

**MODELAGEM AMBIENTAL APLICADA À SIMULAÇÃO DE
DESMATAMENTO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ JARAUÁ,
ALVARÃES, AMAZONAS**

**ENVIRONMENTAL MODELING APPLIED TO DEFORESTATION
SIMULATION IN THE IGARAPÉ JARAUÁ RIVER BASIN, ALVARÃES,
AMAZONAS**

**MODELACIÓN AMBIENTAL APLICADA A LA SIMULACIÓN DE
DEFORESTACIÓN EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL IGARAPÉ
JARAUÁ, ALVARÃES, AMAZONAS**

João Cândido André da Silva Neto¹ <http://orcid.org/0000-0001-7313-9837>

Diego Rodrigues Macedo² <http://orcid.org/0000-0002-1178-4969>

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi elaborar modelos de simulação para desmatamento para bacia hidrográfica do Igarapé Jarauá, localizada no município de Alvarães, no Estado do Amazonas. Para se identificar as áreas de desmatamento utilizou-se dados da plataforma do MapBiomias. Foram elaborados modelos de simulação com estimativas para desmatamento para as décadas de 2020, 2030, 2040 e 2050, utilizando-se a plataforma Dinâmica EGO, seguindo as seguintes etapas: 1- calibração do modelo; 2- simulação inicial e ajustes do modelo; 3 validação e 4- simulação final. O modelo de simulação apresentou para janela 5x5, similaridade *Fuzzy* mínima de 0.75, correspondendo a 75%, e similaridade *Fuzzy* máxima de 0,86 correspondendo a 86%, desse modo, apresentando valores aceitáveis de validação. Verificou-se uma transição das áreas de Floresta Ombrófila Densa por usos com atividades de agropecuárias, no ano de 2010 as áreas de desmatamento correspondiam a 1,22%, em 2020 com foram observados 4,48% da área bacia. A partir do modelo de simulação de desmatamento, estimou-se 6,44% no ano de 2030, 8,25% no ano de 2040 e 9,93% em 2050 da área desmatada na bacia.

Palavras-chave: Modelagem Ambiental. Desmatamento. Amazônia.

ABSTRACT

This survey aimed to elaborate models of simulation for deforestation for the Igarapé Jarauá river basin, located in the municipality of Alvarães, in the State of Amazonas. To identify the areas of deforestation, we used data from the MapBiomias platform. Simulation models were prepared with deforestation estimates for the 2020s, 2030s, 2040s and 2050s, using the Dinâmica EGO platform

¹Professor Adjunto do Departamento de Geografia, Instituto de Filosofia Ciências Humanas e Sociais da Universidade Federal do Amazonas. E-mail: joaocandido@ufam.edu.br

²Professor Adjunto do Departamento de Geografia, Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail: diegorm@ufmg.br

following the steps: 1- model calibration; 2- initial simulation and model adjustments; 3 validation and 4- final simulation. The simulation model presented for a 5x5 window, a Fuzzy minimum similarity of 0.75 corresponds to 75%, and a maximum Fuzzy similarity of 0.86 corresponds to 86%, thus presenting acceptable validation values. There was a transition of the areas of Dense Ombrophylous Forest for uses with agricultural activities, in the year 2010 the areas of deforestation corresponded to 1.22%, in 2020 with 4.48% of the basin area. From the deforestation simulation model, it was estimated 6.44% in the year 2030, 8.25% in the year 2040 and 9.93% in 2050 of the deforested area in the basin.

Keywords: Environmental Modeling. Deforestation. Amazônia.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue elaborar modelos de simulación de la deforestación para la cuenca hidrográfica del Igarapé Jarauá, ubicada en el municipio de Alvarães, en el Estado de Amazonas. Para identificar las áreas de deforestación se utilizaron datos de la plataforma MapBiomas. Se prepararon modelos de simulación con estimaciones de deforestación para los años 2020, 2030, 2040 y 2050, utilizando la plataforma Dinâmica EGO, siguiendo los pasos: 1- calibración del modelo; 2- simulación inicial y ajustes del modelo; 3 validación y 4- simulación final. El modelo de simulación del presente estudio presentó, para una ventana de 5x5, una similitud Fuzzy mínima de 0,75, correspondiente al 75%, y una similitud Fuzzy máxima de 0,86, correspondiente al 86%, presentando así valores de validación aceptables. Fue encontrado una transición de las áreas de Bosque Ombrófilo Denso para usos con actividades agropecuarias, en el año 2010 las áreas de deforestación correspondieron al 1.22%, en el 2020 con el 4.48% del área de la cuenca. Del modelo de simulación de deforestación se estimó un 6,44% en el año 2030, un 8,25% en el año 2040 y un 9,93% en el 2050 del área deforestada en la cuenca.

Palabras clave: Modelacion Ambiental. Deforestación. Amazonas.

INTRODUÇÃO

Domínio Amazônico é o cinturão de máxima diversidade biológica do planeta, no qual destaca-se a extraordinária continuidade de suas florestas, a grandeza de sua rede hidrográfica e as sutis variações de ecossistemas (AB'SÁBER, 2003). No entanto a floresta Amazônica vem sofrendo um processo gradativo de desmatamento, que vem se intensificando desde a década de 1970, marcado pela substituição das áreas de florestas por áreas com atividades agropecuárias e de exploração madeireira. Este processo é observado com maior intensidade nas “bordas” da Amazônia Legal (conhecido como “arco do desmatamento), e com menor intensidade no interior da floresta (FEARNSIDE, 2005; ALVES, 2001). A transformação de sistemas naturais em sistemas agrícolas, pode resultar em diversos problemas de ordem

socioambiental, como perda de biodiversidade, intensificação dos processos erosivos, poluição das águas, assoreamento dos rios, entre outros relacionados aos processos de apropriação da natureza.

Apesar de grandes áreas manterem-se ainda preservadas, as taxas de desflorestamento são preocupantes, em especial no “arco do desmatamento”. Esta perda de floresta impacta no decréscimo da biodiversidade, nas alterações climáticas e na qualidade de vida da população amazônica (FEARNSIDE, 2005). As paisagens no Domínio Amazônico constituem habitats naturais frágeis, cujo processo de resiliência das comunidades biológicas muitas vezes é dificultadas pela perda de suas características originais, e sua recuperação pode levar séculos, ou não ocorrer naturalmente, devido à ruptura de sua dinâmica natural (ALBAGLI, 2001).

Na Amazônia, apesar do “arco do desmatamento” ser a região que apresenta as maiores taxas de desmatamento, o interior da Amazônia chama atenção pelo aumento das taxas de desmatamento a partir da década de 1990 (MAPBIOMAS, 2022). Assim o uso da terra pode ser entendido como um importante elemento na alteração das paisagens naturais, nesse sentido, a categoria Paisagem, torna-se importante para a análise geográfica dos aspectos físico-naturais associados aos aspectos antrópicos no Domínio Amazônico.

A Paisagem pode ser entendida como um conceito operacional, ou seja, um conceito que nos permite analisar o espaço geográfico sob uma dimensão, como a conjunção de elementos naturais e tecnificados, socioeconômicos e culturais (SUERTEGARAY, 2001). Os estudos de Paisagens contribuem, para o desenvolvimento de modelos de simulação, que abrangem, em geral, quadros espaciais na ordem de dezenas de quilômetros ou mais, como extensões de municípios, e intervalos temporais na ordem de anos a dezenas de anos (SOARES-FILHO, *et al.*, 2007).

Neste sentido, o uso da terra pode ser compreendido a partir de uma perspectiva têmporo-espacial, que possibilita a elaboração modelos de estimativas futuras para o desmatamento. Assim, esses modelos de simulação espacial visam auxiliar o entendimento dos mecanismos casuais e processos de desenvolvimento de sistemas ambientais, que possibilitará a compreensão de como evoluem de diferentes cenários que se traduzem por quadros socioeconômicos, políticos e ambientais (RODRIGUES *et al.*, 2007). Desta forma, a simulação é vista como um instrumento de aquisição de conhecimento, a partir da integração da informação sobre sistemas dinâmicos, representada pelos modelos de paisagem, que simulam mudanças dos atributos do ambiente através do território geográfico (SOARES-FILHO, *et al.*, 2007).

Nesse contexto o objetivo do presente trabalho foi elaborar modelos de estimativas para desmatamento para bacia hidrográfica do Igarapé Jarauá, para as décadas de 2020, 2030, 2040 e 2050. A referida bacia está localizada no município de Alvarães, no Estado do Amazonas, estando localizada no interior do Domínio Amazônico. O presente estudo abordou uma área que ainda carece de estudos voltados para compreensão das dinâmicas que ocorrem na interface sociedade e natureza, como os processos de uso da terra e dos estudos da análise geográfica da paisagem.

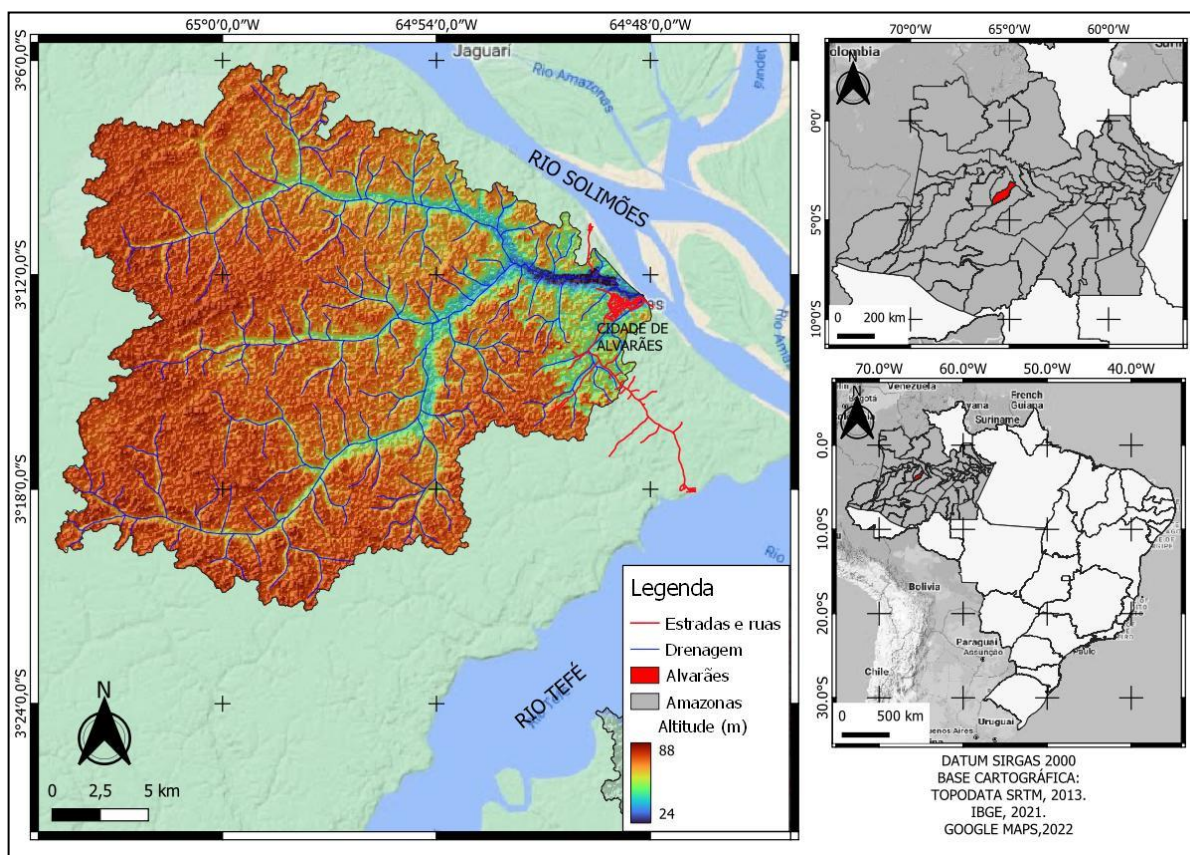
ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho abordou como área de estudo a bacia hidrográfica do Igarapé Jarauá no município de Alvarães, localizada na região do Médio Solimões no estado do Amazonas. A escolha da bacia hidrográfica no município de Alvarães, deve-se principalmente pelo processo de uso e ocupação que ocorre de modo mais intenso próximo da sede municipal, em que importante considerar, quanto ao uso da terra, que o acesso ao município de Alvarães exclusivamente por vias fluviais.

O município de Alvarães está localizado no interior do Estado do Amazonas, e sua sede é considerada de porte pequeno com características especiais (OLIVEIRA; SCHOR, 2008). Devido à ausência de infraestrutura que possibilite exercer plenamente as funções urbanas e por sua localização geográfica, a relação com a calha central do rio é complicada e este encontra-se dependente das cidades médias e pequenas de responsabilidade territorial do estado.

Segundo o IBGE (2022a), a população estimada para o município de Alvarães para o ano de 2018 é de aproximadamente 16.000 habitantes, sendo aproximadamente 56% de população urbana. A distância de Manaus, capital do Estado do Amazonas é de 668 km por via fluvial. A sede do município de Alvarães está inserida na bacia hidrográfica do Igarapé da Jarauá, localiza-se na margem direita do Rio Solimões, apresentando uma área de aproximadamente 53000 hectares (Figura 1).

Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do Igarapé Jarauá, Alvarães – AM.



Org: Autores, 2023.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos tiveram como aportes técnico-operacionais o Sistema de Informação Geográfica, pois estes possibilitaram o manuseio de um conjunto de dados, que podem ser integrados e, posteriormente visualizados e explicados por meio da representação dos mapas temáticos, gráficos e tabelas. Destaca-se a importância da utilização de *Softwares* gratuitos, como os aplicativos QGIS 3.36 (QGIS, 2022) e Dinâmica EGO 6.0 (DINAMICA PROJECT, 2022), cujo propósito principal é o processamento de uma gama representativa de dados além de tornar as geotecnologias acessíveis ao público cada vez maior.

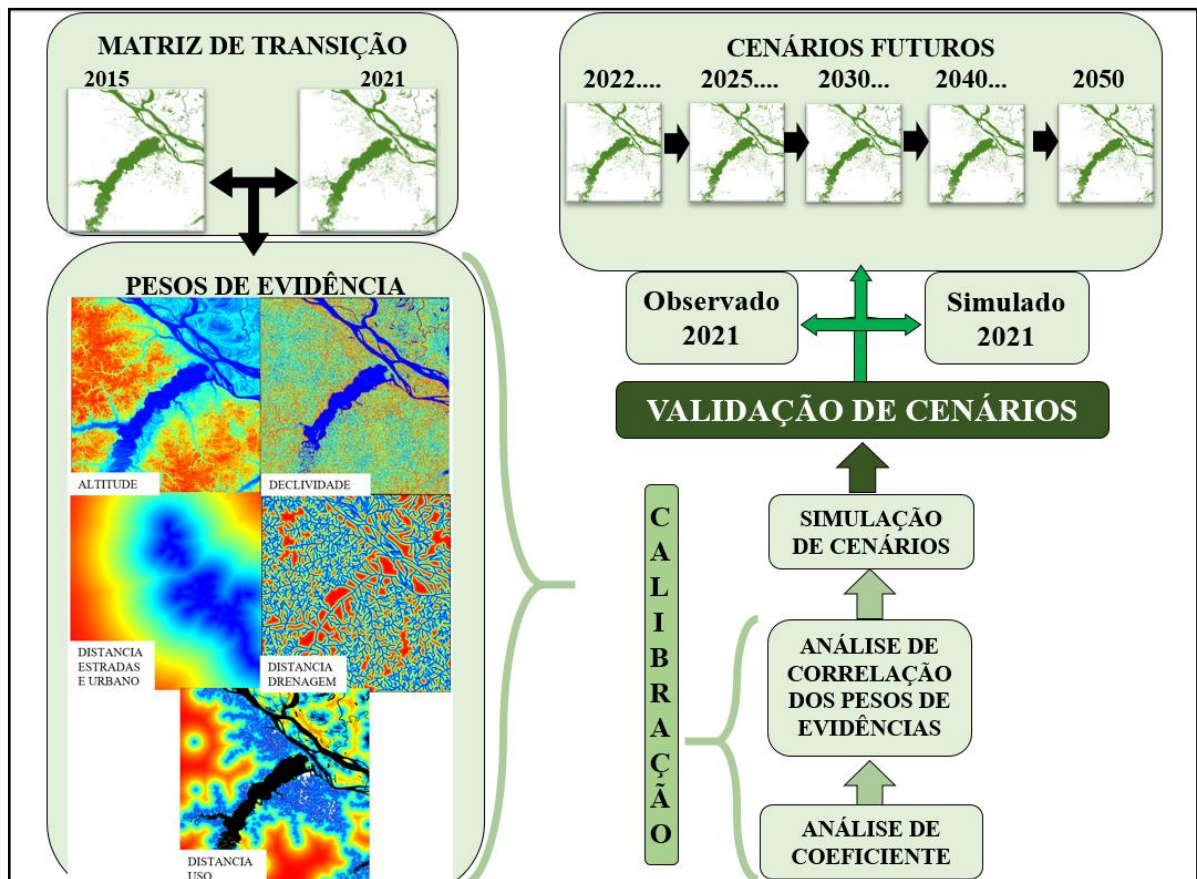
Para se alcançar o objetivo de realizar o mapeamento temporal de uso da terra, foram realizados mapeamentos com intervalos de 10 (dez) anos, das décadas de 2010 e 2020, e posteriormente a elaboração de modelos para cenários de desmatamento para as décadas de 2030, 2040 e 2050. A caracterização físico-ambiental da área de interesse, foi realizada a partir de consulta e compilação de material bibliográficos do BDIA - Banco de Informações Ambientais do IBGE (2022b), Embrapa (2006), e em banco de dados disponíveis do IBGE

(2022) e Mapeamento Geológico do Estado do Amazonas (MAIA; MARMOS, 2004). Para se identificar os tipos de usos da terra e cobertura vegetal na área de estudo, utilizou-se dados da plataforma do MapBiomas, a partir da realização do mapeamento temporal do uso da terra foram estimadas projeções para cenários futuros, posteriores à década 2020, utilizando-se a plataforma do Dinâmica EGO, esse processamento foi realizado com o apoio Centro de Sensoriamento Remoto (CSR- UFMG).

A etapa seguinte consistiu na elaboração de cenários com estimativas de desmatamento para as décadas de 2020, 2030, 2040 e 2050, a elaboração desses modelos de simulação para estimativas de desmatamento, seguiu a metodologia de Soares-Filho *et al.* (2002; 2004; 2009), Rodrigues, *et al.* (2007); Piontekowski (2014); Marques *et al.*, (2022); Santos *et al.*, (2022). Inicialmente se calculou a matriz de transição para os anos de 2015 – 2021, e posteriormente, se estabeleceu os pesos de evidências, para se verificar as correlações das transições de desmatamento com variáveis contínuas como distâncias da drenagem, distâncias das estradas e áreas urbanas, distância das áreas desmatadas, altitude e declividade.

A partir do coeficiente dos pesos de evidências foi possível verificar a correlação entre as variáveis selecionadas e o fenômeno analisado, no caso do presente trabalho, o desmatamento, assim analisar as variáveis que mais contribuem ou repelem o desmatamento na área. Em seguida realizou-se a análise de coeficiente dos pesos de evidências, posteriormente realizou-se a análise de correlação entre as variáveis estáticas, onde se verificou a ocorrência ou não de autocorreção entre essas variáveis. Na sequência realizou-se análise de métricas da paisagem, ajustes do modelos, e em seguida foram elaboradas as simulações e validação do modelo, para enfim serem gerados os cenários futuros para desmatamento na área de estudos (Figura 2).

Figura 2 - Fluxograma para elaboração dos cenários futuros de uso da terra no Dinâmica EGO.



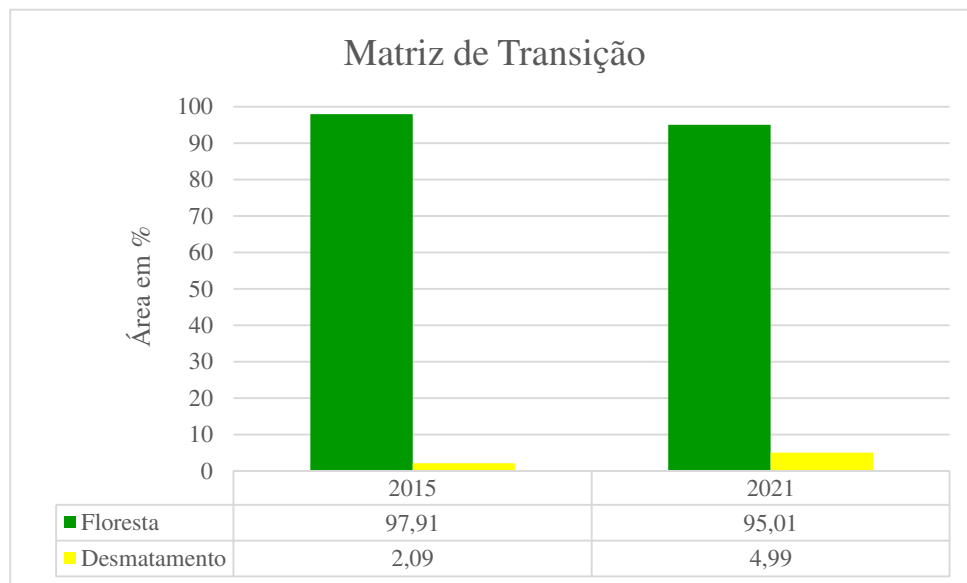
Org: Autores 2023.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

MODELAGEM PARA SIMULAÇÃO DE DESMATAMENTO

A matriz de transição corresponde às mudanças que uma determinada área pode alterar os incrementos de determinadas classes ao longo de um período de tempo, assim, a matriz de transição possibilita a identificação em porcentagem de mudança de uso terra que mudará para outro estado (SOARES-FILHO, *et al.* 2009; SANTOS, *et al.* 2022). No presente estudo, a matriz de transição foi estabelecida a partir do ano inicial 2015 e final 2021, verificou-se uma matriz transição global para desmatamento de aproximadamente 3% em seis anos, correspondendo à 0,5% de taxa anual de desmatamento para área de estudo (Gráfico 01).

Gráfico 01 - Matriz de transição



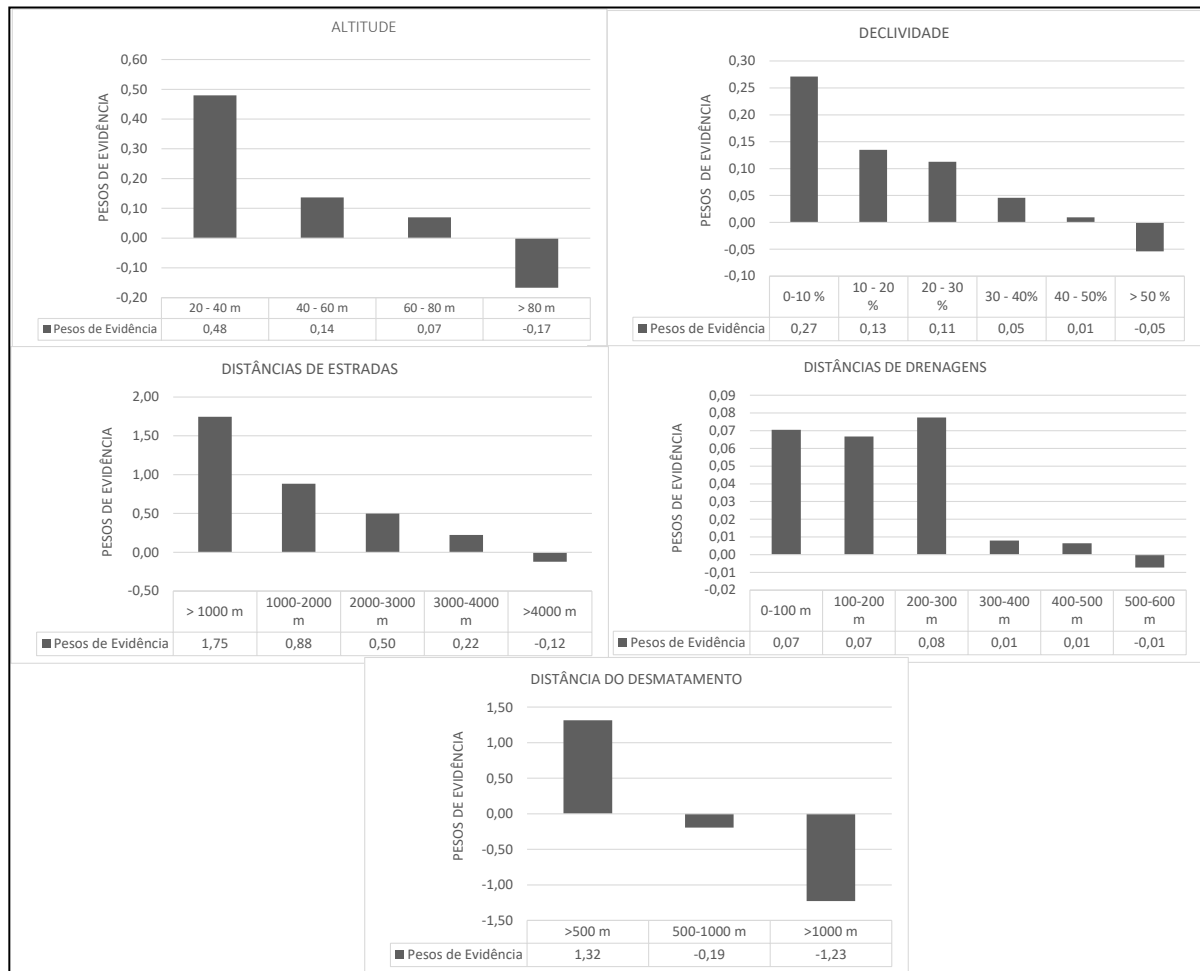
Org: Autores, 2023.

Os Pesos de Evidência representam a influência de cada variável na probabilidade espacial de uma transição (SOARES-FILHO, *et al.* 2004). No presente estudo utilizou-se as variáveis: declividade, altitude, distância euclidiana de desmatamento, distância euclidiana das estradas e distância euclidiana das drenagens como variáveis que potencialmente influenciam o desmatamento.

Para as variáveis como altitude e declividade, observou-se os maiores pesos de evidência em altitudes menores, assim como maiores pesos para as declividades menores. Assim, é possível verificar que as altitudes entre 20 e 60 metros, e declividades até 20% apresentam maiores influências para o desmatamento, inversamente, as maiores altitudes e declividades repelem o desmatamento na área de estudo. Segundo Soares-Filho, *et al.* (2009), as primeiras faixas de declividade apresentam associação positiva, favorecendo o desmatamento, principalmente a primeira, em contrapartida, as faixas finais apresentam valores negativos, repelindo assim o desmatamento.

Quanto à influência das distâncias das estradas, das drenagens e do desmatamento inicial, observou-se uma relação direta do desmatamento, em que as distâncias de estradas exercem influência positiva até 4000 metros de distância, as distâncias de drenagens até 300 metros, e as distâncias das áreas previamente desmatadas pesos positivos até 500 metros para novas manchas de desmatamento. (Figura 3).

Figura 3 - Pesos de Evidência



Org: Autores, 2023.

Quanto à análise de correlação entre as variáveis, não foi observada auto-correlação para o índice de *Cramer* e *Joint Uncertainty* (Incerteza de Informações Conjuntas), pois todos índices apresentaram valores abaixo de 0,5. Caso as variáveis apresentassem correlação acima de 0.5 deveriam ser desconsideradas e excluídas do modelo (Quadro 1).

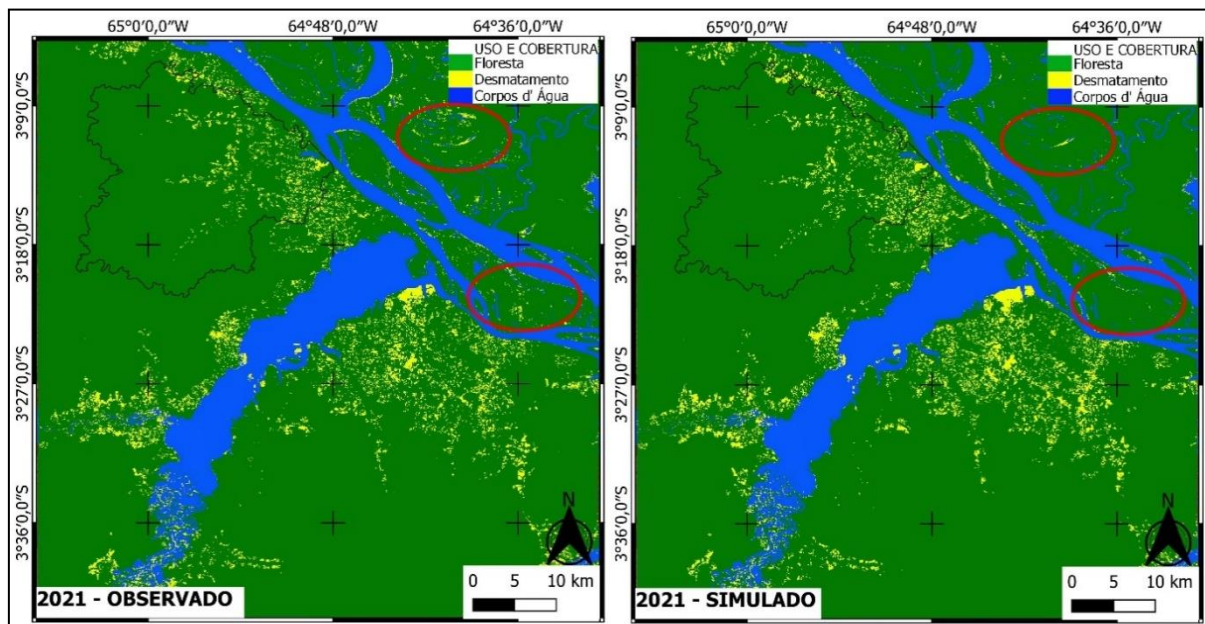
Quadro 1 - Correlação de variáveis

Transição De	Transição Para	Primeira Variável	Segunda Variável	Índice de Cramer	Joint Uncertainty
Floresta	Desmatamento	Altitude	Declividade	0,24	0,11
Floresta	Desmatamento	Altitude	Drenagem	0,10	0,01
Floresta	Desmatamento	Altitude	Drenagem	0,16	0,03
Floresta	Desmatamento	Altitude	Distância Desmatamento	0,23	0,08
Floresta	Desmatamento	Declividade	Drenagem	0,05	0,01
Floresta	Desmatamento	Declividade	Estradas	0,05	0,01
Floresta	Desmatamento	Declividade	Distância Desmatamento	0,04	0,01
Floresta	Desmatamento	Drenagem	Estradas	0,08	0,01
Floresta	Desmatamento	Drenagem	Distância Desmatamento	0,03	0,00
Floresta	Desmatamento	Estradas	Distância Desmatamento	0,15	0,08

Org: Autores, 2023.

A validação para simulação do modelo de 2015 a 2021, foi realizada após a etapa de calibração, em que se comparou o mapa simulado do ano de 2021 e o mapa observado de 2021. Foi observado um alto nível de similaridade, onde o modelo simulado de 2021 subestimou apenas pontualmente o desmatamento em área de vegetação natural próxima do Rio Solimões (Figura 4).

Figura 4 - Mapas Observado de 2021 e Simulado de 2021.

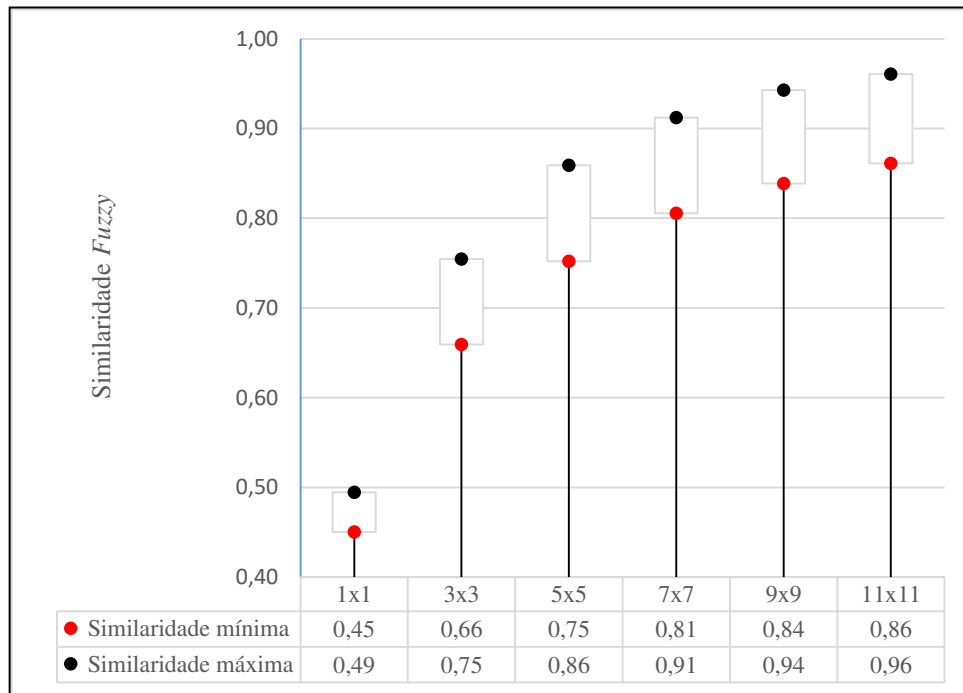


Org: Autores 2023.

A validação do modelo para a simulação do ano de 2021 foi gerada a partir do decaimento exponencial, implementado com o método de similaridade *fuzzy*, em que se avaliou a concordância entre o mapa observado (real), e o mapa simulado (estimado). As similaridades mínimas variaram de 0,45, para as janelas de 1x1, a 0,88 para as janelas de 13x13. As similaridades máximas variaram de 0,49, para as janelas de 1x1, a 0,97 para as janelas de 13x13. Considerando que para fins de validação aceitável as janelas 5x5 devem apresentar similaridade superiores 0.5, correspondendo à 50%, além de se considerar os padrões de distribuição espacial do desmatamento entre o Mapa Observado e Mapa Simulado (BARNI, 2009; PIONTEKOWSKI, 2014; MARQUES, *et. al.* 2022). (Gráfico 2).

O modelo de simulação do presente estudo apresentou para janela 5x5, similaridade mínima de 0.75, correspondendo a 75%, e similaridade máxima de 0,86 correspondendo a 86%, desse modo, apresentando valores aceitáveis de validação.

Gráfico 2 – Similaridade *Fuzzy* gerados pelo modelo para diferentes tamanhos de janela.



Org: Autores 2023.

DINÂMICA DE DESMATAMENTO

O presente trabalho fez a análise do desmatamento a partir de 2010, visto que na primeira década dos anos de 2000, ocorreram substituição das áreas de florestas por áreas de agropecuárias, com incrementos anuais de áreas desmatadas, bem como de regeneração de área desmatadas (MAPBIOMAS, 2022). Ao se analisar as áreas de floresta e desmatamento na bacia hidrográfica do Igarapé Jarauá, observou-se um aumento gradativo a partir do ano de 2010, que apresentou no período 638 hectares de área desmatada, para aproximadamente 2370 hectares de área desmatada no ano de 2020. Essas áreas desmatadas correspondem principalmente às áreas utilizadas para pastagem e pequenas culturas (Tabela 1).

Tabela 1- Uso da terra na bacia hidrográfica do Igarapé Jarauá.

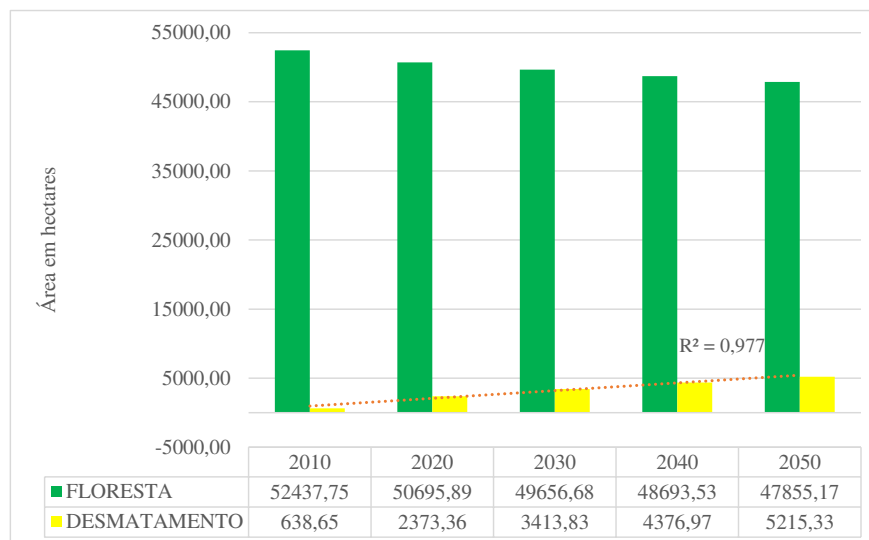
	Áreas em Hectares				
	2010	2020	2030	2040	2050
FLORESTA	52437,75	50695,89	49656,68	48693,53	47855,17
DESMATAMENTO	638,65	2373,36	3413,83	4376,97	5215,33
	Área em Porcentagem				
FLORESTA	98,78	95,52	93,56	91,75	90,17
DESMATAMENTO	1,22	4,48	6,44	8,25	9,83

Org: Autores, 2023.

O processo de uso da terra no interior do Estado do Amazonas, apresentam características peculiares, por apresentar um baixo percentual de área desmatada, uma realidade de que se contrapõe aos altos índices de desmatamentos em regiões como o arco do desmatamento. Compreender o processo de uso da terra e seus impactos nas alterações das paisagens na região do Médio Solimões é importante para se entender que os impactos ambientais ocorrem nessas áreas em proporções menores, mas com intensidade semelhantes à outras regiões da Amazônia Brasileira. No caso da área de estudo, a dinâmica de uso e ocupação da terra se distingue de outras regiões do Brasil, principalmente, por conta da impossibilidade de acesso por vias terrestres, por não apresentar ligação entre os municípios por estradas.

A partir da elaboração dos modelos de projeções futuras para desmatamento na área de estudo, verificou-se o aumento do desmatamento para 3413 hectares no ano de 2030, um incremento de mais de 1000 hectares, comparado ao ano de 2020. A estimativa de desmatamento para o ano de 2040, apresentou 4376 hectares de área desmatada, um aumento de aproximadamente 900 hectares, quando comparado com a projeção do ano de 2030 (Gráfico 3).

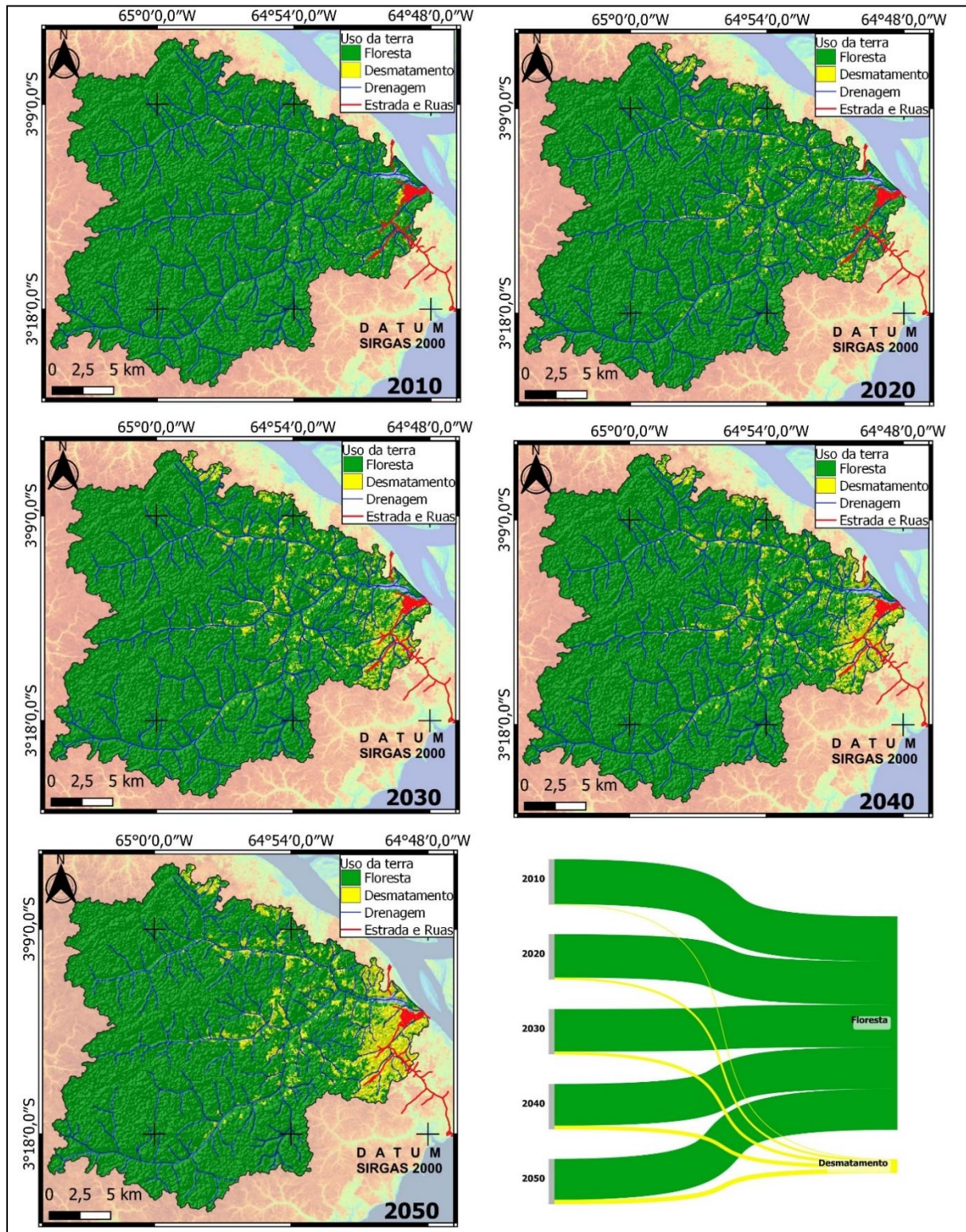
Gráfico 3 – Projeções de desmatamento para bacia hidrográfica do Igarapé Jarauá – Alvarães, Amazonas.



Org: Autores, 2023.

O modelo simulado para o ano de 2050, observou-se a área desmatada de 5215 hectares, um aumento de aproximadamente 800 hectares, quando comparado com a projeção do ano de 2030.

Figura 4 - Uso da terra na bacia hidrográfica do Igarapé Jarauá.

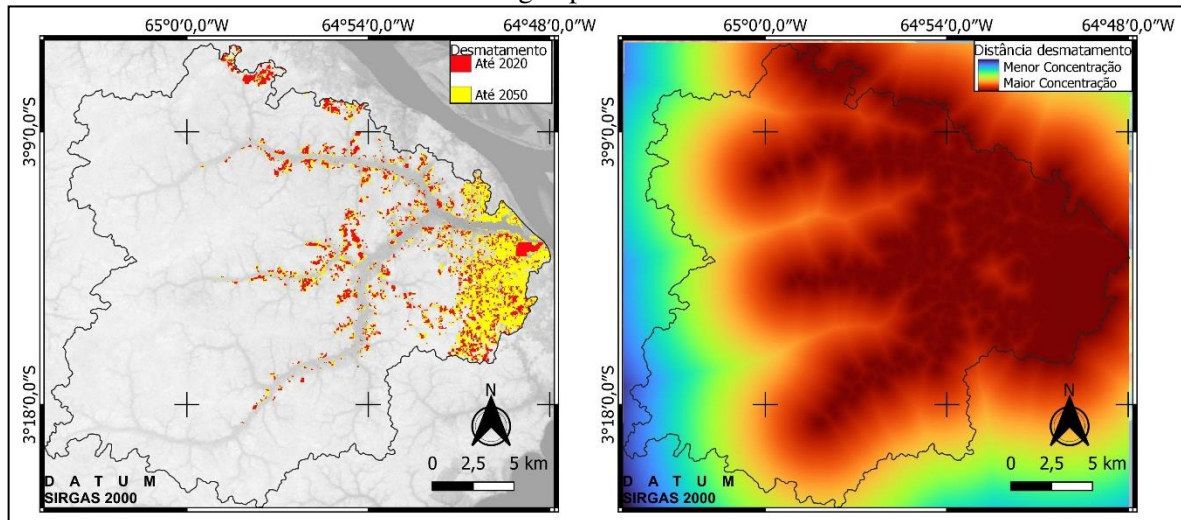


Org: Autores, 2023.

Quanto à dinâmica do desmatamento, observa-se a expansão a partir no baixo curso da bacia, na margem direita do Igarapé Jarauá onde localiza-se a sede municipal de Alvarães. A partir do ano de 2020, observa-se a expansão das manchas de desmatamento no sentido do

médio curso da bacia, acompanhando seus principais afluentes, nas projeções do desmatamento para os anos de 2030, 2040 e 2050 as manchas de desmatamento se consolidam e expandem, principalmente em pontos do médio curso e próximo da área urbana de Alvarães onde verificou-se maior concentração para o desmatamento (Figura 5).

Figura 5 - Mapa de manchas de desmatamento e distância de desmatamento na bacia hidrográfica do Igarapé Jarauá.



Org: Autores, 2023.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bacia hidrográfica do Igarapé Jarauá tem passado transformações na paisagem, oriundas do processo de apropriação da natureza, em que se observa a substituição de áreas de florestas por atividades agropecuárias, bem como verifica-se nas projeções de cenários de desmatamento para as décadas seguintes, principalmente a expansão das manchas de desmatamento. Como foi apresentado nos pesos de evidência, há uma relação direta do desmatamento com as proximidades de estradas, áreas urbana, em que se verifica a expansão e consolidação das manchas de desmatamento, e surgimento de novas manchas.

Quanto à metodologia utilizada, os resultados foram satisfatórios no que tange a calibração, simulação e validação dos modelos, verificando-se similaridade significativa na análise comparada entre dado observado e simulado. O software Dinâmica EGO, mostrou-se uma potente ferramenta para modelagem ambiental, que possibilita o processamento de uma representativa gama de dados, cujos resultados alcançados podem contribuir para subsidiar futuros diagnósticos-prognósticos socioambientais, de modo a participar de maneira efetiva na elaboração de políticas públicas que visem promover o planejamento e gestão de recursos hídricos, diretrizes para uso da terra, buscando o melhor aproveitamento das potencialidades

existentes, mitigação dos impactos negativos à biodiversidade amazônica e à degradação dos recursos naturais. Assim, a compreensão de cenários futuros para desmatamento possibilita o entendimento de como usos da terra intensos podem desencadear processos de degradação ambiental nessas paisagens, quando associadas às características físico-naturais como altos índices pluviométricos, solos e terrenos suscetíveis à erosão.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo Programa de Apoio à Pós-doutores (PRODOC). À PROPESP Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação – PROPESP, da Universidade Federal do Amazonas UFAM. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais.

REFERÊNCIAS

AB’SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 151p.

ALBAGLI, S. Amazônia: fronteira geopolítica da biodiversidade. In: **Parcerias Estratégicas**, nº 12, Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia Centro de Estudos Estratégicos, 2001. p. 05-19.

ALVES, D. S. O processo de desmatamento na Amazônia. In: **Parcerias Estratégicas**, nº 12, Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia Centro de Estudos Estratégicos, 2001. p. 259-275.

BARNI, P. E. **Reconstrução e asfaltamento da Rodovia BR-319: Efeito “dominó” pode elevar as taxas de desmatamento no Sul do Estado de Roraima**. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais.) – INPA, Universidade Federal da Amazônia, Manaus. 2009. 136p.

DINAMICA PROJECT. 2022. **Dinamica-EGO**. Disponível em: <https://www.csr.ufmg.br/dinamica> Acesso em: 11 de ago. 2022.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. 2ª Ed. Rio e Janeiro: EMBRAPA, 2006. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs> Acesso em: 10 jan. 2023.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. **Megadiversidade**. 3, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**. 2022a. Disponível em: <http://ibge.gov.br/cidadesat/painel/populacao.php?codmun=130260&search=amazonas%7CAlvaraes%7Cinphographics:-demographic-evolution-and-age-pyramid&lang> acesso em 30 de mai. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **IBGE BDia** - Banco de Informações Ambientais. 2022b. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/> Acesso em: 30 mai. 2022.

MAIA, M. A. M.; MARMOS, J. L. (Orgs.) **Geodiversidade do estado do Amazonas**: Programa geologia do Brasil levantamento da geodiversidade. Manaus: CPRM - Serviço geológico do Brasil 2010.

MARQUES, F. L.; ARAÚJO, A. N.; ROSSETE, A. N. Modelagem ambiental na área de influência indireta das hidrelétricas na bacia hidrográfica do Araguari, Amapá. **Geosul**, Florianópolis, v. 37, n. 81, p. 338-359, jan./abr. 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/76248> Acesso em 10 set. 2022.

OLIVEIRA, J. A.; SCHOR, T. Das cidades da natureza a natureza das cidades. TRINDADE JÚNIOR, S. C.; TAVARES, M. G. C. (Orgs.). **Cidades Ribeirinhas na Amazônia**. Belém: EDUFPA, 2008.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 7.1 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil**. Disponível em: https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-71/lclu/coverage/brasil_coverage_2022.tif acessado em 12 dez. 2022.

PIONTEKOWSKI, V. J. **Modelagem Dinâmica do uso e cobertura da terra do estado de Rondônia até 2050**. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.DM- 226/2014. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília – UnB, Brasília/DF. 2014. 88p.

QGIS.Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). 2022. Disponível em: https://www.qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html Acesso em 10 set. 2022.

RODRIGUES, H. O.; SOARES-FILHO, B. S.; COSTA, W. L. S.; Dinamica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. In.: **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3089-3096. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.06.17.59/doc/3089-3096.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2022.

SANTOS, R. A.; JUVANHOL, R. S.; AGUIAR, A. S. Tendential modeling of deforestation in caatinga biome in Piauí State. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia, v. 23, n. 88, p. 103–118, 2022. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/59039> Acesso em 10 set. 2022.

SOARES-FILHO, B. S.; ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; CERQUEIRA, G.; DIAZ, M. DEL C.V.D.; RIVERO, S.; SOLORZANOS, L.; VOLL, E. Simulating the response of land-cover

changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém–Cuiabá corridor. **Global Change Biology**, v. 10, p. 745-764, 2004. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1529-8817.2003.00769.x> Acesso em 12 set. 2022.

SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L. Dinâmica—a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **Ecological Modelling**. v. 154, p. 217–23, 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380002000595> Acesso em 10 set. 2022.

SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; VOLL, E.; ARAÚJO, W. L. Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. **Megadiversidade**, V. 3, Nº 1-2, p. 74-86, Dezembro, 2007.

SOARES-FILHO, B. S.; RODRIGUES, H. O.; COSTA, W. L. **Modelagem de Dinâmica Ambiental com Dinâmica EGO**. Guia prático do Dinâmica EGO. Belo Horizonte: CSR-UFMG. 2009. 116 p. Disponível em: <https://csr.ufmg.br/dinamica/dokuwiki/doku.php> Acesso em 23 out. 2022.

SUERTEGARAY, D. M. A. Espaço Geográfico Uno e Múltiplo. In: **Scripta Nova**, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona, Nº 93, 2001. Disponível em: <https://revistes.ub.edu/index.php/ScriptaNova/article/view/313> Acesso em 22 out. 2022.

Artigo recebido em: 31 de abril de 2023.

Artigo aceito em: 21 de junho de 2023.

Artigo publicado em: 10 de julho de 2023.