, e aumento de área de 392,29 km² da classe mosaico de ocupações (desmatamento), referente a 3%, as quais podem estar associados a criação de gado e exploração madeireira, que são atividades de grande impacto ambiental.

Assim como, houve de redução de área de 112,51 km² de floresta primária (0,87%), e das classes mineração 472,54 km² (3,61%) e vegetação secundária 420,52 km² (3,22%), visto que é uma área com grande influência do garimpo do ouro, e que persiste com atividades que vão contra os objetivos de unidade de conservação de uso sustentável.

Foi possível observar um padrão de ocupação do tipo geométrico regular na FLONA do Jamanxim, assim como, possibilitou apontar áreas de floresta que podem ser preservadas ao centro, ao oeste e na porção norte desta UC.

Referente à modelagem espacial e projeções futuras na FLONA do Jamanxim, observou-se um cenário de desmatamento e exploração florestal com aumento considerável de 155,20 km² e 149,82 km² respectivamente, até o ano de 2030.

O desmatamento vem se acumulando desde o início do processo de regularização fundiária, juntamente com a implantação de estradas e asfaltamento, o interesse de exportação de *commodities* e fortalecimento econômico do agronegócio, que configuram a paisagem atual e projeta cenários futuros de desmatamento para esta região.

O cenário de desmatamento gerado apresenta perda de 198,79 km² da classe floresta primária no período de 10 anos, e perda florestal total de 1,52 % até o ano de 2030. Assim como, provavelmente haverá perda de 77,38 km² de vegetação secundária e 0,53 km² de água nos limites desta UC, conseqüentemente perda de fauna e flora, ocasionando redução e perturbação da resiliência da paisagem e diminuição dos níveis de precipitação em escala regional e global.

A FLONA do Jamanxim é caracterizada atualmente por aspectos que expressam a relação homem/natureza, e simbolizam o intitulado “Complexo Territorial Natural” proposto por Berutchachvili e Bertrand. Foi possível notar, que esta UC é composta por estruturas sociais, econômicas e culturais, evidenciadas pela presença do material abundante na região, que é a floresta de cipós.

Contatou-se ainda, que a maioria das áreas desmatadas na FLONA do Jamanxim, estão posicionadas próximo às estradas, assentamentos ou rios com rota de acesso, tais variáveis são consideradas indicadores potenciais de desmatamento.

Levando em consideração os índices de desmatamento e as taxas do PIB *per capita*, aponta-se que o desmatamento não produz nenhum ganho ambiental e nem social, pelo contrário, o desmate causa pobreza e acarreta desigualdade social.

Tal análise juntamente com as técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, apresentam-se como primordiais para mapear a superfície terrestre e as mudanças na paisagem, podem apoiar no planejamento, gestão e elaboração de políticas públicas para ação governamental nesta área protegida, que é de grande importância para a manutenção da fauna e flora.

Diante do exposto, para combater esta realidade de exploração da floresta e de desmatamento, faz-se necessário a implantação de projetos de restauração ou recuperação das áreas de floresta que foram degradadas; elaboração do plano de comando e controle desta UC; atualização do plano de prevenção e controle de desmatamento; elaboração de políticas públicas que atendam as peculiaridades da FLONA do Jamanxim; elaboração de estratégias que levem em consideração os indicadores ambientais, sociais e econômicos, e que efetivem metas e efetuem a rastreabilidade dos *commodities*; assim como, é indispensável a fiscalização intensiva e monitoramento integrado nesta unidade de conservação de grande importância para a conservação ambiental e para o desenvolvimento social e econômico.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ab'Saber, A. N. 1974. *O domínio morfoclimático das caatingas brasileiras*. *Geomorfologia*, (43):1-39.

_____. 2003. *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. 7.ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 9-26p.

Alencar, A. A.; Brando, P. M.; Asner, G. P.; Putz, F. E. 2015. *Landscape fragmentation, severe drought, and the new Amazon forest fire regime*. *Ecological Applications*, [S.L.], v. 25, n. 6, p. 1493-1505. <http://dx.doi.org/10.1890/14-1528.1>

Almeida, C. M.; Camara, G.; Monteiro, A. M. V.; Soares-Filho, B. S.; Cerqueira, G. C. 2007. *Modelos celulares de Dinâmicas Espaço-Temporais: Aplicações em Estudos Urbanísticos*, in *Geomática: modelos e aplicações ambientais*. Editado por Meireles, M. S. P., Camara, G., Almeida, C. M. De. Brasília, DF: Embrapa informações tecnológicas, 593p.

Almeida, C. M., Gleriani, J. M., Castejon, E. F., Soares-Filho, B. S. 2008. Using neural networks and cellular automata for modelling intra-urban land-use dynamics. *International Journal of Geographical Information Science*, Londres, 22 (9), 943-963. <https://doi.org/10.1080/13658810701731168>

Almeida, A. S. & Vieira, Ima C. 2014. *Conflitos no uso da terra em Áreas de Preservação Permanente em um polo de produção de biodiesel no Estado do Pará*. Land use conflicts in Areas of Permanent Preservation in a biodiesel production area in the State of Pará, Brazil. *Revista Ambiente e Água*, n. 9 (3). <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1410>

Almeida, A. S. de. 2015. *Mudanças de uso da terra em paisagens agrícolas com palma de óleo (Elaeis guineensis Jacq.) e implicações para a biodiversidade arbórea na Amazônia Oriental*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Universidade Federal do Pará. Belém.

Alves, N.; Fernández-Calvo, B.; Aznar-Casanova, J.; Campos Neto, A.; Santos, N. 2014. *The Use of Programming Languages and Computer Software in Psychological Science*. *Trends in Psychology*. *Temas em Psicologia*, 22 (3):603-612.

Araújo, E.; Barreto, P.; Baima, S.; Gomes, M. 2017. *Unidades de conservação mais desmatadas da Amazônia Legal (2012-2015)*. Belém do Pará: Imazon. 92p.

Aragão, L.; Fogaça, T.; Carrani, P. & Caneparo, S. 2015. *Geoprocessamento Aplicado à Seleção de Áreas para Implantação de Parques Urbanos na Bacia do Rio Verde/PR*. *Geoprocessing Applied to the Selection of Areas for Creation of Urban Parks in Rio Verde Basin – PR*. *Geografia – Londrina* 24 (1):19-38.

Arima, E.Y.; Barreto, P.; Araujo, E.; Soares-Filho, B. 2014. *Public policies can reduce tropical deforestation: Lessons and challenges from Brazil*. *Land Use Policy* (41): 465-473.

Barber, C.; Cochrane, M.; Souza Junior, C.; Laurance, W. 2014. *Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon*. *Biological Conservation*, (177):203-209.

Barni, P. E.; Fearnside, P. M.; Graça, P. M. L. A. 2014. *Simulating Deforestation and Carbon Loss in Amazonia: Impacts in Brazil's Roraima State from Reconstructing Highway BR-319 (Manaus-Porto Velho)*. *Environmental Management* (55):259-278.

_____. 2018. *Simulando desmatamento e perda de carbono na Amazônia: impactos no Estado de Roraima devido à reconstrução da BR-319 (Manaus – Porto Velho)*. In: Oliveira SKS, Falcão MT (eds.) *Roraima: Biodiversidade e Diversidades*. Editora da Universidade Estadual de Roraima (UERR), Boa Vista, Roraima, 154-173p.

Barros, R. A. & Barbosa, R. S. 2015. *Unidades de Conservação: Um estudo sobre os impactos ambientais resultantes da extração de madeira da Reserva Biológica do Gurupi-MA. Inter- Espaço. Revista de Geografia e Interdisciplinaridade* 1 (2):270-292.

Becker, E. L. S. 2006. *História do Pensamento Geográfico*. Santa Maria: Centro Universitário Franciscano, 112p.

Becker, B. K. 2015. *Espaço e Desenvolvimento Desigual: uma percepção da década de 1970*. In: VIEIRA, I. C. G. *As Amazônias: ensaios sobre geografia e sociedade na região amazônica* 1. 1ed. Rio de Janeiro: Garamond, 520p.

Bezerra, G. S. C. L.; Carvalho, R. M. C. M. O.; Lyra, M. R. C. C.; Frutuoso, M. N. M. A.; Brandão, S. S. F. 2018. *Política Pública e o desafio da participação social na gestão de unidades de conservação*. *Holos* 06 (34):117-129.

Beroutchacvili, N. L. & Bertrand, G. 1978. *Le Géosystème ou Système territorial naturel*. *Revue Géographique des Pyrénées et du sud-ouest*. Toulouse, 167-180p.

Bernardes, A. 2020. Milton Santos: Os conceitos geográficos e suas concepções. *Revista Formação*, v. 27, n. 50, jan/abr, 275-299p.

Bertrand, G. 1968. *Paysage et géographie physique globale: esquisse méthodologique*. *Revue géographique des Pyrénées et sud-ouest* 39 (3):249-272.

_____. 1971. *Paisagem e geografia física global: um esboço metodológico*. *Revista IGEOG/USP*. Caderno de Ciências da Terra. São Paulo: USP (13) 1-27.

Bernstein, L. S.; Jin, X.; Gregor, B.; Adler-Golden, S. 2012. *Quick atmospheric correction code: algorithm description and recent upgrades*. *Optical Engineering* 51 (11):111719.

Bonini, I.; Rodrigues, C.; Dallacort, R.; Junior, B.; Carbalho, M. 2014. *Rainfall and deforestation in the municipality of Colíder, southern Amazon*. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 29 (4):483-493.

BCB. 2020. *Calculadora do cidadão - Índice de preços IPCA*. No prelo. bit.ly/3rUppw2.

BRASIL. 2000. *Lei Federal n. 9985 de 2000*. Brasília, DF.

_____. 2012. *Lei 12.651, de 25 de maio de 2012. Novo Código Florestal*. Brasília, DF.

_____. 2016. *Medida provisória n. 756, de 19 de dezembro de 2016*. *Diário Oficial da União*, 20 dezembro 2016. Disponível em <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/medpro/2016/medidaprovisoria-756-19-dezembro-2016-784061-exposicaodemotivos-151720-pe.html>. Acesso em 29 out. 2020.

BRASIL, INPE. 2019. *INPE consolida 7.536 km² de desmatamento na Amazônia em 2018*. Disponível em <http://www.obt.inpe.br/OBT/noticias/inpe-consolida-7-536-km2-de-desmatamento-na-amazonia-em-2018>. Acesso em 12 out. 2020.

Brown, D. S.; Brown, J. C.; Brown, C. 2016. *Land occupations and deforestation in the Brazilian Amazon. Land use policy* 54:331-338.

Bonham-Carter, G. 1994. *Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS*. Ontario: Pergamon, 305p.

Burrough, P. 1998. *Dynamic Modelling And Geocomputation*. *Geocomputation: A Primer*. P. Longley, M. Batty and R. McDonnel. London, John Wiley & Sons, 290p.

Câmara, A. S. 1996. *Spatial Simulation Modelling. Spatial Analytical Perspectives on GIS*. M. Fisher. London, Taylor & Francis, 213-218p.

Câmara, G. & Monteiro, A. M. V. 2003. *Introdução à modelagem da dinâmica Espacial*. São José dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em <https://biblioteca.isced.ac.mz/bitstream/123456789/570/1/publicacao.pdf>. Acesso 20 dez. 2020.

Campos, P. B. R. & Queiroz Filho, A. P. de. 2017. *Matriz de transição na detecção das mudanças do uso e ocupação do solo: estudo de caso do Centro Educacional Unificado da Paz-Zona Norte de São Paulo*. *Raega - O Espaço Geográfico em Análise* 42 (1):225-238.

Cardoso, F. H. & Muller, G. 2008. *Amazônia Expansão do Capitalismo [online]*. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais. Disponível em <<http://books.scielo.org>>. Acesso em 07 set. 2020.

Castro, E.; Monteiro, R.; Castro, C. P. 2002. *Atores e relações sociais em novas fronteiras na Amazônia e relações sociais em novas fronteiras na Amazônia*. Banco Mundial: Relatório de Pesquisa, Brasília.

Cavalcanti, L. C. de S. & Corrêa, A. C. de B. 2016. *Geossistemas e Geografia no Brasil*. *Revista Brasileira de Geografia* 61 (2):3-33.

Coelho, A. Dos S.; Barros, M. N. R.; Damasceno, J. R. P. 2017. *Dinâmicas socioambientais na faixa de fronteira do estado do Pará: o caso do município de Almerim. Social and Environmental Dynamics in the Border Strip of the State of Pará: the Case of the Municipality of Almeirim*. *Revista Geo Pantanal*, n. Especial:307-326.

Correa, J.; Der Hoff, R; Rajão, R. 2019. *Amazon Fund 10 Years Later: Lessons from the World's Largest REDD+ Program*. *Forests* 10 (3):272.

Costa, G.; Silva, G.; Brambilla, C.; Lobato, L.; Cunha, L.; Teles, V.; Nunes, D.; Cavalcante,

M. 2015. *Ocupações ilegais em unidades de conservação na Amazônia: o caso da Floresta Nacional do Bom Futuro no Estado de Rondônia/Brasil*. *Revista de Geografia e Ordenamento do Território* (8)33-49.

Chagas, C. da S.; Fontana, A.; Carvalho Junior, W.; Caires, S. M. de. 2013. *Atributos Topográficos na diferenciação de argissolos*. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* 37:1441-1453.

Christofoletti, A. 1999. *Modelagem de Sistemas Ambientais*. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1999. 106p.

Cruz, C. B. M.; Souza, E. M. F. R.; Richter, M.; Rosário, L. S.; Abreu, M. B.; Sperle, D. 2017. *Unidades de conservação no entorno da Bacia de Campos: análise da representatividade e distribuição espacial*, in *Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo: caracterização ambiental regional da Bacia de Campos, atlântico Sudoeste*. Editado por S. O. F. Lima, v. 9, pp. 31-47. Rio de Janeiro: Elsevier. Habitats.

CPRM. Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. 2001. *Mapa Geológico do Brasil*. Escala 1:5000.000. CD-ROM.

Deguignet, M.; Juffe-Bignoli, D.; Harrison, J.; Macsharry, B.; Burgess, N.; Kingston, N. 2014. *United Nations List of Protected Areas*. UNEP-WCMC: Cambridge, UK.

De Carli, A. A. 2015. *Água é vida: eu cuido, eu poupo: para um futuro sem crise*. 1ª Edição. Editora FGV, 124p.

DNPM. Departamento Nacional de Produção de Mineral. 1975. *Mapa Exploratório de Solos*. Ministério de Minas e Energia, Projeto RADAM, Folha Tapajós (SB-21), escala 1:1.000.000. Levantamento de Recursos Naturais.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Solos Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2018. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*/ Humberto Gonçalves dos Santos ... [et al.]. – 5.ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa.

Faria, W. R. & Haddad, E. A. 2019. *Modelagem do uso da Terra e Efeitos de Mudanças na Produtividade Agrícola entre 2008 e 2015*. *Estudos Econômicos* (São Paulo), [S.L.], v. 49, n. 1, p. 65-103. <http://dx.doi.org/10.1590/0101-41614913wfe>

Facco, D. S. & Benedetti, A. C. 2016. *A evolução temporal do uso e ocupação da terra em municípios da Quarta Colônia – RS*. *Ciência e Natura*, [S.L.], v. 38, n. 3, p. 1254, 28 set. Universidade Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460x21413>.

_____. 2008. *The roles and movements of actors in the deforestation of Brazilian Amazonia*. *Ecology and Society* 1 (1):23.

Fearnside, P. M. 2005. *Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequência*. *Megadiversidade*. v. 1, n. 1, p. 113-123.

Fearnside, P. M.; Graça, P. M. L. de A. C.; Keizer, E. W. H.; Maldonado, F. D.; Barbosa, R. I.; Nogueira, E. M. 2009. *Modelagem de desmatamento e emissões de gases de efeito estufa na*

região sob influência da rodovia Manaus-Porto Velho (BR-319). *Revista Brasileira de Meteorologia* 24 (2):208-233.

Fick, S. E.; Hijmans, R. J. 2017. *WorldClim 2: novas superfícies climáticas de resolução espacial de 1 km para áreas terrestres globais*. *International Journal of Climatology* 37 (12):4302-4315.

Forzza, R. C.; Baumgratz, J. F. A.; Bicudo, C. E. M.; Cachos, D. A. L.; Carvalho Junior, A. A.; Coelho, M. A. N.; Costa, A. F.; Costa, D. P.; Hopkins, M. G.; Leitman, P. M.; Lohmann, L. G.; Lughaaha, E. N.; Maia, L. C.; Martinelli, G.; Menezes, M.; Morin, M. P.; Peixoto, A. L.; Pirani, J. R.; Prado, J.; Queiroz, L. P.; Souza, S.; Souza, V. C.; Stehmann, J. R.; Sylvestre, L. S.; Walter, B. M. T.; Zappi, D. C. 2012. *New Brazilian Floristic List Highlights Conservation Challenges*. *Revista BioScience* 62 (1):39-45.

Fu, P. & Rich, P. M. 1999. *Design and implementation of the solar analyst: An arcview extension for modeling solar radiation at landscape scales, in Annual Esri User Conference, SanDiego. Proceedings. Disponível em <https://proceedings.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap867/p867.htm>. Acesso em 20 jul. 2020.*

Galicia, L.; Cuevas, M.; Merit, L.; Couturier, S. 2014. *Detección de cambio ambiental en selvas y bosques de México con percepción remota: Un enfoque multiescalar de espacio y tiempo*. *Interciencia* 39 (6):368-374.

Godoy, M. & Soares-Filho, B. 2007. *Modelagem da dinâmica de ocupação do solo no bairro Savassi, Belo Horizonte, Brasil, in Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual*. Organizado por C. M. Almeida, G. Câmara, A. M. V. M. Monteiro, pp. 286-304, cap. 13. São Paulo: Oficina de textos.

Gama, L. H. O. M.; Paiva, P. F. P. R.; Silva Junior, O. M. da; Ruivo, M. de L. P. 2021. *Environmental modeling and use of artificial intelligence for prognosis of deforestation: the case of Rebio do Gurupi-MA*. *Research, Society and Development, [S. l.]*, v. 10, n. 2, p. e13810211609. DOI: 10.33448/rsd-v10i2.11609. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/11609>. Acesso em: 26 oct. 2021.

Guerra, A. J. T. & Marçal, M. dos S. 2006. *Geomorfologia Ambiental*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 192p.

Hagen, A. 2003. *Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps*. *International Journal of Geographical Information Science*. Kensington, v. 17, n. 3, p.235-249. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/13658810210157822>

Harris, I.; Jones, P. D.; Osborn, T. J.; Lister, D. H. 2014. *Grids de alta resolução atualizados de observações climáticas mensais - o conjunto de dados CRU TS3.10*. *International Journal of Climatology* 34 (3):623-642.

Haesbaert, R. 1994. *Território e Identidade: o encontro entre “gaúchos” e nordestinos no Brasil*. Niterói. Editora da Universidade Federal Fluminense, 293 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010 *População residente do Censo Demográfico IBGE 2010*. no prelo. bit.ly/39NYyLO.

_____. 2013. *Manual Técnico de Uso da Terra*, 3ª Edição. Diretoria de Geociências Coordenação de Recursos Naturais Rio de Janeiro, RJ – Brasil.

_____. 2018. *Novo Progresso: Panorama 2018*. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/novo-progresso/panorama>>. Acesso em 05 jul. 2020.

_____. 2019. *Banco de Informações Ambientais*. Um novo instrumento para organização e preservação. Disponível em <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>. Acesso em 10 de set. 2020.

_____. 2020. *Produto Interno Bruto dos municípios – PIB-munic*. 2020 no prelo. bit.ly/3ur7H4X.

_____. 2022. Cidades e Estados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/novo-progresso.html>. Acesso: 27 de jan. 2022.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente. 1991. Instrução Normativa 1, de 09 de janeiro de 1991. Diário Oficial da União de 23/01/1991 Seção 1 Página 1701. Disponível em <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/IBAMA/IN0001-090191.PDF>. Acesso em 04 de nov. 2021.

ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2010. *Plano de Manejo da Floresta Nacional do Jamaxim, localizada no estado do Pará*. v. 1-Informações Gerais, Curitiba-PR. Disponível em https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades/coservacao/flona_jamxim.pdf. Acesso em 01 de jul. 2020.

_____. 2014. *Plano de Manejo das Florestas Nacionais de Itaituba I e II*. Planejamento, v. 2, 55p.

IMAZON. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, 2017. Como as Unidades de Conservação na Amazônia estão em risco. Dossiê UCs.

INCRA. Instituto Nacional de Colonização da Reforma Agrária. 2017. *Acervo Fundiário*. Disponível em <http://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/acv.php>. Acesso em set. 2020.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2016. Disponível em <<http://www.inpe.br/>>. Acesso em 13 de ag. 2020.

_____. 2019. *Refinamento da classificação do Terra Class: Os municípios de Marabá e Santarém-Estado do Pará*. Geração do Dado Pretérito para Marabá, Santarém: 1990-2000-2010.

_____. 2019b. *Metodologia utilizadas nos projetos PRODES e DETER*. Disponível em http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes/pdfs/Metodologia_Prodes_Deter_revisada.pdf. Acesso em 10 de set. 2020.

_____. 2020. TerraBrasilis. Desmatamento PRODES. Disponível em <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/map/deforestation?hl=pt-br>. Acesso em 13 jun. 2020.

_____. 2020b. *Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite – Projeto Prodes*. 2020 no prelo. terrabrasilis.dpi.inpe.br/.

_____. 2022. TerraBrasilis. Desmatamento PRODES. Disponível em <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/map/deforestation?hl=pt-br>. Acesso em 20 jan. 2022.

IPAM. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2017. Nota técnica de organizações da sociedade civil em repúdio ao PL nº 8.107/2017. Projeto de Lei disponível em: <http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2145333.2017>.
WWF. Unidades de Conservação sob risco. Disponível em: http://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/dossiebrasil_v9_2.pdf. Acesso: 14 de set. 2020.

_____. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. 2021. Qualquer solução para a mudança climática global requer a Amazônia em pé. [Notícias]. Disponível em <https://ipam.org.br/qualquer-solucao-para-a-mudanca-climatica-global-requer-a-amazonia-em-pe/>. Acesso em 30 de jan. 2022.

ISA. Instituto Socioambiental. 2019. *Situação atual das Unidades de Conservação*. Disponível em <https://uc.socioambiental.org/>. Acesso em 07 de set. 2019.

_____. 2020. *Situação atual das Unidades de Conservação*. Disponível em < <https://uc.socioambiental.org/>>. Acesso em 02 de fev. 2020.

Jesus, J. & Santana, I. 2017. *Estimation of land surface temperature in Caatinga área using Landsat 8 DATA*. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 7 (3), p. 150-157. doi:<https://doi.org/10.29150/jhrs.v7.3.p150-157>

Kawashima, R. 2015. *Modelagem da dinâmica espacial das mudanças na cobertura da terra na região portuária da Baixada Santista/RS*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo.

Kawashima, R. S.; Giannotti, M. A.; Almeida, C. M. de A.; Quintanilha, J. A. 2016. *Modelagem dinâmica espacial como ferramenta de simulação de cenários da paisagem na região portuária da Baixada Santista*. *Bol. Ciênc. Geod.* 22 (4):703-718.

Klingler, Michael & Mack, Philipp. 2020. *Novo Progresso: A persistência do mito da terra livre na (pós)fronteira*. In book: *Estratégias de expansão do agronegócio em Mato Grosso*. Os eixos da BR-163 e da BR-158 em perspectiva comparativa. Editora IABS.

Kruger, C.; Dantas, M. K.; De Castro, J. M.; Passador, C. S.; Caldana, A. F. 2017. *Análise das políticas públicas para o desenvolvimento da faixa de fronteira brasileira*. *Ambiente e Sociedade* 20 (4):41-62.

Laurance, W. F.; Camargo, J. L. C.; Fearnside, P. M.; Lovejoy, T. E.; Williamson, G. B.; Mesquita, R. C. G.; Meyer, C. F. J.; Bobrowiec, P. E. D.; Laurance, S. G. W. 2017. *An Amazonian rainforest and its fragments as a laboratory of global change*. *Biological Reviews*, [S.L.], v. 93, n. 1, p. 223-247, 30 maio. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/brv.12343>.

Lago, A. & Pádua, J. A, 2017. *O que é ecologia*. Editora Brasiliense, 91p.

Landis, J. R. & Koch, G. G. 1977. *The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data*. *Biometrics* 33 (1):159-174.

- Leite, E. F. & Rosa, R. 2012. *Análise do uso, ocupação e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Rio Formiga, Tocantins*. *Revista Eletrônica de Geografia* 4 (12):90-106.
- Leite, F. A. S. 2015. *Desafios e perspectivas da compensação ambiental para a criação e manutenção de unidades de conservação*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós - Graduação em Engenharia Ambiental. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Ouro Preto. Minas Gerais.
- Leite, A. Z.; Castro, L. F. P. de.; Sauler, S. 2018. A questão agrária no momento político brasileiro: liberalização e mercantilização da terra no estado mínimo de Temer. *Revista OKARA: Geografia em debate*, v. 12, n. 2, p. 247-274.
- Leemans, R. & de-Groot, R. S. 2005. *Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Well-Being: A framework for assessment*. Washington. DC: Island Press, 245p.
- Lima, L. A. P. & Costa Silva, R. G. 2017. A Amazônia como espaço de fronteiras e dos territórios do pessimismo». In: Cury, M. J. F. (Org.). *Territórios e Territorialidades na Amazônia*. 1 ed. Curitiba: CRV, v. 1, p. 15-38.
- Lima, L. G. De; Dillenburg, S.; Buchmann, F.; Parise, C. 2020. *O significado paleogeográfico das turfeiras do rio Grande do Sul. The paleogeographic meaning of the coastal peats of rio Grande do Sul*. São Paulo, UNESP, *Geociências* 39 (2):393-410.
- Li, Z.; Zhu, Q.; Gold, C. 2005. *Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology*. Boca Raton: CRC press.
- Linero, D.; Cuervo-Robavo, A. P.; Etter, A. 2020. *Assessing the future conservation potential of the Amazon and Andes Protected Areas: Using the woolly monkey (Lagothrix lagothricha) as an umbrella species*. *Journal for Nature Conservation* 58:125926.
- Luna, A. H. 1977. Introdução aos métodos de Monte Carlo avançado. Departamento de Estatística UFMG. Disponível em: http://www.est.ufmg.br/portal/arquivos/rts/RTE_01_2019.pdf. Acesso: 22 de fev. 2020.
- Maia, H.; Hargrave, J.; Gómez, J. J.; Ropper, M. 2011. *Avaliação do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal - PPCDAm*. Disponível em < <https://www.mma.gov.br/images/arquivo/80120/Avaliacao%20do%20PPCDAm%202007-2010.pdf>>. Acesso em 08 jan. 2021.
- MAPBIOMAS. Projeto MapBiomass. 2019. *Observatório do Clima*. São Paulo: 05418-060, Brazil.
- _____. Projeto MAppBiomass. 2021. Códigos das classes da legenda e paleta de cores utilizadas na Coleção 6 do MapBiomass. Disponível em: [https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/downloads/C%C3%B3digos das classes da legenda e paleta de cores.pdf](https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/downloads/C%C3%B3digos%20das%20classes%20da%20legenda%20e%20paleta%20de%20cores.pdf). Acesso: 30 de dez. 2021.
- Marques, F. de L. 2019. *O uso de inteligência artificial para modelagem ambiental da Área de Influência Indireta (AII) das usinas hidrelétricas Ferreira Gomes e Cachoeira Caldeirão* –

Amapá. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Geoprocessamento). Universidade Federal do Pará, Ananindeua.

Marengo, J. A. & Souza Junior, C. 2018. *Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia*. São Paulo. 33p.

Marin, K. I. D. 2013. *Meio ambiente inteiro*. 2.ed. Caxias do Sul, RS: Educs. 178p.

Martini, D. Z.; Scolastrici, A. Dos S. S.; Nora, E. L. D.; Moreira, M. A. 2012. *Unidades de conservação como estratégia para a redução do desmatamento na Amazônia: o caso do Parque Estadual Monte Alegre*. *Ambiência* 8 (2):333-343.

Martins, H.; Nunes, S.; Souza, C. 2018. *CAR – Cadastro Ambiental em Áreas Protegidas*. Belém: IMAZON.

Martins, H.; Vedoveto, M.; Araújo, E.; Barreto, P.; Baima, S.; Souza, J. C.; Veríssimo, A. 2012. *Áreas protegidas críticas na Amazônia Legal*. Belém: Imazon.

Matricardi, E. A. T.; Aguiar, A. S.; Miguel, E. P.; Angelo, H.; Gaspar, R. de O. 2018. *Modelagem do desmatamento na região do MATOPIBA. Pesquisas Agrárias e Ambientais. Nativa, Sinop* 6 (2):198-206.

Maurano, L. E. P.; Escada, M. I. S.; Renno, C. D. 2019. Padrões espaciais de desmatamento e a estimativa da exatidão dos mapas do PRODES para Amazônia Legal Brasileira. *Spatial deforestation patterns and the accuracy of deforestation mapping for the Brazilian Legal Amazon. Ciência Florestal*, 29 (4):1763-1775.

Marcuartú, B. C.; Coelho, A. dos S.; Maneschy, R. Q.; Canto, O. d. 2017. Uso e cobertura da terra na Floresta Nacional do Jamanxim, Novo Progresso, Pará: Considerações sobre sua desafetação. *Estudos Geográficos*, Rio Claro, 15(2): p-p, jul./dez. 2017. ISSN 1678—698X. Disponível em: <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/estgeo>. Acesso: 28 de dez. 2021.

Medeiros, R. & Youg; C. E. F. 2011. *Contribuição das unidades de conservação brasileiras para a economia nacional: Relatório Final*. Brasília: UNEP-WCMC, 120p.

Mello, N. A. de. 2006. *Políticas territoriais na Amazônia*. 1.ed. São Paulo: Annablume.

Metzger, J. P.; Esler, K.; Krug, C.; Arias, M.; Tambosi, L.; Crouzeilles, R.; Acosta, A. L.; Brancalion, P. H. S.; D'Albertas, F.; Duarte, G. T.; Garcia, L. C.; Grytnes, J.; Hagen, D.; Jardim, A. V. F.; Kamiyama, C.; Latawiec, A. E.; Rodrigues, R. R.; Ruggiero, P. G. C.; Sparovek, G.; Strassburg, B.; Saraiva, A. M.; Joly, C. 2017. *Best practice for the use of scenarios for restoration planning. Curr. Opin. Environmental. Sustainability* 29:14-25.

Miranda, J. I. Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas. 2005. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 425p.

Molinaro, C. A.; Leal, A. A. F. 2018. O caso da floresta nacional do Jamanxim: uma análise jurídica da medida provisória 756/2016 e o do projeto de lei de conversão nº 5/2017. *Revista*

de Direito Econômico e Socioambiental, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 244-268, jan./abr. doi: 10.7213/rev.dir.econ.soc.v9i1.16535

Monteiro, C. A. 2001. *Geossistema: a história de uma procura*, São Paulo. Contexto.

Monteiro, S. M. C. 2019. *Floresta Nacional do Jamanxim: Proteção em nome da proibição do retrocesso ambiental*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação e Inovação Tecnológica. Universidade Federal do Oeste do Pará. Santarém, 228p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. 2016. *Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal*. Disponível em < <https://www.mma.gov.br/informma/item/616-prevenção-e-controle-do-desmatamento-na-amazônia>>. Acesso em 02 de jan. 2021.

_____. 2019. *Cadastro Nacional de Unidades de Conservação. Unidades de Conservação Brasileiras*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/areas- protegidas/cadastro-nacional-de-ucs>. Acesso em 07 jul. 2020.

Nahum, J. S. Elementos de uma teoria social do espaço: convite ao pensamento de Milton Santos. *Boletim Gaúcho de Geografia*, v. 46, n. ½, p. 1-17. 2020.

Nepstad, D.; McGrath, D.; Stickler, C.; Alencar, A.; Azevedo, A.; Swette, B.; Bezerra, T.; Digiano, M.; Shimada, J.; Seroa da Motta, R.; Armijo, E.; Castello, L.; Brando, P.; Hansen, M. C.; McGrath-Horn, M.; Carvalho, O.; Hess, L. 2014. *Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains*. *Science* 6 344 (6188):1118-23.

Neves, C. E.; Machado, G.; Hirata, C. A.; Stipp, N. A. 2014. *A importância dos geossistemas na pesquisa geográfica: uma análise a partir da correlação com o ecossistema*. *Sociedade e Natureza* 26 (2): 271-285.

Oliveira, U.; Soares-Filho, B. S.; Santos, A. J.; Paglia, A. P.; Brescovt, A. D.; Carvalho, C. J. B. de; Silva, D. P.; Rezende, D. T.; Leite, F. S. F.; Batista, J. A. N.; Barbosa, J. P. P. P.; Stehman, J. R.; Asher, J. S.; Vasconcelos, M. F.; Marco, P. De; Lowenberg-Neto, P.; Ferro, G. V. 2019. *Modelling Highly Biodiverse Areas in Brazil*. *Scientific Reports* 9 (9):6355.

Oliveira, A. H. M. 2019. *Dinâmicas da população, do uso e cobertura da terra e inibição do desmatamento com a criação da FLONA Jamanxim*. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

ONU. Organización de las Naciones Unidas. 2010. *Objetivos de desarrollo del Milenio, Naciones Unidas, in ODM*. [En línea]. Disponível em www.un.org. Acesso em 15 dez. 2020.

Palheta, J. M.; Silva, C. N. da; Oliveira Neto, A.; Nascimento, F. R. do. 2017. *Conflitos pelo uso do território na Amazônia mineral*. *Mercator*, Fortaleza, v. 16, e16023.

Palheta da Silva, J. M; Medeiros, G. R. N.; Chagas, C. A. N. 2014. Geografia e mineração no Pará. *Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Pará (IHGP)*, Belém, n. 1, v. 01, p. 01-12.

Paula, I. S. B. 2019. *Monitoramento e controle da ocupação urbana : estudo de caso de*

monitoramento urbano baseado em técnicas de geoprocessamento na região localizada na confluência das bacias do Rio São Bartolomeu e Lago Paranoá no Distrito Federal. Trabalho de Conclusão de Curso. Especialização em Geoprocessamento. Universidade de Brasília-DF.

Pedrosa, B. M. & Câmara, G. 2007. *Modelagem Dinâmica e Sistemas de Informações Geográficas*, in *Geomática: modelos e aplicações ambientais*. Editado por M. S. P. Meireles, G. Camara, C. M. De., pp. 593. Brasília, DF: Embrapa informações tecnológicas.

Pinheiro, T. F.; Escada, M. I. S.; Valeriano, D. M.; Hoster, P.; Gollnow, F.; Muller, H., 2016. Degradação florestal associada à expansão da fronteira madeireira na amazônia: a região da BR-163 no sudoeste do Pará. *Brasil. Earth Interact.* , 20 , pp. 1 - 26 , 10.1175.

Pinheiro, P. F., da Silva Júnior, O., Rocha, G., Ruivo, M. de L., Maciel, M. de N., Braga, T. G., & Ferreira, O. 2020. *Redefinição de limites territoriais em unidades de conservação na Amazônia brasileira: o caso da Floresta Nacional do Jamanxim, estado do Pará, Brasil. Boletim Do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais*, 12 (3), p. 423-433.

Pinheiro, E.; Camini, N.; Soares, M.; Sumida, S. 2020b. *Cellular automata model: landscape dynamics simulation tool in the process of change in land use and cover in the city of Gaúcha Do Norte-MT*, in *Anais do IEEE Latin American GRSS & ISPRS Remote Sensing Conference*, pp. 225-229.

Pinsky, V.C.; Kruglianskas, I; Victor, D. G. 2019. *Experimentalist governance in climate finance: the case of REDD+ in Brazil. Climate Policy*, 19 (6):725-738.

Pereira, H. C. 2017. Distribuição e mobilidade espacial da população em unidades de conservação de uso sustentável na Amazônia brasileira: o caso da reserva extrativista Auati-Paraná. 180 p. Tese (Doutorado em Demografia) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Campinas, SP.

Pereira, B. C.; Pinho, B. C. P.; De Souza, D. H. S.; Feitoza, L. H. de A.; Costa, C. M. da; Neto, P. R. de M.; Barros, Y. S. S. de; Pantoja, P. C. da Silva. 2019. *Dinâmica de uso e cobertura da terra em Unidade de Conservação da Amazônia Brasileira: Mudanças na Floresta Nacional do Jamanxim-PA de 2004 A 2014*, in *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, INPE, pp. 2825-2828. Santos-SP.

Printes, R. C. 2017. *Adeus Amazônia: conflitos agrários e socioambientais por trás do desmatamento no sudoeste do Pará*. Curitiba: Prismas, v. 1. 137 p.

Righi, E. & Basso, L. A. 2016. *Application and analysis of interpolation techniques for spatialization of rainfall. Ambiência Guarapuava* 12 (1):101-117.

Rocha, G. M. & CANTO, O. 2007. *Zoneamento ecológico-econômico da área de influência da rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém): diagnostico do meio socioeconômico, jurídico e arqueológico. Estrutura Espacial e Formação Territorial dos Municípios*. Belém: Embrapa da Amazônia Oriental, v. 1,

Rodrigues, H. O.; Soares-Filho, B. S.; Costa, W. L. S. 2007. *Dinamica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais*, in *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de*

Sensoriamento Remoto. pp.89-96. São José dos Campos (SP): Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Ross, J. L. S. 2006. *Ecogeografia do Brasil: subsídios para o planejamento ambiental*. 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 208p.

Sahagún-Sánchez, F. J. & Reyes-Hernández, H. 2018. *Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México. Impact of land use cover change on protected natural areas in central region of Sierra Madre Oriental, Mexico. Ciência UAT* 12 (2):06-21.

Saito, E. A.; Escada, M. I. S.; Fonseca, L. M. G., Korting, T. S. 2011. Análise de padrões de desmatamento e trajetória de padrões de ocupação humana na Amazônia usando técnicas de mineração de dados. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR*, Curitiba-PR, Brasil, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, pp. 2833.

Santos, M. 1996. *A Natureza do Espaço: Técnica e tempo, razão e emoção*. São Paulo: Hucitec. 308p.

_____. 2006. *A natureza do espaço. Técnica e tempo. Razão e emoção*. 4.ed. São Paulo: Hucitec. 259p.

Santos Junior, M. A. dos. 2018. *BR-319 como propulsora de desmatamento: simulando o impacto da rodovia Manaus-Porto Velho*. 22.ed. Manaus: IDESAM. 56p.

Santos, D.; Veríssimo, A.; Seifer, P.; Mosaner, M. 2021. Índice de Progresso Social na Amazônia Brasileira. *IPS Amazônia 2021*. Resumo executivo. Imazon, 87p.

Santos, D.; Salomão, R.; Veríssimo, A. 2021. *Fatos da Amazônia 2021*, março de 2021, 86p.

Silva, A. C. O.; Fonseca, L. M. G.; Korting, T. S.; Escada, M. I. S. 2020. *A spatio-temporal Bayesian Network approach for deforestation prediction in an Amazon rainforest expansion frontier. Spatial Statistics* 35:100393.

Silva, K. G. S. da; Melo, K. C.; Santos, M. E. L. de C.; Silva, A. T. da.; Lima, A. S. S.; Pessoa, N. M.; Silva, L. A. S.; Landim, L. A. dos S. R.; Simplício, A. P. de M.; Gomes, F. de O.; Morais, J. O.; Silva, F. T. de S.; Morais, E. R. O.; Morais, T. O. 2021. *Functional properties of babassu coconut mesocarp flour: a nutritional alternative against Covid-19. Research, Society and Development, [S. l.]*, v. 10, n. 2, p. e58010212851.

Siqueira-Gay, J.; Yanai, A. M.; Lessmann, J.; Pessôa, A. C. M.; Borja, D.; Canova, M.; Borges, R. C. 2020. *Pathways to positive scenarios for the Amazon forest in Pará state, Brazil. Biota Neotropica* 20 (1):e20190905.

Soares-Filho, B. S. 1998. *Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica*. Tese de Doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

Soares-Filho, B. S.; Cerqueira, G. C.; Pennachin, C. L. 2002. *DINAMICA-A stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in na Amazonian colonization frontier. Ecological Modelling* 154:217-235.

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. 2005. *Cenários de desmatamento para a Amazônia. Estudos Avançados* 19 (54):137-152.

Soares-Filho, B. S.; Nepstad, D. C.; Curran, L.; Cerqueira, G. C.; Garcia, R. A.; Ramos, C. A.; McDonald, A.; Lefebvre, P.; Schlesinger, P. 2006. *Modeling conservation in the Amazon basin. Nature* 440:520-523.

Soares-Filho, B. S.; Cerqueira, G. C.; Araújo, W. L.; Voll, E. 2007. *Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. Megadiversidade* 3 (12):75-86.

Soares-Filho, B. S.; Dietzsch, L.; Moutinho, P.; Suarez, A. F.; Rodrigues, H.; Pinto, E.; Maretti, C.; Suassuna, K.; Scaramuzza, C. A.; Vasconcelos, F. 2008. *Reduction of carbon emissions associated with deforestation in Brazil: The role of the Amazon region Protected Areas Program (ARPA)*. Brasília: IPAM, 1:32p.

Soares-Filho, B. S.; Rodrigues, H.; Costa, W. 2009. *Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO*. Centro de Sensoriamento Remoto (IGC/UFMG) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil. Disponível em http://www.csr.ufmg.br/dinamica/tutorial/Dinamica_EGO_guidebook.pdf. Acesso em 17 mai. 2020. p. 114.

Soares-Filho, B. S.; Dietzsch, L.; Moutinho, P.; Suarez, A. F.; Rodrigues, H. 2010. *Protected Areas Helping to Reduce Carbon Emissions in Brazil, in Arguments for Protected Areas – Multiple Benefits for Conservation and Use*, 1.ed. London, Washington DC: EarthScan, 1. 268p.

Soares-Filho, B. S.; Rodrigues, H.; Follador, M. 2013. *A hybrid analytical-heuristic method for calibrating land-use change models. Environmental Modelling & Software* 43:80-87.

Soares-Filho, B. S.; Rajão, R.; Macedo, M.; Carneiro, A.; Costa, W.; Coe, M.; Rodrigues, H.; Alencar, A. 2014. *Cracking Brazil's Forest Code. Science* 344 (80):363-364.

Schumann, C. et al. 2015. *Sempre pra Frente. Histórias de Vida da BR-163*. São Paulo: Editora Olhares.

Souza, E. M. F. da R. de; Vicens, R. S.; Cruz, C. B. M. 2013. *Processamento digital de imagem hyperspectral do sensor hyperion. Digital Processing of Hyperspectral Image from Hyperion Sensor. Revista Brasileira de Cartografia* 65 (5):895-906.

Souza, A. de. 2016. *Proposta de uma matriz de decisão em energia hidrelétrica com o uso do método multicritério, para formulação de políticas públicas no estado do Paraná*. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Tecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba.

Sotchava, V. B. 1963. *Algumas noções e termos da Geografia Física*. Relatórios do instituto de Geografia da Sibéria e do Extremo Oriente. 3, p.53.

_____. 1977. *O estudo dos Geossistemas. Métodos em Questão*, São Paulo, n. 16, p. 1-50.

_____. 1978. *Por uma teoria de classificação de geossistemas da vida terrestre*. São Paulo: Instituto de Geografia, USP.

Sotelo-Caro, O.; Chichia-González, J.; Soranli, V.; Flores-Palacios, A. 2015. *Cambios en la dinámica de deforestación de la subcuenca de un río en México: la imposibilidad de recuperación de los hábitat originales después del cese de la deforestación*. *Revista de Geografía Norte Grande* 61:221-227.

Schielein, J. & Borner, J. 2018. *Recent transformations of land-use and land-cover dynamics across different deforestation frontiers in the Brazilian Amazon*. *Land Use Policy* 76:81-94.

Suarez, A. F. & Soares-Filho, B. S. 2013. *Estudo da mudança de uso e cobertura do solo na bacia do rio Formiga-MG*. *Revista Brasileira de Cartografia* 65 (3):417-429.

Snytko, V. A. & Semenov, Y. M. 2008. *The study of geosystem structure, development and functioning in Siberia*. In: Andreychouk, V. (Org.) *Methodology of landscape research. Dissertations Commission of Cultural Landscape of Polished Geographical Society*. Sosnowiec, n. 8, p. 141-150.

Teles, G. C. & Pimentel, M. A. Da Silva. 2015. *A nova perspectiva de Geossistema, proposta por Bertrand, aplicada à bacia hidrográfica do rio Mocajuba - Nordeste Paraense*. *Boletim Campineiro de Geografia*, v. 5, n. 2, p. 381-399.

Tobler, W. A. 1970. *Computer movie simulating urban growth in the Detroit Region*. *Economic Geography*. v. 46, n. 2, p. 234-240.

Torres, M.; Doblaz, J.; Alarcon, F. D. 2017. *Dono é quem desmata*. 1ª. ed. São Paulo: Urutu-branco, p. 280.

Tricart, J. 1976. *A Geomorfologia nos estudos integrados de ordenação do meio natural*. *Boletim Geográfico*, Rio de Janeiro 34 (251):15-42.

_____. 1982. *Paisagem e ecologia. Inter-Facies: escritos e documentos*. São José do Rio Preto: Ed. Da UNESP.

Turner, F. J. 1920. *The Frontier in American History*. New York: Henry Holt and Company.

Tupiassu, L. Gros-desormaux, J. R.; Cruz, G. A. C. 2017. *Regularização fundiária e política ambiental: incongruência do cadastro ambiental rural do Pará*. *Revista Brasileira de Políticas Públicas*. v. 7, n. 2.

Tupiassu, L.; Fadel, L. P. S. L.; Gros-Desormeaux. 2019. *ICMS Ecológico e desmatamento nos municípios prioritários do estado do Pará*. *Revista Direito FGV* 15(3):e1928.

Uhl, C.; Barreto, P.; Veríssimo, A.; Vidal, E.; Amaral, P.; Barros, A. C.; Souza Junior., C.; Johns, J.; Gerwing, J. 1997. *Natural resource management in the Brazilian Amazon*. *BioScience* 47 (3):160-168.

USGS. United States Geological Survey. 2020. Disponível em <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em 07 de ag. 2020.

UNEP. United Nations Environment Programme. WCMC - World Commission on protected areas. 2014. *Global statistics from the World Database on Protected Areas (WDPA)*. Cambridge, UK: UNEP- WCMC.

Vale, J. R. B.; Costa, J. A. da.; Santos, J. F. dos; Silva, E. L. S. da.; Favacho, A. T. 2018. *Análise comparativa de métodos de classificação supervisionada aplicada ao mapeamento da cobertura do solo no município de Medicilândia, Pará. Inter Espaço - Revista de Geografia e Interdisciplinaridade* 4 (13):26-44.

Vale, J. R. B. 2018. *Dinâmica do uso e ocupação da terradas áreas desflorestadas no Estado do Pará*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Relatório final.

Vandergest, P. & Peluso, N. L. 2015. *Political Forests*. In: The International Handbook of Political Ecology. Edited by BRYANT, R. L. Cheltenham, Northhampton: Edward Elgar Publishing, p. 162-75.

Venturiere, A. 2007. *Zoneamento ecológico-econômico da área de influência da rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém): diagnostico do meio socioeconômico, jurídico e arqueológico*. Estrutura Espacial e Formação Territorial dos Municípios. Belém: Embrapa da Amazônia Oriental, 1. 403p.

Veríssimo, A.; Souza Junior, C.; Celentano, D.; Salomão, R.; Pereira, D.; Balieiro, C. 2006. *Áreas para produção florestal manejada: detalhamento do macrozoneamento ecológico econômico do estado do Pará*. Belém: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. 82p.

Veríssimo, A. & Pereira, D. 2014. *Produção na Amazônia Florestal: características, desafios e oportunidades*. *Parc. Estrat. Brasília-DF* 19 (38):13-44.

Vitel, C. S. M. N. 2009. *Modelagem da dinâmica do desmatamento de uma fronteira em expansão, Lábrea, Amazonas*. Dissertação de estrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais. Manaus, Amazonas.

Wunder, S. et al. 2008. *Pagamentos por Serviços Ambientais: perspectivas para a Amazônia Legal*. Série Estu. Brasília: MMA.

WWF. World Wide Fund for Nature. 2018. *Mineração na Amazônia Legal e Áreas Protegidas*. Situação dos direitos minerários e sobreposições. [Relatório].

Xaud, H. A. M.; Martins, F. S. R. V.; dos Santos, J. R. 2013. *Tropical forest degradation by mega-fires in the northern Brazilian Amazon*. *Forest Ecology and Management* 294:97-106.

Yu, X.; Guo, X.; Wu, Z. 2014. *Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 TIRS—Comparison between Radiative Transfer Equation-Based Method, Split Window Algorithm and Single Channel Method*. *Remote Sensing*, 6 (10): 9829-9852. <https://doi.org/10.3390/rs6109829>