



## Cenários futuros de desmatamento na Floresta Nacional do Jamanxim-PA

### *Future deforestation scenarios in the Jamanxim National Forest-PA*

Luana Helena Oliveira Monteiro Gama<sup>1</sup>, Arlete Silva de Almeida<sup>2</sup>, Paula Fernanda Pinheiro Ribeiro Paiva<sup>3</sup>, Orleno Marques da Silva Junior<sup>4</sup> e João Santos Nahum<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil. E-mail: [eng.luanamonteiro@gmail.com](mailto:eng.luanamonteiro@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5744-5583>

<sup>2</sup> Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, Brasil. E-mail: [arlete@museu-goeldi.br](mailto:arlete@museu-goeldi.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1754-7518>

<sup>3</sup> Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, Brasil. E-mail: [engpaulapinheiro@gmail.com](mailto:engpaulapinheiro@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8458-3132>

<sup>4</sup> Universidade Federal do Amapá, Amapá, Brasil. E-mail: [orleno@ppe.ufrj.br](mailto:orleno@ppe.ufrj.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1173-1429>

<sup>5</sup> Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil. E-mail: [prof.joaonahum@gmail.com](mailto:prof.joaonahum@gmail.com)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7791-9240>

Recebido: 02.2023 | Aceito: 06.2023

**Resumo:** As áreas protegidas foram criadas para a proteção e conservação da fauna e flora. Analisar suas dinâmicas socioambientais é essencial para a manutenção dos ecossistemas. O objetivo deste artigo é simular trajetórias de desmatamento na Floresta Nacional do Jamanxim a partir de modelos matemáticos, e propor cenários futuros até o ano de 2030, com base na análise de uso e cobertura da terra. Para tanto, realizou-se o processamento das imagens de satélite para análise das mudanças de uso e cobertura da terra, ao qual aplicou-se o método de classificação supervisionada, através do algoritmo de Máxima Verossimilhança; e processamento das variáveis independentes. Na modelagem espacial através do *software* DINAMICA EGO, utilizou-se o modelo LUCC. Observou-se que houve redução de área de 112,51 km<sup>2</sup> (0,87%) de floresta primária, e aumento do desmatamento com área de 393,53 km<sup>2</sup>, equivalente a 3% de área desmatada. Obteve-se um cenário no qual a floresta primária foi convertida para desmatamento (0,28%) com 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. Projeta-se a perda de 198,79 km<sup>2</sup> (1,52%) de floresta primária, e aumento de desmatamento de 155,20 km<sup>2</sup> até o ano de 2030. O mapa resultante deste cenário pode apoiar ações de políticas públicas, por meio da análise de impactos e leis, e identificação de áreas prioritárias para ação governamental. Em conjunto com os planos de comando, controle e monitoramento, é possível orientar o desenvolvimento socioambiental, econômico e cultural nesta Unidade de Conservação (UC), para manutenção e conservação da biodiversidade.

**Palavras-chave:** Floresta Amazônica. Prognóstico de desmatamento. Cenários futuros.

**Abstract:** Protected areas were created for the protection and conservation of fauna and flora. Analyzing their socio-environmental dynamics is essential for the maintenance of ecosystems. The objective of this article is to simulate deforestation trajectories in the National Forest of Jamanxim from mathematical models, and to propose future scenarios until the year 2030, based on the analysis of land use and land cover. For this purpose, satellite images were processed to analyze changes in land use and land cover, to which the supervised classification method was applied, through the Maximum Likelihood algorithm; and processing the independent variables. In the spatial modeling through the DINAMICA EGO software, the LUCC model was used. It is observed that there was an area reduction of 112.51 km<sup>2</sup> (0.87%) of primary forest, and an increase in deforestation with an area of 393.53 km<sup>2</sup>, equivalent to 3% of the deforested area. A scenario was obtained in which the primary forest was converted to deforestation (0.28%) with a high probability of transition from primary forest to mosaic of occupations and from logging to mosaic of occupations to the north and south of the FLONA of Jamanxim. The loss of 198.79 km<sup>2</sup> (1.52%) of primary forest is projected, and an increase in deforestation of 155.20 km<sup>2</sup> by the year 2030. The map resulting from this scenario can support public policy actions through the analysis of impacts and laws as well as the identification of priority areas for government action. In association with the command, control and monitoring plans, it is possible to guide the socio-environmental, economic, and cultural development in this Conservation Unit (UC) for the biodiversity maintenance and conservation.

**Keywords:** Amazon rainforest. Deforestation prognosis. Future scenarios.

## 1 INTRODUÇÃO

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; PEREIRA 2014). Além disso, é a maior região produtora de madeira tropical do Brasil e do mundo, e representa 80% da renda bruta do setor florestal regional (VERÍSSIMO; PEREIRA, 2014). Em 2017 registrou-se, em áreas protegidas, um total de 45,8 quilômetros quadrados de mineração, áreas essas restritas ao garimpo ilegal (SILVA, 2014; WWF, 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” (BONINI et al., 2015; BARROS; BARBOSA, 2015). Tal processo funda-se numa representação de região Amazônica como fronteira de recurso. O corolário disso foi 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). A exploração madeireira predatória focada na extração de espécies de valor comercial para tal atividade, são distribuídas no espaço de forma aleatória, por pátios de estocagem, estradas e ramais (SOUZA et al., 2017), assim como a extração de minério no Pará.

Nesse mesmo período, o bloco no poder estatal permite a chegada dos primeiros grandes projetos agrominerais no estado do Pará, que influenciaram na entrada de agentes especializados, e conseqüentemente no aumento do desmatamento (SILVA et al., 2014; SOUZA et al., 2017). 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 Pará apresentou a maior perda florestal dos estados da Amazônia brasileira em 2019, um total de 3.862 km<sup>2</sup>, com uma taxa de aumento de 41% quando comparado ao ano de 2018, pertencentes às Unidades de Conservação (BRASIL; INPE, 2019). O PRODES leva em consideração como desmatamento as regiões ao qual é realizada a remoção completa de cobertura florestal por corte raso. Tal processo influencia negativamente no meio ambiente, visto que a floresta em pé abre possibilidades de outros usos tanto pelo capital associado aos conglomerados de medicamentos, cosméticos, dentre outros, quando pelos povos e populações que têm seu modo de vida umbilicalmente associados ao meio florestal.

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 estratégicas 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 FLONA 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 (BRASIL, 2000; MOLINARO; LEAL, 2018) e 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. Conforme o IBGE (2013), Almeida e Vieira (2014) e Faria e Haddad (2019), o termo uso e cobertura da terra ganha importância no que se refere ao desenvolvimento sustentável, diante de questões socioambientais e econômicas, e está associado à distribuição espacial de cada elemento na superfície terrestre, que se baseiam em dados de sensoriamento remoto (PEREIRA et al., 2019) e pode identificar os distintos

padrões de uso da terra no território.

A análise e monitoramento do uso e cobertura da terra e as transformações na paisagem, da sua complexidade, chamada de “Complexo Territorial Natural” por Berutchachvili e Bertrand (1978) e das relações múltiplas entre os elementos que compõem o espaço é fundamental 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 e das questões econômicas e sociais.

Além da análise das mudanças de cobertura e uso da terra, para melhor compreender suas interações socioambientais, destaca-se a utilização de modelos matemáticos de simulação, como por exemplo o modelo LUCC elaborado por Soares-Filho (1998) e Soares-Filho et al. (2009), ao qual foi utilizado neste estudo. Tal modelo é detentor de ferramentas aprimoradas e utiliza dados espaciais disponíveis em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), e uma série de algoritmos projetados para simulações espaciais, inserindo funções de transições, e métodos de calibração e validação.

Conforme estudos de Tobler (1970), Almeida et al. (2007), Pedrosa; Câmara (2007), Campos; Queiroz Filho (2017), a plataforma dinâmica utilizada neste artigo, é arquitetada em modelos de sistemas de simulação espacial dinâmica fundamentada em Autômatos Celulares (AC), caracterizado por um mosaico de células, e o estado de cada célula é sua vizinhança. Os modelos baseados em AC são originários da Geografia Quantitativa, com suporte computacional na Inteligência Artificial. Além do mais, possuem aplicações nas mais variadas áreas de conhecimento, desde a física teórica e empírica até as mudanças uso e cobertura da terra, engenharia e controle de escoamento, propagação de epidemia, biologia comportamental, e muitas outras (KAWASHIMA et al., 2016).

Esta ferramenta 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, através de ferramentas computacionais e geotecnologias, torna-se viável e eficiente o uso delas para estudos ambientais, que de certa forma venha auxiliar a pesquisa e/ou monitorar as modificações na paisagem. Assim como, visa contribuir para os entendimentos das causas e processos de desenvolvimento de sistemas ambientais e no monitoramento das mudanças na paisagem perante um conjunto de particularidades.

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 (BRANDÃO, 2018; SANTOS JUNIOR, 2018) fatos estes de suma importância no decorrer histórico e da organização e ocupação espacial dos cenários atuais.

Todavia, ao longo dos últimos anos, tais recursos matemáticos tornaram-se promissores em diversos campos de pesquisa, assim como em análise de governança e estoque de carbono, no mercado de terras e reforma agrária, e em prognósticos ambientais e de desmatamento (SOARES-FILHO et al., 2008; SOARES-FILHO et al., 2010; MARENGO; ANGELSEN et al., 2013; SOUZA JUNIOR, 2018; MATRICARDI et al., 2018; PEIRÓ et al., 2021).

Através das representações matemáticas e computacionais do espaço associada a revisão das principais concepções da Geografia, na perspectiva da construção de SIG, contribui-se não apenas para a fundamentação teórica da 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.

Nesse sentido, o objetivo do estudo é: 1) analisar as mudanças de uso e cobertura da terra entre os anos de 2013 e 2020. 2) simular trajetórias de desmatamento na FLONA do Jamanxim a partir de modelos matemáticos, e propor cenários futuros até o ano de 2030 com base na análise de uso e cobertura da terra e variáveis ambientais.

## 2 METODOLOGIA

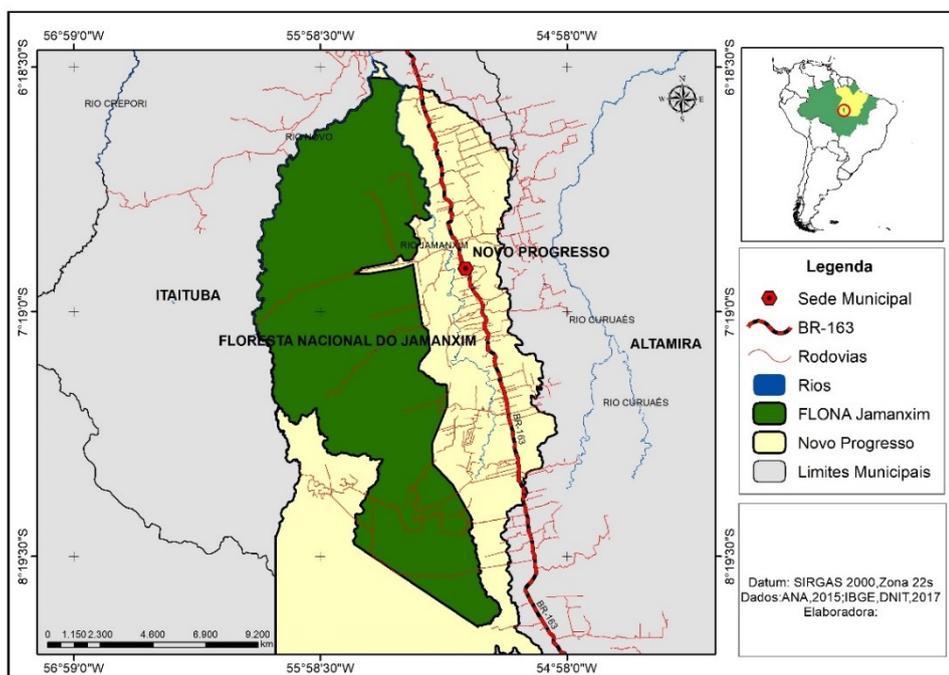
## 2.1 Área de estudo

A Floresta Nacional do Jamanxim é uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável de âmbito federal. Criada pelo Decreto – s/n do dia 13 de fevereiro de 2006 (ISA, 2019), está sob gestão do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBIO, e seu conselho é do tipo consultivo.

Esta floresta possui como contexto o ordenamento fundiário da Área de Influência do Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) da rodovia BR-163, que liga Cuiabá (MT) à Santarém (PA). Surgiu para reprimir o desmatamento previsto com o asfaltamento da rodovia, pois o cultivo de soja avança do Mato Grosso rumo ao Pará, assim como a criação de gado, que é impulsionada para o interior das Unidades de Conservação.

Conforme ISA (2019), a FLONA do Jamanxim está inserida 100% no município de Novo Progresso no estado do Pará. Limita-se ao sul com o município de Itaituba (comunidade Moraes de Almeida) e pelo extremo sudoeste, com o Município de Altamira (comunidade Castelo dos Sonhos). Segundo o IBGE (2018), o município de Novo Progresso possui uma área de 38.162,035 km<sup>2</sup>, onde o equivalente a 13064,8348 km<sup>2</sup> (34,23%) pertence à FLONA (Figura 1).

Figura1 - Localização da FLONA do Jamanxim, Novo Progresso, Pará, Brasil.



Elaboração: Os autores (2023).

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

A bacia hidrográfica do rio Tapajós, onde está inserida a FLONA do Jamanxim, apresenta dois grandes afluentes: o rio Jamanxim e o rio Novo (ICMBIO, 2010; IBGE, 2018). A estrutura do relevo baseia-se em dois táxons principais: Domínios Morfoestruturais e Unidades Geomorfológicas (EMBRAPA, 2018). O domínio geomorfológico mais representativo nesta unidade de conservação é denominado Depressão do Jamanxim-Xingu, sendo 47,39% do município de Novo Progresso (IBGE, 2020b), e 97,34% correspondem à FLONA, com baixa densidade de drenagem (1ª ordem), caracterização dissecada e forma de topo convexo de categoria homogênea.

As tipologias de vegetação formam agrupamentos, conforme o relevo e o solo. A floresta ombrófila aberta submontana, predomina com 73,27%. Nas zonas de relevo mais baixo, circundando os canais de drenagem, apresenta-se alta ocorrência de cipós em crescimento sem formar dossel definido. A flora epifítica é muito rica. No sub-bosque há abundância de palmeiras (ICMBIO, 2010).

O solo predominante na FLONA do Jamanxim é o argissolo vermelho-amarelo distrófico típico -

PVAd, de textura argilosa (IBGE, 2020b). 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, no padrão de distribuição das propriedades dos solos (FU; RICH, 1999). A geologia está inserida na porção centro-sul do Crato Amazônico, cuja evolução está ligada aos períodos Arqueano e Proterozoico, que correspondem a 93,97% da FLONA, equivalente a 12.277,3862 km<sup>2</sup>.

## 2.2 Processamento das imagens

Realizou-se a análise de cobertura e uso da terra no *software* ENVI5.3 (HARRIS, 2014), com base no Plano de Manejo da FLONA do Jamanxim (ICMBIO, 2010), no Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013) e na metodologia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2019). Utilizaram-se as imagens de Landsat 8, sensor OLI (*Operational Terra Imager*)/TIRS, 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 m. As imagens foram adquiridas na página eletrônica da *United States Geological Survey* (USGS, 2020); levou-se em consideração cobertura de nuvem de 10% para ambos os períodos.

De posse do mosaico e do recorte da área de interesse, realizou-se a coleta das amostras no *Region of Interest* (ROI), para cada classe. Esta etapa foi dividida em dois grupos: 70% das amostras foram utilizadas para treinamento e 30% para teste (BLOCH; SACKS, 2018). Para mapear tais áreas, aplicou-se o método supervisionado de classificação das imagens, através do algoritmo de Máxima Verossimilhança (MAXVER) (VALE et al. 2018), e posteriormente, os dados de uso e cobertura da terra, foram utilizados como bases de entrada para a modelagem no DINAMICA EGO.

Segundo Vale et al. (2018), o classificador MAXVER é um algoritmo paramétrico que agrega classes levando em consideração pontos individuais e atribui a essas classes uma distribuição normal, os quais são 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, sendo que a análise é feita *pixel a pixel*.

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), Soares-Filho et al. (2009), Kawashima et al. (2016), modelagem de desmatamento por Matricardi et al. (2018), cenários de desmatamento no estado do Pará de Siqueira-Gay (2020) e outros.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado neste estudo foi obtido também do Banco de Dados do USGS, disponibilizado pelo *U. S. Department of The Interior*, e os dados de radar possuem resolução espacial de 30 m.

A elaboração dos mapas de altimetria e declividade foi feita 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 m.

Segundo Li et al. (2005) o TIN (*Triangulated Irregular Network*) é uma estrutura de dados vetoriais que particionam o espaço geográfico o TIN não se sobrepõem, 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.

As variáveis que envolveram as distâncias dos objetos de análise (estrada, assentamento e hidrografia) foram preparadas a partir de estimativas das distâncias euclidianas (SOARES-FILHO, 1998; MIRANDA, 2005; BRASIL, 2012; DNIT, 2017), em que cada pixel da imagem recebeu um valor específico referente à distância no mapa do objeto de referência, tais informações foram extraídas da base de dados do DNIT (2017), INCRA (2017) e ANA (2017), respectivamente.

As bases vetoriais (*shapefile*) disposto no tipo linha e polígono foram convertidas em matriciais, processadas 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 (SOARES-FILHO, 1998; SOARES-FILHO et al., 2009). 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.

### 2.3 Modelagem no DINAMICA EGO

O modelo de simulação da paisagem foi executado em sete passos de tempo anuais, que corresponde ao intervalo do ano de 2013 para 2020 – dados estes de uso e cobertura da terra, 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, sendo necessário ter como entrada pesos que representam o efeito de uma variável espacial na mudança da cobertura e uso da terra (SOARES-FILHO, 1998; VITEL, 2009).

A princípio, geraram-se os mapas de distâncias, que foram fundamentados no próprio *software* DINAMICA EGO (MIRANDA, 2005), 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. 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. Por definição, o autor confirma que as células-alvo (ponto inicial do cálculo) tem a distância igual a zero (0).

Em seguida foi realizada a construção do mapa *Cubo Raster* usando os *functors*: “*Load Map*”, “*Creat Cube Map*” e um “*Save Map*” (SOARES-FILHO, 1998). 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 (estrada, assentamento e hidrografia), que devem estar na mesma projeção, coordenadas, número de linhas e colunas (SOARES-FILHO, 1998).

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. Esta matriz 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), considerando a faixa de transição entre os anos de 2013 e 2020, intervalo de oito anos.

Tais resultados foram utilizados para produzir as projeções de desmatamento nos cenários futuros. Geraram-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*), que consiste em um modelo espacial, e quantidade de mudanças observadas por toda a paisagem, considerado como o primeiro componente da função de mudança (SOARES-FILHO et al., 2007), referente ao período completo de 8 anos, e a matriz de transição de passos múltiplos (*multiple step*) referentes as mudanças anuais.

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 et al. (2008) e Vale (2018). Segundo Soares-Filho et al. (2009), há uma forma simplificada de representar o modelo de estado de transições, conforme Eq. (1), que consiste não somente em um modelo espacial, mas no arranjo da quantidade de mudanças por toda a paisagem.

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ j \end{bmatrix}_{t=v} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{21} & P_{.1} & P_{j1} \\ P_{12} & P_{22} & P_{.2} & P_{j2} \\ P_{1.} & P_{2.} & P_{..} & P_{j.} \\ P_{1j} & P_{2j} & P_{.j} & P_{jj} \end{bmatrix}^v * \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ j \end{bmatrix}_{t=0} \tag{1}$$

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).

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, conforme (SOARES-FILHO et al., 2009).

Conforme Soares-Filho et al. (2009), 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 (30 m); 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 (BRANCO et al., 2021).

O parâmetro referente ao ângulo de tolerância, estruturado por duas tangentes, sendo a primeira definida entre o ponto anterior e o ponto atual da pesquisa, e a segunda tangente entre o ponto atual e o ponto proponente, pontos estes pertencentes ao gráfico de definição das faixas de fatiamento. Como a caracterização do fatiamento pelo número de células é indefinida, optou-se pela definição com base no ângulo de tolerância, cujo intervalo considerado excelente oscila de 4° a 7°, foi definido em cinco graus para todas as variáveis dependentes e independentes (BRANCO et al., 2021).

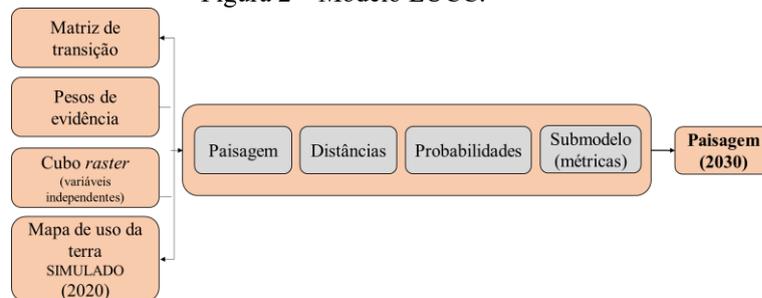
A análise de correlação entre os pesos de evidência foi realizada por intermédio do *functor* “*Determine Weights of Evidence Correlation*” do DINAMICA EGO. Para Soares-Filho et al. (2009), engloba os métodos *Cramer*, que utiliza a estatística qui-quadrado da tabela de contingência que liga duas variáveis, englobando a soma total dos valores envolvendo o mínimo do número de linhas e colunas. O índice de Incerteza da Informação Conjunta (*Join Information Uncertainty*) pode ser calculado com tabulação cruzada de áreas, 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.

Segundo Bonham-Carter (1994), índices *Cramer* e *Join Information Uncertainty* superiores a 0,5 indicam associação significativa entre pares das variáveis. Caso o valor exceda esse limiar, 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 observados foram inferiores a 0,5.

## 2.4 Simulação utilizando o Modelo 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 (SOARES-FILHO et al., 2009). A partir das configurações de execução, são gerados os mapas de probabilidades e o mapa final simulado (2020). 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 2).

Figura 2 – Modelo LUCC.



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

Conforme Soares-Filho (2007), a partir do functor “*repeat*”, é definido o número de vezes que o modelo fará a iteração e a atualização automática ocorre através do functor “*Mux Catgorial Map*”, que recebe o mapa inicial (2013), e em cada iteração armazena os mapas de probabilidade com modificações. Ressalta-se, ainda, que a função *repeat* foi executada sete vezes, gerando os mapas de probabilidades e mapas simulados dos anos entre 2013 e 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* utilizados neste modelo incluem o “*Calc Weights of Evidence Probability*”, que tem a função de calcular as probabilidades das evidências que influenciam a determinação de áreas suscetíveis à transição; o functor “*Calc Chage Matrix*”, que 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: o “*Patcher*” e o “*Expander*”.

O functor “*Patcher*” permite controlar os parâmetros de geração de manchas de forma mais isométrica, 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 (SOARES-FILHO, 2007; SOARES-FILHO et al., 2009). Nesse processo, são gerados os mapas de probabilidades de transições entre as classes de cobertura e uso da terra.

## 2.5 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 pode ter decaimento constante ou exponencial e considera a distância para aferir e assemelhar a distribuição de classes de células ao redor de uma célula central (GODOY; SOARES-FILHO, 2007).

Conforme (ALMEIDA et al., 2008; SOARES-FILHO et al., 2013), utilizou-se a função de decaimento constante em janelas múltiplas, e foram analisados os valores das janelas de 11x11 pixels. Tais índices de similaridade *fuzzy* com valores a partir de 0,50 são considerados 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, e quando comparados, apresentam as mudanças distribuídas por todo o mapa.

Por fim, é executado o modelo de formação de manchas e simulação de cenários futuros, responsável pela formação de manchas através do “*patcher*” e “*expander*” na simulação de cenários para o ano de 2020. Para tanto, adotam-se valores referentes à média, variância e índice de isometria de “*patcher*” e “*expander*”

para cada transição, sendo que tais parâmetros foram extraídos no próprio DINAMICA EGO.

Após esta etapa, foi executado o modelo para simular tendências futuras para simular tendências futuras da dinâmica ocorrida na paisagem até o ano de 2030. Os valores de parametrização da simulação do período 2013-2020 foram mantidos, referentes ao tamanho médio e variância das manchas de paisagem, percentual de “*patcher*” e “*expander*” e índice de isometria.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Cenário 2013-2020

As causas históricas e atuais das mudanças de uso e cobertura da terra, e dos altos índices de desmatamento perduram desde a liberação dos incentivos fiscais (VENTURIERE, 2007), acarretam marcas políticas de colonização, 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; PEREIRA et al., 2019), que retratam a paisagem atualmente, tornando-se desafiador o estudo deste grande “Complexo Territorial Natural” (BERUTCHACHVILI; BERTRAND, 1978).

Foram observadas 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; KOCH, 1977).

A classe que ocupa a maior extensão da área total da FLONA (13.078,16 km<sup>2</sup>) 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 (Tabela 1).

Tabela 1 - 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 <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
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
<b>Total</b>	<b>13.078,16</b>		<b>13.078,16</b>			

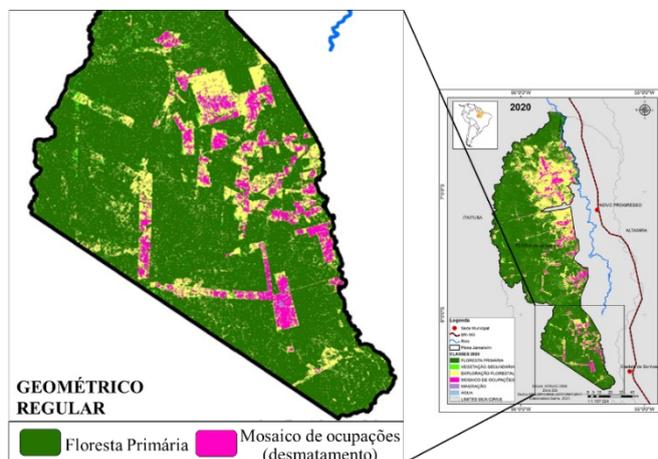
Elaboração: Os autores (2023).

Referente as mudanças de uso e cobertura 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 km<sup>2</sup>, 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 km<sup>2</sup> (3%). Houve redução de área na classe de floresta primária avaliado em 112,51 km<sup>2</sup> (0,87%), para um período de oito anos analisado, assim como, observou-se diminuição da classe mineração 472,54 km<sup>2</sup> (3,61%), e vegetação secundária 420,52 km<sup>2</sup> (3,22%).

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; RENNO, 2019) ao sul da FLONA do Jamanxim, a aproximadamente 30,60 km da Comunidade Castelo dos Sonhos, como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Padrão espacial de desmatamento (geométrico regular).



Fonte: A 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; RENNO, 2019).

### 3.2. Matriz de transição

De posse da matriz de transição de passos múltiplos (LUNA, 1977; SOARES-FILHO, 1998), que se refere à taxa anual de transição entre as classes, tem-se o resultado do cruzamento dos elementos que compõem a análise de uso e cobertura da terra - paisagem nos anos de 2013 e 2020, o qual 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 2).

Tabela 2 – Matriz de transição de passos múltiplos em valores percentuais.

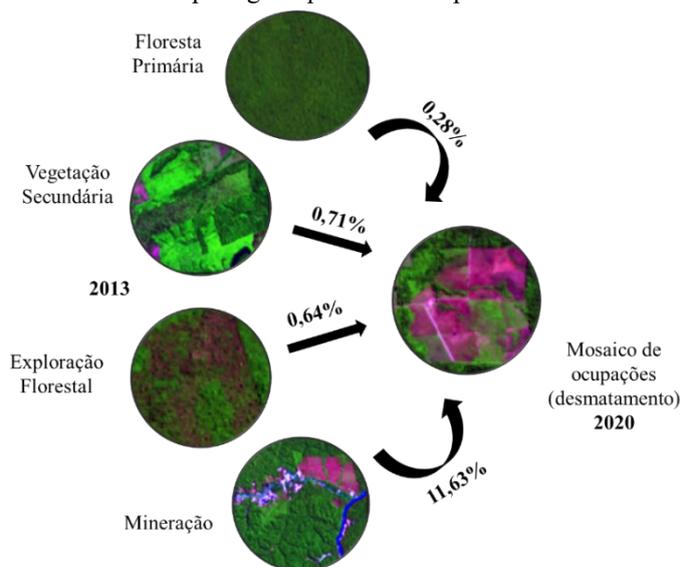
	DE/PARA	2020					
		FLORESTA PRIMÁRIA (1)	VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA (2)	EXPLORAÇÃO FLORESTAL (3)	MINERAÇÃO (4)	MOSAICO DE OCUPAÇÕES (5)	ÁGUA (6)
2013	FLORESTA PRIMÁRIA(1)	-	0,12	2,8	0,01	0,28	0
	VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA(2)	0	-	5,71	0	0,71	0
	EXPLORAÇÃO FLORESTAL(3)	0	0,14	-	0,04	0,64	0
	MINERAÇÃO(4)	0	0,08	0,00	-	11,63	0,09
	MOSAICO DE OCUPAÇÕES(5)	0,09	0,04	0,03	0,08	-	0,01
	ÁGUA(6)	0	0	0	0,76	0	-

Elaboração: Os autores (2023).

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 2).

As taxas indicam que 0,28% da floresta primária foi convertida para mosaico de ocupações (desmatamento) por unidade de tempo, ou seja, dentro desse período (de 2013 para 2020), o desmatamento está ocorrendo a uma taxa líquida de 28% ao ano, que é a quantidade de terra que irá mudar para outro estado (atributos de uso e cobertura da terra) (Figura 4).

Figura 4 – Percentual de células da paisagem que mudaram para desmatamento de 2013 para 2020.



Elaboração: Adaptado de Santos et al. (2019).

Além do mais, pode-se perceber mudança significativa de 11,63% da classe mineração para desmatamento, áreas específicas ao qual foi extraído o minério e posteriormente deixado um padrão de solo exposto às margens dos rios. Ou seja, houve uma mudança de atributos de uso e cobertura da terra da classe mineração para desmatamento.

Em estudo realizado por Marcuartú et al. (2017), verificou-se significativa diminuição inicial da mineração, de 0,64 km<sup>2</sup> nas áreas após a sua criação. Tal resultado confirma com o que foi 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, evidenciando que os rios são indicadores de desmatamento (SILVA et al., 2020).

Outra mudança observada é referente a 0,71% de vegetação secundária que foi convertida para desmatamento, e de 0,64% da classe exploração florestal para desmatamento (Figura 4). Tal processo se inicia a partir da abertura de trechos rodoviários para acesso às áreas que possuem madeira nobre (com valor comercial alto), e posteriormente é feita a derrubada da floresta remanescente, ateando-se fogo para a limpeza do pasto e criação do gado no interior da UC (TORRES et al., 2017; MONTEIRO, 2019). De modo geral, 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.

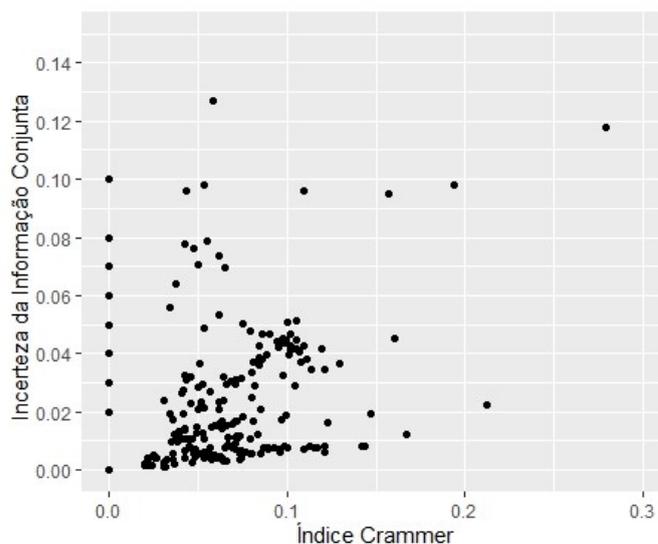
Até o dia 22 de outubro de 2020, segundo a atualização do banco de dados do ICMBio, foram embargadas áreas com um total aproximado de 42.097,68 hectares, e foram autuados atores sociais por executar extração mineral (ouro e cassiterita) no interior da FLONA do Jamanxim sem prévia autorização, por

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 transição de vegetação secundária para exploração florestal, no valor de 5,71%, justifica-se por ser considerada uma floresta descaracterizada – na qual é realizado o aproveitamento de madeira através de corte seletivo para uso alternativo, dando aspecto de floresta aberta 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 (1978), composto por estruturas sociais, econômicas e culturais, e são marcados pelo material abundante na região, que é a floresta de cipós.

Verificou-se nesta UC que nenhum valor ultrapassou 0,50, tanto para o índice *Crammer* quanto para o índice de Incerteza de Informação Conjunta, que atingiram valores máximos aproximadamente de 0,27 e 0,13, respectivamente (Figura 5).

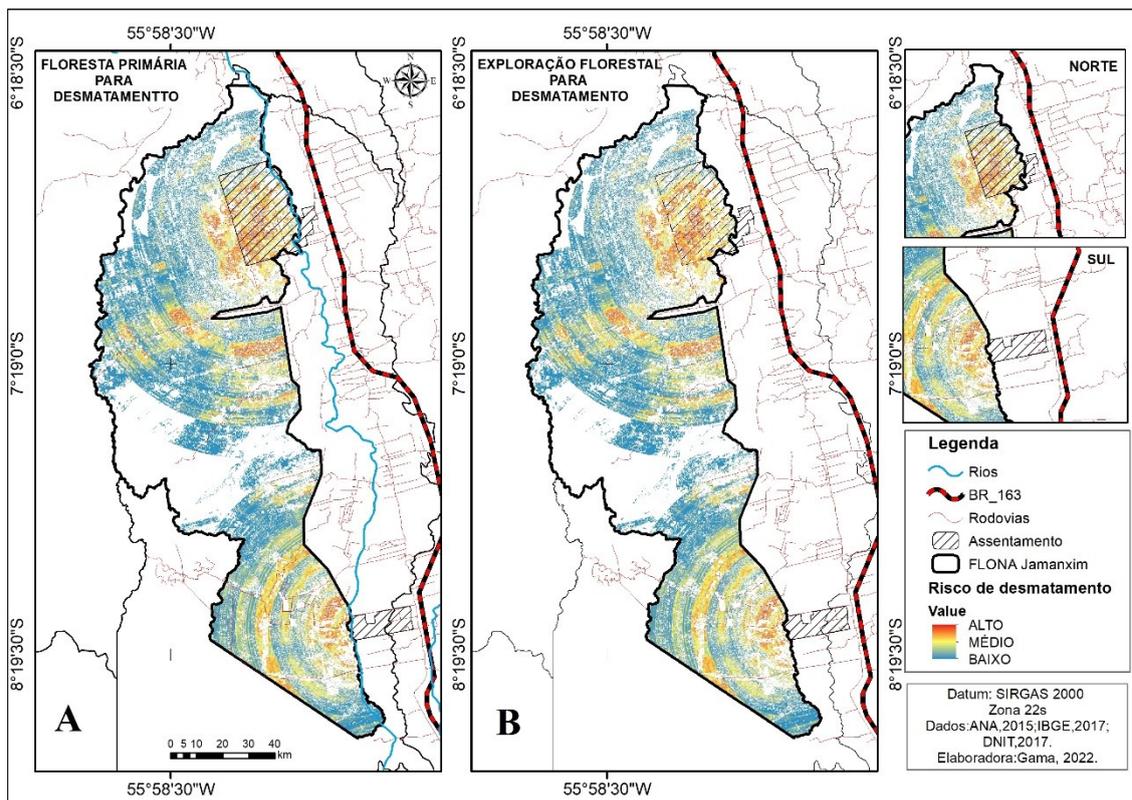
Figura 5 – Correlação entre os pesos de evidência.



Elaboração: Os autores (2023).

Os resultados ratificam que valores superiores a 0,50 em tais índices indicando associação significativa entre os pares de variáveis que demarcam áreas mais favoráveis às mudanças, 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 de floresta primária para desmatamento (Figura 6A); e probabilidade de transição de exploração florestal para desmatamento (Figura 6B).

Figura 6 – Probabilidades de transições da paisagem (2013/2020).



Elaboração: Os autores (2023).

Observa-se que há alta probabilidade de transição – ou risco de desmatamento – 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 à implantação das estradas, neste caso a BR-163 e instalação de projetos de assentamentos de imóveis rurais. Para Souza et al. (2018) a influência da proximidade de estradas passou a desempenhar um papel significativo para a exploração madeireira e pátios de estocagem.

Silva et al. (2020) afirmam 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 que a região está sob influência da Rodovia Transgarimpeira, que liga a BR-163 às regiões de mineração no Oeste.

Constatou-se ainda, que os trechos rodoviários que dão acesso aos projetos de assentamentos evidenciam que, ao norte e ao sul da FLONA do Jamaxim, foram abertos em função da estrada principal (BR-163), e atravessam horizontalmente esta UC. Consequentemente 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 pelo aumento dos riscos e das taxas de desmatamento.

Nesse caso, segundo Beroutchacvili e Bertrand (1978), é exposto um processo de territorialização do meio natural, em que a lógica 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, levando ao aparecimento de áreas com maior probabilidade de mudanças neste geossistema.

Visto que o escoamento de *commodities* nessa região ao longo do tempo no decurso da BR-163 vai de Cuiabá a Santarém, isso fortalece o agronegócio e ocasiona o desmatamento, pois, a produção de *commodities* agrícolas e de carne, depende de grandes extensões de áreas e contribuem para a perda florestal deixando rastros de desmatamento (CASTRO; CASTRO, 2022).

Os resultados analisados estão associados à retirada de madeira (CASTRO; CASTRO, 2022) e a conversão desses lugares em áreas desmatadas. A exploração madeireira ilegal abastece uma rede de serrarias que possibilitam o escoamento deste recurso para mercado nacional e internacional via Mato Grosso, além disso, parte da madeira era vendida e exportada via Santarém (ICMBIO, 2010).

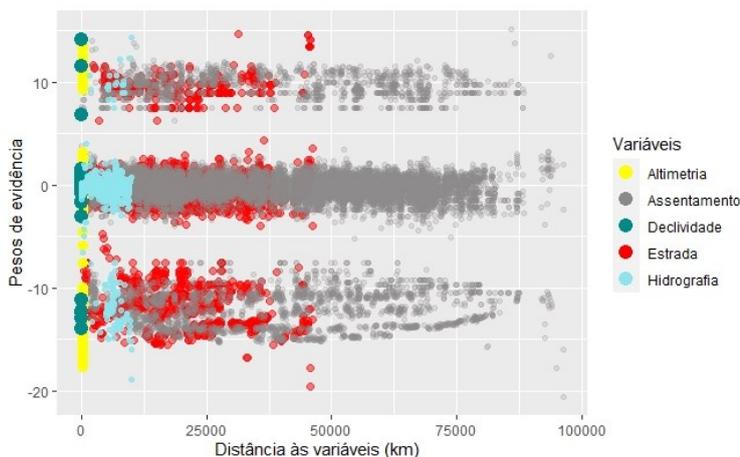
A aprovação do Novo Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012) semeou a esperança de mudanças

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, sendo que medidas legislativas foram propostas para abrir áreas destinadas a concessões de mineração (SILVA et al., 2020).

Diante do que foi abordado, analisando os pesos de evidência, observa-se que na FLONA do Jamanxim as variáveis que apresentaram maior influência e tendência às mudanças de floresta primária para desmatamento são distância a assentamento, distância a estradas e distância à hidrografia.

A variável assentamento apresenta alta probabilidade de propagação de desmatamento a distâncias entre 75.000 e 87.500 km (Figura 7), variável de maior influência que provavelmente está relacionadas às atividades econômicas desenvolvidas nesta área; consecutivamente, a variável distância a estradas apresenta maior probabilidade de mudança de floresta primária para desmatamento em uma faixa de 37.500 a 50.000 km de distância; e, por sua vez, a hidrografia apresenta probabilidade de mudanças em uma área de até 12.500 km.

Figura 7 – Áreas propícias às mudanças dado o conjunto de evidências.



Elaboração: Os autores (2023).

No que se refere às variáveis altimetria e declividade, é mais provável localizar áreas desmatadas em até 1 km de distância nos limites da FLONA do Jamanxim, com base nos dados levantados.

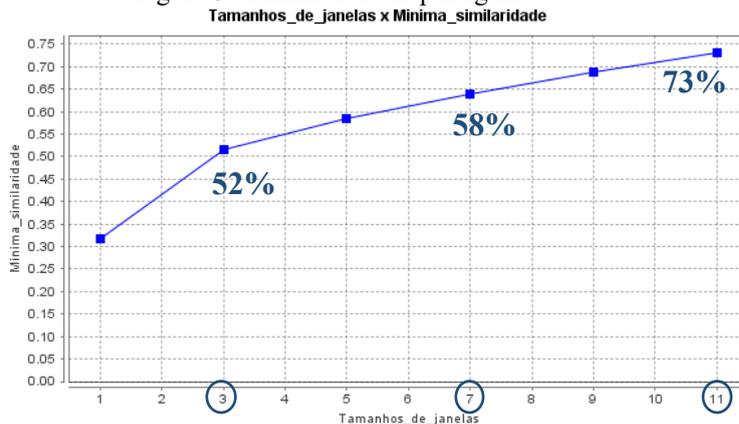
### 3.3. Cenário 2021-2030

De modo geral, projeta-se a perda da floresta primária até o ano de 2030 pode ocorrer em declives moderados à inferiores a  $8,34^\circ$ , e altitudes entre 180 e 510 m, em áreas de ocorrência de Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, e com distância de até 1 km a áreas desmatadas resultantes de ações antrópicas.

Dessa forma, nota-se a áreas desmatadas na FLONA do Jamanxim situam-se predominantemente próximo às estradas, assentamentos ou rios com rota de fácil acesso, e tais variáveis são consideradas indicadores potenciais de desmatamento, podendo ser utilizadas para a elaboração de políticas públicas nesta região. A expansão do agronegócio, construção de estradas, qualidade do solo e exploração madeireira são as principais condicionantes do desmatamento na Amazônia (TORRES et al., 2017; SOUZA et al., 2018; SANTOS JUNIOR, 2018; MONTEIRO, 2019; SILVA et al., 2020; CASTRO; CASTRO, 2022).

Na Figura 8 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 em conformidade com os critérios descritos na Seção 2.5. O modelo alcançou o valor de 0,73 na janela 11x11 para validação do modelo. Conforme expresso por Hagen (2003), Almeida et al. (2008) e Soares-Filho et al. (2013), pode-se afirmar que a simulação atingiu um valor aceitável de similaridade com a paisagem observada.

Figura 8– Similaridade da paisagem.



Elaboração: Os autores (2023).

Todavia, tais valores são considerados satisfatórios para a validação de uma classificação, indicando que na área que compõe a FLONA do Jamanxim, com 13.078,16 km<sup>2</sup>, 73% das células da paisagem simulada são exatamente iguais ao da paisagem de referência do ano de 2020.

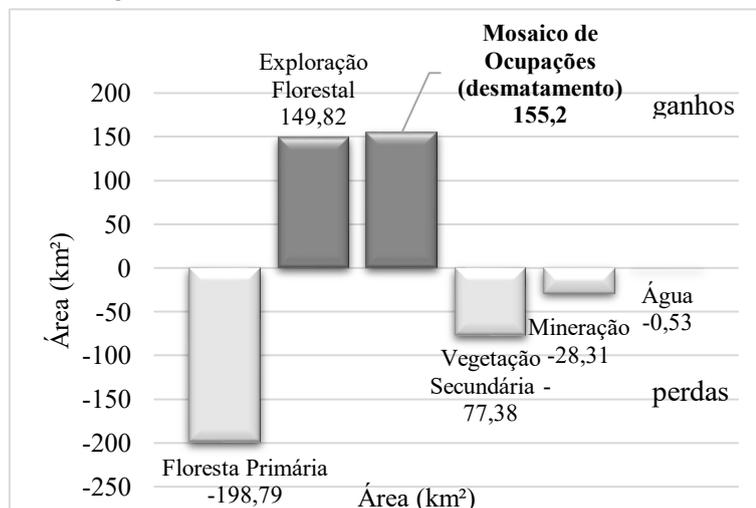
Para Castro et al. (2002), no município de Novo Progresso e no distrito de Castelo de Sonhos, município de Altamira, o padrão de ocupação é representado pela chegada da população na década 1970, atraídas pela construção da BR-163 e pelos programas de integração, com um formato de lotes de 2.500 hectares. 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), as mudanças no uso da terra, e o índice crescente de desmatamento.

O crescimento do emprego na pecuária e no setor de silvicultura e exploração florestal crescerá mais nas mesorregiões do Sudoeste e do Sul Amazonense e Sudoeste Paraense, 3% acima do crescimento na Amazônia. Essa é uma atividade importante na estrutura produtiva dessas mesorregiões, representando mais de 13% da produção da Amazônia, assim como, os mecanismos do modelo parecem deter as tendências econômicas de modificação no uso da terra (CARVALHO; DOMINGUES, 2016).

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 (Figuras 9 e 10).

O cenário gerado apresenta perda de 198,79 km<sup>2</sup> da classe floresta primária no período de 10 anos, e perda florestal total de 1,52% até o ano de 2030, sendo que provavelmente também haverá perda de 77,38 km<sup>2</sup> de vegetação secundária; 28,31 km<sup>2</sup> da classe mineração e 0,53 km<sup>2</sup> de água.

Figura 9 - Perdas e ganhos de cobertura e uso da terra na FLONA do Jamanxim de 2021 a 2030.

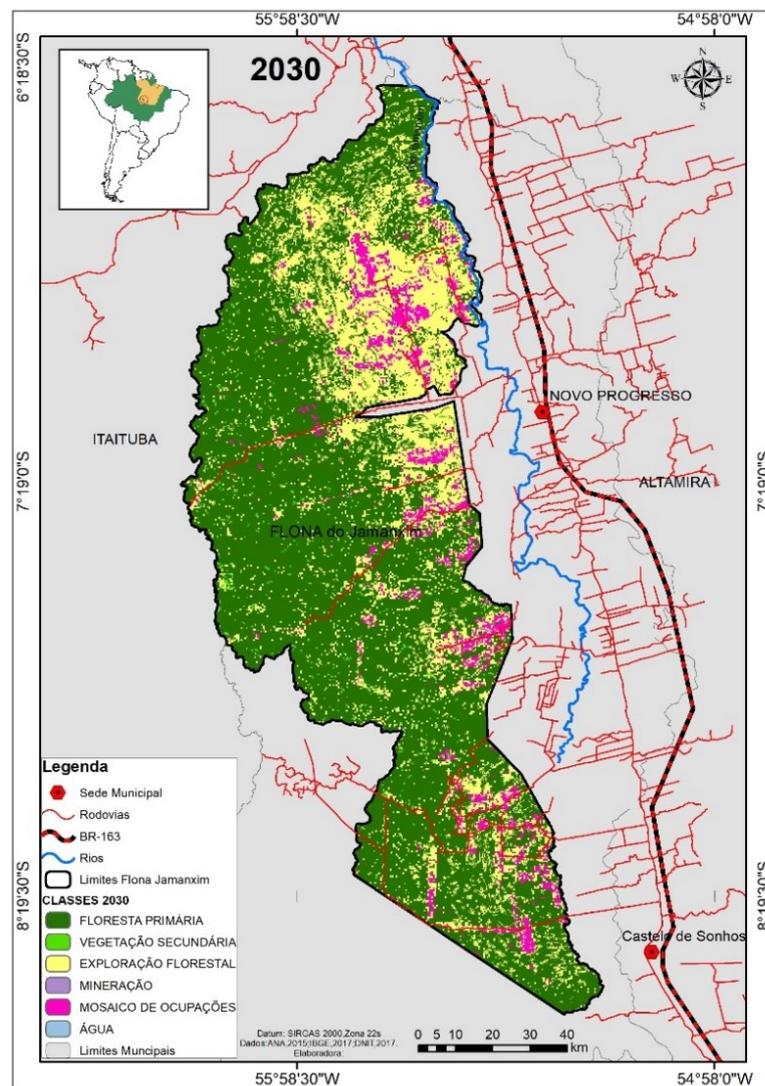


Elaboração: Os autores (2023).

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 de políticas públicas, a fim de aferir perda de serviços ambientais e bens econômicos (SOARES-FILHO et al., 2006; FEARNSTIDE et al., 2009; SOARES-FILHO et al., 2010; SUAREZ; SOARES-FILHO, 2013; PINHEIRO et al., 2020; GAMA et al., 2021).

A tendência prevista de desmatamento e exploração florestal apresenta aumento considerável de 155,2 km<sup>2</sup> e 149,82 km<sup>2</sup>, respectivamente. O desmatamento e a exploração florestal englobam diversas causas, a começar pela impunidade aos crimes ambientais, retrocesso em políticas ambientais, aumento da atividade pecuária, extração ilegal de madeira, mineração, estímulo a grilagem de terras, implantação de objetos econômicos – construção de estradas, dentre outros.

Figura 10 – Mapa de cobertura vegetal e uso da terra simulado para o ano de 2030 na FLONA do Jamanxim.



Elaboração: Os autores (2023).

A implantação e pavimentação de estradas são consideradas determinantes dos futuros padrões de desmatamento na Amazônia, a exemplo da 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, obra decorrente de interesses econômicos que visavam interligar a região produtora de soja do Mato Grosso a portos internacionais.

O asfaltamento de rodovias planejadas e não planejadas incentiva a ampliação da fronteira agrícola e da exploração madeireira (TORRES et al., 2017; MONTEIRO, 2019), o que pode transformar áreas de florestas nativas em grandes áreas de pastagem e terras agrícolas, levando conseqüentemente à perda dos

serviços ecossistêmicos e perturbação da resiliência da paisagem.

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).

Historicamente, o Pará lidera o ranking de desmatamento na Amazônia Legal, com 162.631,00 km<sup>2</sup> de área desmatada, equivalente a 34,57% de taxas de desmatamento acumulado, com índice estimado de 5.257,00 km<sup>2</sup> até 2021 (INPE, 2022). Na FLONA do Jamanxim, o incremento de desmatamento chega a alcançar área de 190,02 km<sup>2</sup> neste mesmo período (INPE, 2022). Além do mais, o desmatamento pode causar redução da resiliência climática em diferentes escalas, redução regional dos níveis de precipitação, e diminuição de 25% na absorção do carbono até 2050, respectivamente, em unidades de conservação (SOARES-FILHO et al., 2008; SOARES-FILHO et al., 2010; MARENGO; SOUZA JUNIOR, 2018).

Segundo dados do PRODES do INPE, até agosto de 2020, foi detectado um total de 10,7 km<sup>2</sup> de desmatamento na Amazônia Legal. No Estado do Pará, o desmatamento acumulado foi de 4.462,33 km<sup>2</sup> equivalente a 41,84%. No mês de agosto de 2020, nos limites da FLONA do Jamanxim, foi detectado cerca de 100,82 km<sup>2</sup> 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 km<sup>2</sup>, equivalente a 10,55% de desmatamento acumulado (INPE, 2020). Os maiores índices observados de desmatamento nesta floresta foram nos anos de 2009 (103,35 km<sup>2</sup>), 2015 (92,52 km<sup>2</sup>), 2019 (100,81 km<sup>2</sup>) sendo que em 2020 passou para o valor total de 122,32 km<sup>2</sup> (INPE, 2020), considerado o maior índice observado em toda a história.

O desmatamento em áreas protegidas na Amazônia, em conjunto com a degradação florestal, perturbação natural e remoção de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), liberam 56% do carbono terrestre, por ser esta área detentora de extensas florestas (MMA, 2019). A efetivação das UCs, em específico a FLONA do Jamanxim, utilizado como estratégia de contenção de desmatamento na Amazônia, estabelecida no PPCDam são responsáveis pela maior conservação da floresta e consequente armazenamento de CO<sub>2</sub>, utilizada como moeda no mercado de carbono.

A simulação LUCCE aponta para o aumento considerável do desmatamento ao norte e ao sul da FLONA do Jamanxim até o ano de 2030 (Figura 10), áreas estas próximas ao assentamento PDS Brasília e Vale do Jamanxim.

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 a estradas e hidrografia, que, segundo Silva et al. (2020), configuram os intitulados corredores de expansão do desmatamento.

Diante do exposto, convém salientar que, em nível local, precisa-se criar resiliência da paisagem, e o que ocasiona tal resistência é a floresta primária em pé. A Amazônia possui 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.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Floresta Nacional do Jamanxim apresentou significativas mudanças de cobertura e uso da terra entre os anos de 2013 e 2020 a qual foi possível analisar aumento representativo da classe exploração florestal equivalente a 4,68% de retirada de madeira de forma desordenada e/ou planejada, e aumento de 3% de desmatamento, os quais podem estar associados à criação de gado e exploração madeireira, que são atividades de grande impacto ambiental. É possível observar a criação do gado de forma extensiva no interior da UC, caracterizado por um padrão espacial de desmatamento do tipo geométrico regular, ao qual é composto por extensas áreas de fazendas.

Conforme a modelagem espacial e projeções futuras na FLONA do Jamanxim, observou-se um cenário de desmatamento e exploração florestal com aumento considerável de 155,20 km<sup>2</sup> e 149,82 km<sup>2</sup>,

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 na exportação de *commodities* e fortalecimento econômico do agronegócio, que configuram a paisagem atual e projetam cenários futuros de desmatamento para esta região.

O cenário de desmatamento gerado apresenta perda de 198,79 km<sup>2</sup> 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 km<sup>2</sup> de vegetação secundária e 0,53 km<sup>2</sup> 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 menos que novas estratégias de conservação sejam estabelecidas pelo poder público.

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

Ao centro da FLONA do Jamanxim, observam-se áreas prioritárias para melhor conservação da floresta primária e se constata um corredor de floresta nativa. Estas 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.

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 no aumento acelerado do desmatamento, por facilitar o acesso e traslado de pessoas e recursos.

As técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, apresentam-se como primordiais para mapear a superfície terrestre e as mudanças na paisagem associadas a geociências, 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; atualização do plano de prevenção e controle de desmatamento; elaboração de políticas públicas que atendam às 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 UC de grande importância para a conservação ambiental e para o desenvolvimento social e econômico.

## Referências

- 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. *Using neural networks and cellular automata for modelling intra-urban land-use dynamics*. **International Journal of Geographical Information Science**, Londres, 22 (9), 943-963. 2008. DOI: 10.1080/13658810701731168
- ALMEIDA, A. S.; VIEIRA, I. C. 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). 2014. DOI: 10.4136/ambi-agua.1410
- ALMEIDA, A. S. de. **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. 2015.

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Catálogo de metadados**. 2017. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home>. Acesso em: 22 jul. 2020.
- ANGELSEN, A.; BROCKHAUS, M.; SUNDERLIN, W. D.; VERCHOT, L. V. (eds) 2013. **Análise de REDD+**: Desafios e escolhas. CIFOR, Bogor, Indonésia.
- ANA. Agência Nacional das Águas. **Catálogo de metadados geoespaciais**. Brasília: ANA, 2015. 17 p.
- BARROS, R. A.; BARBOSA, R. S. 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. 2015.
- BEROUTCHACVILI, N. L. & BERTRAND, G. 1978. **Le Géosystème ou Système territorial naturel**. *Revue Géographique des Pyrénées et du sud-ouest*. Toulouse, 167-180p.
- BECKER, B. K. Espaço e Desenvolvimento desigual: uma percepção da década de 1970. In: VIEIRA, I. C. G. **As Amazônia**: ensaios sobre geografia e sociedade na região amazônica 1. 1ed. Rio de Janeiro: Garamond, 520p. 2015.
- 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. Política Pública e o desafio da participação social na gestão de unidades de conservação. **Holos** 06 (34):117-129. 2018.
- BONINI, I.; RODRIGUES, C.; DALLACORT, R.; JUNIOR, B.; CARBALHO, M. Rainfall and deforestation in the municipality of Colíder, southern Amazon. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 29 (4):483-493. 2015.
- BONHAM-CARTER, G. **Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS**. Ontario: Pergamon, 305p. 1994.
- BRANCO, T. L.; ALMEIDA, C. M. de; FRANCISCO, C. N. Modelagem Dinâmica Espacial das Mudanças de Uso e Cobertura da Terra na Região Hidrográfica da Baía da Ilha Grande-RJ: um Enfoque Sobre Comunidades Tradicionais e Unidades de Conservação. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 74, n. 1, p. 137-158, 2022. DOI: 10.14393/rbcv74n1-59436. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/59436>. Acesso em: 30 maio. 2023.
- BRASIL. **Lei Federal n. 9985 de 2000**. Brasília, DF. 2000.
- BRASIL. **Lei 12.651, de 25 de maio de 2012**. Novo Código Florestal. Brasília, DF. 2012.
- BRASIL, INPE. **INPE consolida 7.536 km2 de desmatamento na Amazônia em 2018**. 2019. 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.
- BLOCH, T.; SACKS, R. Comparing machine learning and rule-based inferencing for semantic enrichment of bim models. **Automation in Construction**, Israel, v. 91, 07 2018
- CASTRO, E. M. R. DE; CASTRO, C. P. Desmatamento na Amazônia, desregulação socioambiental e financeirização do mercado de terras e de commodities. **Novos Cadernos NAEA**, v. 25 n. 1, p. 11-36, jan-abr 2022.
- 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.
- CARVALHO, T. S.; DOMINGUES, E. P. Projeção de um cenário econômico e de desmatamento para a Amazônia Legal brasileira entre 2006 e 2030. **Nova Economia**, 26 (2), May-Aug. 2016. DOI: 10.1590/0103-6351/2665
- COSTA, G.; SILVA, G.; BRAMBILLA, C.; LOBATO, L.; CUNHA, L.; TELES, V.; NUNES, D.; CAVALCANTE, M. 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. 2015.
- COELHO, A. Dos S.; BARROS, M. N. R.; DAMASCENO, J. R. P. 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. 2017.
- CHAGAS, C. da S.; FONTANA, A.; CARVALHO JUNIOR, W.; CAIRES, S. M. de. Atributos Topográficos na diferenciação de argissolos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo** 37:1441-1453. 2013. DOI 10.1590/S0100-06832013000600002
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE (DNIT). **Mapas e Bases dos Modos de Transportes**. 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/bit/bitmodosmapas#maprodo>. Acesso em: 22 jul. 2020.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Embrapa Solos Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos/ Humberto Gonçalves dos Santos ... [et al.]**. – 5.ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa. 2018.
- FARIA, W. R.; HADDAD, E. A. 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. 2019. DOI: 10.1590/0101-41614913wfe
- FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. de A. C.; KEIZER, E. W. H.; MALDONATPO, F. D.; BARBOSA, R. I.; NOGUEIRA, E. M. 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. 2009. DOI: 10.1590/S0102-77862009000200009.
- FU, P.; RICH, P. M. Design and implementation of the solar analyst: An arcview extension for modeling solar radiation at landscape scales, in Annual Esri User Conference, SanDiego. **Proceedings**. 1999. Disponível em: <https://proceedings.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap867/p867.htm>. Acesso em: 20 jul. 2020.
- GAMA, L. H. O. M.; PAIVA, P. F. P. R.; SILVA JUNIOR, O. M. da; RUIVO, M. de L. P. 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. 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i2.11609.
- GODOY, M.; SOARES-FILHO, B. **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. 2007.
- HAGEN, A. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. **International Journal of Geographical Information Science**. Kensington, v. 17, n. 3, p.235-249. 2003. DOI: 10.1080/13658810210157822
- HARRIS, I.; JONES, P. D.; OSBORN, T. J.; LISTER, D. H. Grids de alta resolução atualizados de observações climáticas mensais - o conjunto de dados CRU TS3.10. **International Journal of Climatology** 34 (3):623-642. 2014.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE (IBAMA). **Instrução Normativa 1, de 09 de janeiro de 1991**. Diário Oficial da União de 23/01/1991 Seção 1, p. 1701. 1991. Disponível em <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/IBAMA/IN0001-090191.PDF>. Acesso em 04 nov. 2021.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Uso da Terra**, 3ª Edição. Diretoria de Geociências Coordenação de Recursos Naturais Rio de Janeiro, RJ – Brasil. 2013.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Malha municipal**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso: 02 fev. 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Novo Progresso: Panorama** 2018. 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/novo-progresso/panorama>. Acesso em: 05 jul. 2020a.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Banco de Informações**

- Ambientais. Um novo instrumento para organização e preservação.** 2020. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>. Acesso em: 10 set. 2020b.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produto Interno Bruto dos municípios – PIB-munic.** 2020 no prelo. [bit.ly/3ur7H4X](https://bit.ly/3ur7H4X). 2020c.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e Estados.** 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/novo-progresso.html>. Acesso em: 27 jan. 2022.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBIO). **Plano de Manejo da Floresta Nacional do Jamanxim, localizada no estado do Pará.** v. 1-Informações Gerais, Curitiba-PR. 2010. Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades/coservacao/flona\\_jamanxim.pdf](https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades/coservacao/flona_jamanxim.pdf). Acesso: em 01 jul. 2020.
- INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL (ISA). **Situação atual das Unidades de Conservação.** 2019. Disponível em <https://uc.socioambiental.org/>. Acesso em: 07 set. 2020.
- INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO DA REFORMA AGRÁRIA (INCRA). **Acervo Fundiário.** 2017. Disponível em: <http://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/acv.php>. Acesso em: set. 2020.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **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.** 2019.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite – Projeto Prodes.** 2020 no prelo. [terrabrasilis.dpi.inpe.br/](http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/). 2020.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **TerraBrasilis.** Desmatamento PRODES. Disponível em <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/map/deforestation?hl=pt-br>. Acesso em 20 jan. 2022.
- INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA (IPAM). **Qualquer solução para a mudança climática global requer a Amazônia em pé.** [Notícias]. 2021. Disponível em: <https://ipam.org.br/qualquer-solucao-para-a-mudanca-climatica-global-requer-a-amazonia-em-pe/>. Acesso em: 30 jan. 2022.
- KAWASHIMA, R. **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. 2015.
- 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.
- LI, Z.; ZHU, Q.; GOLD, C. **Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology.** Boca Raton: CRC press. 2005.
- LUNA, A. H. **Introdução aos métodos de Monte Carlo avançado.** Departamento de Estatística UFMG. 1977. Disponível em: [http://www.est.ufmg.br/portal/arquivos/rts/RTE\\_01\\_2019.pdf](http://www.est.ufmg.br/portal/arquivos/rts/RTE_01_2019.pdf). Acesso: 22 fev. 2020.
- MARCUARTÚ, B. C.; COELHO, A. dos S.; MANESCHY, R. Q.; CANTO, O. d. 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. DOI: 10.5016/estgeo.v15i2.12569
- MARENGO, J. A.; SOUZA JUNIOR, C. **Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia.** São Paulo. 33p. 2018.
- 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.
- MATRICARDI, E. A. T.; AGUIAR, A. S.; MIGUEL, E. P.; ANGELO, H.; GASPAR, R. de O. Modelagem do desmatamento na região do MATOPIBA. **Pesquisas Agrárias e Ambientais.** Nativa, Sinop 6 (2):198-

206. 2018. doi: 10.31413/nativa.v6i2.5092

- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Cadastro Nacional de Unidades de Conservação. Unidades de Conservação Brasileiras**. 2019. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs>. Acesso em 07 jul. 2020.
- MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 425p. 2005.
- MOLINARO, C. A.; LEAL, A. A. F. 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. 2018. DOI: 10.7213/rev.dir.econ.soc.v9i1.16535
- MONTEIRO, S. M. C. **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. 2019.
- 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. Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. **Science** 6 344 (6188):1118-23. 2014. DOI: 10.1126/science.1248525
- PALHETA DA SILVA, J. M.; MEDEIROS, G. R. N.; CHAGAS, C. A. N. Geografia e mineração no Pará. **Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Pará (IHGP)**, Belém, n. 1, v. 01, p. 01-12. 2014.
- 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.
- PEIRÓ, A. M. T.; PINTO, E. M.; BARBOSA, F. R. DE A.; DE SOUZA, J. D.; DA SILVA, W. L. P. **Relatório de Análise do Mercado de Terras do Acre – SR14 (RAMT/2021-2022)**. Aprovado por: Peritos Federais Agrários – PFA/SR.14 Comitê de Decisão Regional – CDR/SR.14. Rio Branco – AC, dez. 2021. Disponível em: [https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/relatorio-de-analise-de-mercados-de-terras/RAMT\\_SR14\\_AC\\_2021\\_final.pdf](https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/relatorio-de-analise-de-mercados-de-terras/RAMT_SR14_AC_2021_final.pdf). Acesso em: 25 jan. 2023.
- 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. **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. 2019.
- PINHEIRO, E.; CAMINI, N.; SOARES, M.; SUMIDA, S. 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. 2020.
- SANTOS, M. A Natureza do Espaço: **Técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Hucitec. 308p. 1996.
- 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, Leonardo Sousa et al. Paisagem rural da microrregião de Tomé-Açu sob a ótica bertrandiana. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 12, n. 7, p. 2694-2715, fev. 2020. ISSN 1984-2295. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/242041>>. Acesso em: 20 jun. 2023. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.7.p2694-2715>.
- SANTOS, D.; SALOMÃO, R.; VERÍSSIMO, A. **Fatos da Amazônia 2021**, março de 2021, 86p. 2021.
- SILVA, A. C. O.; FONSECA, L. M. G.; KORTING, T. S.; ESCADA, M. I. S. A spatio-temporal Bayesian Network approach for deforestation prediction in an Amazon rainforest expansion frontier. **Spatial Statistics** 35:100393. 2020.
- SIQUEIRA-GAY, J.; YANAI, A. M.; LESSMANN, J.; PESSÔA, A. C. M.; BORJA, D.; CANOVA, M.; BORGES, R. C. Pathways to positive scenarios for the Amazon forest in Pará state, Brazil. **Biota**

**Neotropica** 20 (1): e20190905. 2020. DOI: 10.1590/1676-0611-BN-2019-0905

- SOARES-FILHO, B. S. **Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1998.
- SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; MCGRATH, D. Cenários de desmatamento para a Amazônia. **Estudos Avançados** 19 (54):137-152. 2005. DOI: 10.1590/S0103-40142005000200008
- SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P. Modeling conservation in the Amazon basin. **Nature** 440:520-523. 2006. DOI: 10.1038/nature04389
- SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; ARAÚJO, W. L.; VOLL, E. Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. **Megadiversidade** 3 (12):75-86. 2007.
- SOARES-FILHO, B. S.; DIETZSCH, L.; MOUTINHO, P.; SUAREZ, A. F.; RODRIGUES, H.; PINTO, E.; MARETTI, C.; SUASSUNA, K.; SCARAMUZZA, C. A.; VASCONCELOS, F. **Reduction of carbon emissions associated with deforestation in Brazil: The role of the Amazon region Protected Areas Program (ARPA)**. Brasília: IPAM, 1:32p. 2008.
- SOARES-FILHO, B. S.; RODRIGUES, H.; COSTA, W. **Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO**. Centro de Sensoriamento Remoto (IGC/UFMG) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil. 2009. p. 114. Disponível em [http://www.csr.ufmg.br/dinamica/tutorial/Dinamica\\_EGO\\_guidebook.pdf](http://www.csr.ufmg.br/dinamica/tutorial/Dinamica_EGO_guidebook.pdf). Acesso em: 17 maio 2020.
- SOARES-FILHO, B. S.; DIETZSCH, L.; MOUTINHO, P.; SUAREZ, A. F.; RODRIGUES, H. 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. 2010.
- SOARES-FILHO, B. S.; RODRIGUES, H.; FOLLADOR, M. A hybrid analytical-heuristic method for calibrating land-use change models. **Environmental Modelling & Software** 43:80-87. 2013.
- SOARES-FILHO, B. S.; RAJÃO, R.; MACEDO, M.; CARNEIRO, A.; COSTA, W.; COE, M.; RODRIGUES, H.; ALENCAR, A. **Cracking Brazil's Forest Code**. **Science** 344 (80):363-364. 2014. DOI: 10.1126/science.1246663
- SOUZA, A. A. de A.; PONTES, A. N.; ADAMI, M.; NARVAES, I. da S. A CONTRIBUIÇÃO DAS ESTRADAS E O NOVO PADRÃO DESMATAMENTO E ALTERAÇÃO DA COBERTURA FLORESTAL NO SUDOESTE PARAENSE. **Revista Brasileira de Cartografia, [S. l.]**, v. 69, n. 9, 2018. DOI: 10.14393/rbcv69n9-44089. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44089>. Acesso em: 20 jun. 2023.
- SUAREZ, A. F.; SOARES-FILHO, B. S. Estudo da mudança de uso e cobertura do solo na bacia do rio Formiga-MG. **Revista Brasileira de Cartografia** 65 (3):417-429. 2013.
- SCHIELEIN, J.; BORNER, J. Recent transformations of land-use and land-cover dynamics across different deforestation frontiers in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy** 76:81-94. 2018.
- TOBLER, W. A. 1970. Computer movie simulating urban growth in the Detroit Region. **Economic Geography**. v. 46, n. 2, p. 234-240.
- TORRES, M.; DOBLAS, J.; ALARCON, F. D. **Dono é quem desmata**. 1ª. ed. São Paulo: Urutu-branco, p. 280. 2017.
- TUPIASSU, L.; GROS-DESORMAUX, J. R.; CRUZ, G. A. C. Regularização fundiária e política ambiental: incongruência do cadastro ambiental rural do Pará. **Revista Brasileira de Políticas Públicas**. v. 7, n. 2. 2017. DOI: <https://doi.org/10.5102/rbpp.v7i2.4777>
- UHL, C.; BARRETO, P.; VERÍSSIMO, A.; VIDAL, E.; AMARAL, P.; BARROS, A. C.; SOUZA JUNIOR, C.; JOHNS, J.; GERWING, J. Natural resource management in the Brazilian Amazon. **BioScience** 47 (3):160-168. 1997. DOI 10.2307/1313035

- USGS. **United for States Geological Survey**. 2020. Disponível em <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 07 ago. 2020.
- VALE, J. R. B.; COSTA, J. A. da.; SANTOS, J. F. dos; SILVA, E. L. S. da.; FAVACHO, A. T. 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. 2018. DOI: 10.18764/2446-6549.v4n13p26-44
- VERÍSSIMO, A.; PEREIRA, D. **Produção na Amazônia Florestal**: características, desafios e oportunidades. *Parc. Estrat. Brasília-DF* 19 (38):13-44. 2014.
- VITEL, C. S. M. N. **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. 2009.
- WORLD WIDE FUND FOR NATURE (WWF). **Mineração na Amazônia Legal e Áreas Protegidas. Situação dos direitos minerários e sobreposições**. [Relatório]. 2018. Disponível em: <https://nacab.org.br/relatorio-wwf-2018-mineracao-na-amazonia-legal-e-areas-protegidas-situacao-dos-direitos-minerarios-e-sobreposicoes/>. Acesso em: 22 ago. 2021.

## Agradecimentos

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

## Contribuição dos Autores

A autora L. H. O. M. G. realizou a conceptualização, a curadoria dos dados, a análise forma, a investigação, a metodologia, a validação, a visualização, a redação -minuta inicia e participou também juntamente com os demais autores da redação -revisão e edição. A autora A. S. DE A. realizou a aquisição de financiamento, administração do projeto, supervisão. A autora P. F. P. R. P. realizou a conceitualização. O autor O. M. DA S. J. participou na análise formal. O autor J. S. N. realizou a redação - revisão e edição.

## Conflitos de Interesse

Os autores declaram que não há conflitos de interesse.

## Biografia do autor principal



Mestra em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGEO da Universidade Federal do Pará (UFPA), linha de pesquisa Dinâmicas Socioambientais e Recursos Naturais na Amazônia. Especialista em Geoprocessamento e Georreferenciamento de Imóveis Rurais - EGGIR na Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA. Especialista em Geoprocessamento e Análise Ambiental NUMA/UFPA. Graduada em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis pela Universidade Federal Rural da Amazônia-UFRA. Atualmente doutoranda em Ciências Ambientais na UFPA.



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.