

# MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA, E PREVISÃO DE CENÁRIOS FUTUROS EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA NA REGIÃO SUL DO ESTADO DO AMAZONAS

*Mapping of land use and occupation, and forecast of future scenarios in a river basin in the southern region of the state of Amazonas*

**Miqueias Lima Duarte**

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Brasil

[miqueiaseng@hotmail.com](mailto:miqueiaseng@hotmail.com)

**Tatiana Acácio da Silva**

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Brasil

[tatianaacacio1909@gmail.com](mailto:tatianaacacio1909@gmail.com)

**Heron Salazar Costa**

Universidade Federal do Amazonas, Brasil

[hescosta@ufam.edu.br](mailto:hescosta@ufam.edu.br)

Recebido: 09.05.2022

Aceito: 14.07.2022

## Resumo

As informações sobre os impactos associados à dinâmica de uso da terra e às tendências de ocupação e uso dos espaços geográficos constituem um desafio contínuo no gerenciamento de bacias hidrográficas, pois, isso pode ser útil para o planejamento adequado de uso dos recursos hídricos, por exemplo. Dados de sensoriamento remoto e técnicas de Sistema de Informações Geográficas têm auxiliado no levantamento dessas informações, possibilitando compreender as dinâmicas de ocupação dos territórios. Esse trabalho avaliou a dinâmica de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do rio Juma entre 1995 a 2019 a partir de imagens do Landsat, e simulou as possíveis dinâmicas de uso para os anos de 2030 e 2040, fazendo uso de Redes Neurais Artificiais em ambiente SIG. Os resultados obtidos mostram que as maiores perdas de floresta ocorreram entre os anos de 1995 a 2000, e que no cenário atual, cerca de 34,82% da área encontra-se desmatada. Essas áreas foram predominantemente ocupadas por pastagens para o desenvolvimento de pecuária extensiva bovina, ou correspondem às áreas em regeneração natural que foram abandonadas, ou estão sob uso de atividades do sistema de Agricultura Itinerante e Sistema Agroflorestal. A simulação dos cenários de uso da terra para 2030 e 2040 indicam perdas de 16,62% de áreas ocupadas por floresta, o que perfaz cerca de 51,44% da bacia hidrográfica.

**Palavras-chave:** Desmatamento, Uso da Terra, Redes Neurais Artificiais.

## Abstract

The information about the impacts associated with the dynamics of land use and the trends of occupation and use of geographic spaces constitute a continuous challenge in the management of watersheds, as this may be useful for the proper planning of the use of Water resources, for example. Remote sensing data and geographic information system

techniques have aided in the survey of this information, allowing us to understand the dynamics of occupation of the territories. This study evaluated land use and occupation dynamics in the Juma River basin between 1995 and 2019 from Landsat images and simulated the possible use dynamics for the years 2030 and 2040, using Artificial Neural Networks in a GIS environment. The results show that the highest forest losses occurred between the years 1995 to 2000 and that in the current scenario, about 34.82% of the area is deforested. These areas were predominantly occupied by pastures for the development of extensive bovine livestock or correspond to areas in a natural regeneration that were abandoned or are under the use of activities of the Itinerant Farming system and System Agroforestry. The simulation of soil use scenarios for 2030 and 2040 indicate losses of 16.62% of areas occupied by forest, which makes up about 51.44% of the watershed.

**Keywords:** Deforestation, Land use, Artificial Neural Networks.

---

## 1. INTRODUÇÃO

A dinâmica de uso e ocupação da terra está fortemente associada aos avanços do desenvolvimento econômico e social de uma região. Sua ocorrência de forma desordenada pode se tornar um dos principais impulsionadores das mudanças globais, pois, a forma com que ela ocorre afeta diretamente partes essenciais do capital natural, tais como a vegetação, recursos hídricos e a biodiversidade (LIPING *et al.*, 2018). Nas regiões tropicais, o desmatamento de florestas naturais para implantação de empreendimentos agropecuários que obedecem a modelos tradicionais extensivos é a principal causa da perda da biodiversidade e aumento das emissões de CO<sub>2</sub> (FEARNSIDE, 2018; DUARTE *et al.*, 2020).

O cenário mencionado nos coloca a necessidade de compreensão da dinâmica espacial e temporal de uso e ocupação da terra como uma importante etapa importante do processo de enfrentamento do problema, pois, possibilita o planejamento conservacionista adequado. Nesse sentido, a modelagem da dinâmica de uso e ocupação da do solo representa uma alta prioridade, pois subsidia a tomada de medidas visando diminuir essa emissão de CO<sub>2</sub>, que é um dos pontos-chaves nas negociações dos acordos internacionais sobre o clima (FEARNSIDE *et al.*, 2009).

Os modelos de previsão de uso e ocupação da terra são gerados a partir de estudos de mudanças no passado, e fornecem uma base para o planejamento, gestão e restauração ecológica em uma área de estudo, também podem orientar políticas de desenvolvimento socioeconômico regional (LIPING *et al.*, 2018). Esses modelos de previsão são baseados em equações analíticas, modelos estatísticos, evolutivos,

Markovianos, modelos híbridos e modelos baseados em Autômatos Celulares (LIPING *et al.*, 2018).

As mudanças na cobertura do uso e ocupação do solo de forma desordenada podem causar sérias implicações ambientais, além da alteração do escoamento superficial (SOUZA-FILHO *et al.*, 2016), mudanças na cobertura da terra com impactos ambientais significativos, tais como a perda de habitat, eutrofização de corpos hídricos, desertificação, mudança climática e perda da biodiversidade (YUAN, 2007; HOUET *et al.*, 2010). Caso não planejado adequadamente, essas mudanças provavelmente terão impactos negativos nos serviços ambientais prestados. Nesse caso, compreender as tendências e os impactos a elas associados se constitui em uma necessidade estratégica, especialmente para o gerenciamento de recursos hídricos.

As bacias hidrográficas são sistemas dinâmicos que estão em constante mudança. Esses ambientes têm sido pauta de estudos ambientais na atualidade por integrarem a maior parte das relações de causa e efeito a serem consideradas na utilização da água, seja nos fenômenos naturais ou antropogênicos, que ocorrem em sua extensão (CARVALHO, 2014). Nesse caso, as informações sobre o cenário futuro de uso e cobertura da terra em bacias hidrográficas são importantes por auxiliarem na gestão dessas áreas, uma vez que possibilitam antever os possíveis impactos que estão associados às pressões de ocupação pelas quais sofre uma determinada região, auxiliando no planejamento ambiental adequado (MARSHALL; RANDHIR, 2008).

A bacia hidrográfica do rio Juma, localizada no município de Apuí, no sul do estado do Amazonas, está inserida em uma região de múltiplos usos. Além de sofrer influência da rodovia transamazônica (BR 230), em seu domínio estão inseridos assentamentos rurais, assentamentos extrativistas e unidades de conservação. Devido a fatores como subsídios do governo à grandes empreendimentos agropecuários, especulação de terras e assentamentos de pequenos agricultores, essa região tem apresentado altas taxas de desmatamento, principalmente ao longo da BR 230 e nas estradas laterais planejada para dar acesso a assentamentos rurais, onde se desenvolvem atividades agropecuárias, extração de madeira e garimpo (CARRERO; FEARNSSIDE, 2011; DUARTE *et al.*, 2020).

Considerando a importância da região, uma vez que ela faz parte da fronteira agropecuária na Amazônia brasileira, esse trabalho avaliou a dinâmica de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do rio Juma entre 1995 a 2019 a partir de imagens do Landsat, e com base nessa análise modelou o provável cenário de uso para 2030 e 2040 por meio de Redes Neurais Artificiais - RNA em ambiente SIG.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

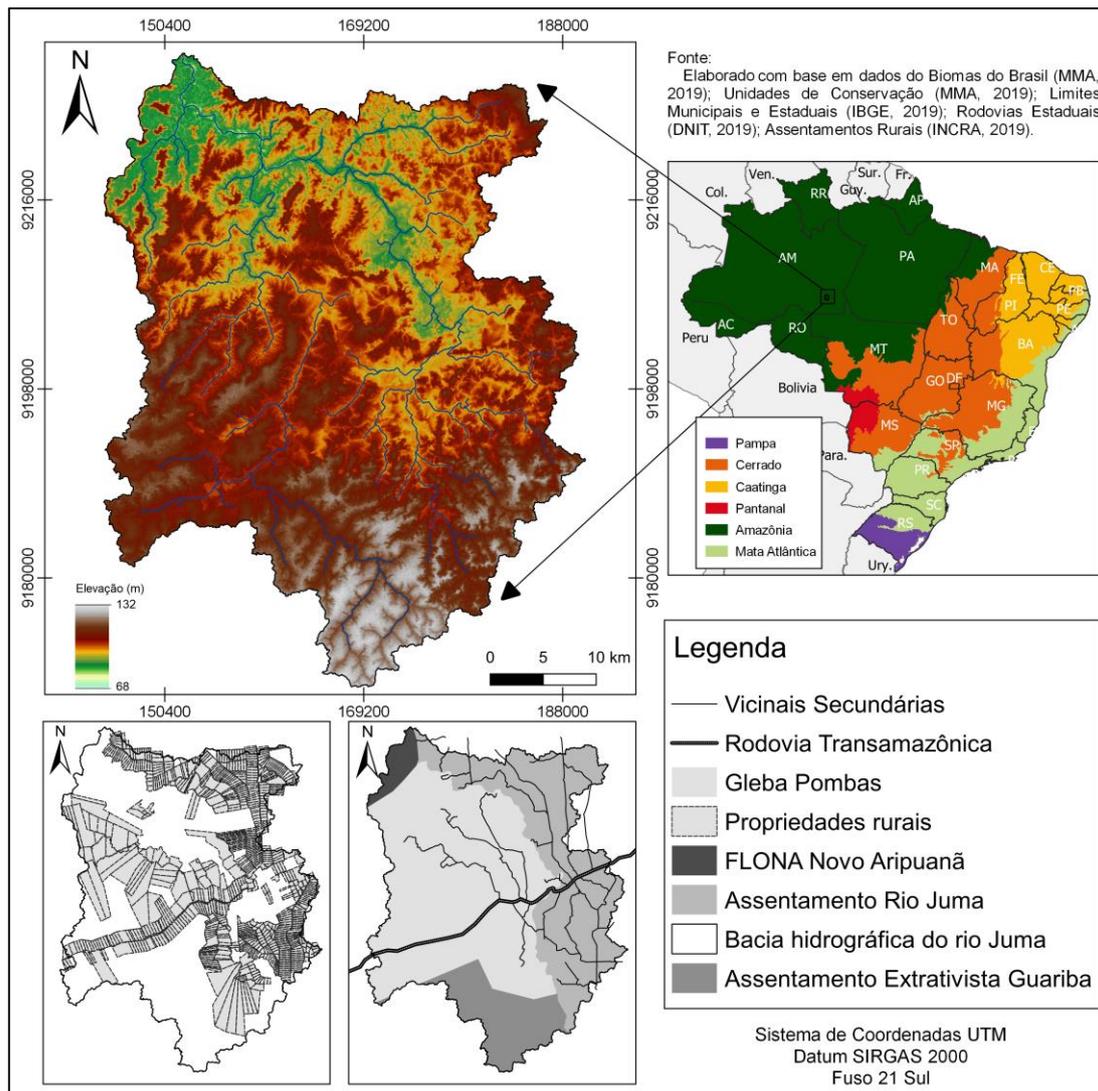
### 2.1. Área de estudo

A área de estudo compreende a parte superior da bacia hidrográfica do rio Juma, localizada no município de Apuí, ao sul do Estado do Amazonas, entre as coordenadas métricas UTM (Universal Transversa de Mercator) 813900 a 829485 m E, e 9229489 a 9169222 m S. Esse Município foi criado em 30.12.1987, pela Lei nº 826 a partir do desmembramento de parte da área do Município de Novo Aripuanã. (IBGE, 2018). Em sua área foi implantado o Projeto de Assentamento Rio Juma, criado como Projeto de Assentamento Dirigido (PAD) em 1982, o qual recebeu na época o status de maior da América Latina, numa área de 689.000 há, com capacidade para assentar 7.500 famílias (LEAL, 2010; GALUCH, 2016).

O município de Apuí limita-se em sua porção oeste com o Município de Novo Aripuanã, ao norte com Borba, Maués na porção nordeste, e na porção sul e sudeste com o estado de Mato Grosso (Figura 1).

Ao extremo sul da bacia hidrográfica do rio Juma está inserido o Assentamento Extrativista Guariba, e ao extremo norte encontra-se a Floresta Nacional Novo Aripuanã. No extremo Leste estão as maiores perdas de floresta, justamente onde se encontra o Assentamento Rural Rio Juma, e na porção Oeste, encontra-se a Gleba Publica Pombas, onde foram constatadas in loco invasões de áreas para o estabelecimento de pastagens.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo quente e úmido, com estação seca pouco pronunciada, do tipo "Am" (Alvares *et al.*, 2013). A temperatura média anual varia entre 25 e 27 °C, e precipitações acima de 2.200 mm.ano-1. A vegetação predominante na região pode ser dividida em três grupos de unidades fitoecológicas: as Florestas Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Aberta que ocorrem predominantemente em terreno mais elevado, e as Formações Pioneiras com influência Fluvial e/ou Lacustre, ocorrendo em áreas de várzea próximo aos rios (ICMBio, 2015).



**Figura 1** - Localização da bacia hidrográfica do rio Juma, no Sul do Estado do Amazonas.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

## 2.2. Classificação supervisionada

A classificação do uso e ocupação da terra foi realizada com base em imagens dos sensores Thematic Mapper - TM Landsat 5 e o Operational Land Imager (OLI) Landsat 8, ambas com resolução espacial de 30 metros, obtidas no website Earth Explorer do United States Geological Survey-USGS (USGS, 2019), sob órbita/ponto 65/230.

As classes de uso e ocupação do solo identificadas foram agrupadas em sete categorias: 1) Floresta: área ocupada por Floresta Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Aberta; 2) Vegetação secundária: área desmatada em processo de regeneração arbustiva e/ou arbórea; 3) Pastagem A: área ocupada por gramínea densa com ausência de vegetação herbácea; 4) Pastagem B: área ocupada por gramínea esparsa; 5) Solo

Exposto: áreas com ausência de cobertura vegetal; 6) Área Urbana: área construída, e; 7) Corpos d'água: rios, represas e lagos naturais.

A classificação supervisionada do uso e ocupação da terra foi realizada no Semi Automatic Classification *Plugin*, versão 6.2.2 (CONGEDO, 2018), com uso do software QGIS, versão 3.2 "Bonn". As imagens originais foram reprojatadas para o sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator, Datum SIRGAS 2000, zona 21 sul. Posteriormente, foi realizada a correção atmosférica pelo método DOS1 (Dark Object Subtraction), e realizada sua composição colorida.

O método de classificação utilizado foi o da Máxima Verossimilhança (MAXVER). Foram obtidas amostras de treinamento do classificador em forma de polígonos, a partir da interpretação visual dos alvos nas imagens do Landsat em combinação RGB (5, 4 e 3 para Landsat 5 e 7, e 6, 5 e 4 para Landsat 8). No total, foram determinadas, em média, 30 amostras para cada classe de uso da terra, sendo as dimensões dos polígonos entre 15 a 20 pixels, conforme descrita por Duarte e Silva (2019).

A análise da acurácia da classificação foi avaliada a partir de uma matriz de confusão, que foi gerada com base em 50 amostras obtidas de forma randômica, conforme descrito por Duarte e Silva (2019). O índice Kappa foi classificado conforme intervalos definidos por Congalton e Green (2008).

### **2.3. Simulação de áreas antrópicas para os anos de 2030 e 2040**

Para simular o uso e ocupação da terra para os anos de 2030 e 2040 foi utilizado o Modules for Land Use Change Evaluation – MOLUSCE, um *plugin* de código aberto para o QGIS desenvolvido pela Asia Air Survey e NextGIS (NextGIS, 2012). Dentre as funcionalidades que o *plugin* implementa, destaca-se a capacidade de calcular a probabilidade de transição entre as classes de uso e ocupação do solo, além de construir modelos de previsão usando Redes Neurais Artificiais - RNA, Regressão Logística e Análise Multicritério para descrever transições de uso e ocupação da terra. Além do mais, é possível introduzir dados de treinamento para previsão de uso e ocupação da terra, e validar os resultados com dados reais (JOGUN *et al.*, 2018).

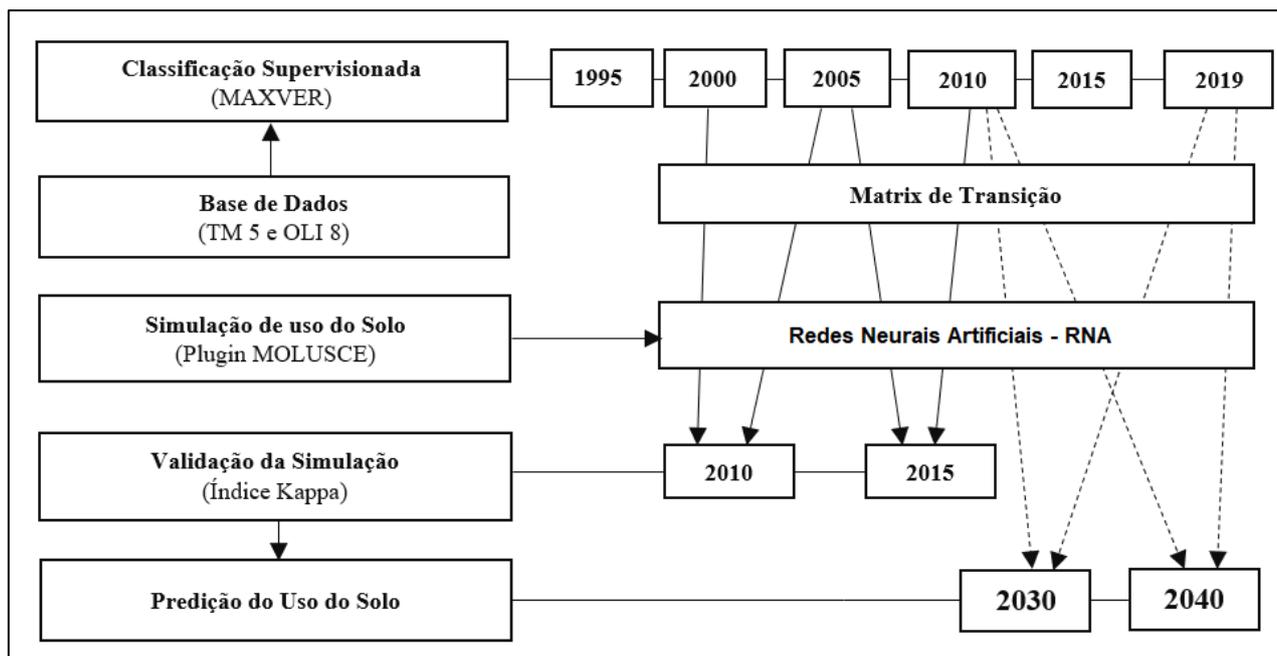


Figura 2 - Fluxograma das etapas seguidas no estudo.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

O método de previsão de uso e ocupação da terra utilizado nesse estudo foi o mesmo descrito por Perović *et al.* (2018), El-Tantawi *et al.* (2019), Ullah *et al.* (2019) e Duarte *et al.* (2021), fazendo-se o ajuste dos modelos de simulação de uso e ocupação da terra com base em variáveis dependentes, como o padrão de alterações de uso e ocupação, obtidos pela classificação supervisionada entre 2000 a 2005, e 2010 a 2015, por meio de imagens do Landsat, e variáveis independentes, como a distância das estradas, hipsometria e declividade.

Para obter as variáveis hipsometria e declividade da área, foi utilizado dados de elevação do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) com resolução espacial de 1 arco de segundo (~30m) disponibilizada pela USGS (DUARTE *et al.*, 2019). A malha rodoviária foi obtida junto a base de dados do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes-DNIT (DNIT, 2019), e retificada com base em imagens do Google Earth Pro para o ano de 2019. A partir do modelo de elevação SRTM foram gerados a hipsometria e a declividade da área de estudo, e com base na rede viária local, obteve-se a distância entre as vicinais pelo método de distância euclidiana.

As variáveis dependentes e independentes foram utilizadas como entrada no modelo para gerar a matriz de potencial de transição. Nessa etapa, foram simulados o uso e ocupação da terra para os anos de 2010 e 2015 a partir de dados observados para os anos 2000 a 2005, e 2005 a 2010. O método de amostragem se deu de forma randômica, com 1.000 interação máxima, e o pixel de vizinhança foi de 9 células, ou seja, matrizes de

3x3 (EL-TANTAWI *et al.*, 2019; ULLAH *et al.*, 2019; DUARTE *et al.*, 2021). A qualidade do modelo foi verificada comparando-se os produtos cartográficos observados (2010 e 2015) com os produtos simulados (2010 e 2015). Essa análise foi realizada a partir da matriz de confusão, o que possibilitou obter índice Kappa para cada simulação. Após verificar a adequabilidade do modelo, foi construído o cenário de uso e ocupação da do solo para o ano de 2030 e 2040 com base na matriz de transição entre 2010 e 2019.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Precisão da classificação

Foram observadas confusões temáticas entre às classes de pastagem em boas condições e pastagem degradada, esses problemas deram-se em função da proximidade da resposta espectral e características espaciais que ambas classes possuem. Apesar dessa confusão, a classificação do uso e ocupação da terra apresentou boa concordância com o mundo real, conforme intervalos de confiança definidos por Congalton e Green (2008). Os valores de índice Kappa obtido estiveram entre 0,4 a 0,6, e correspondem a grau moderado de concordância. Em ordem decrescente, os melhores índices observados foram para o ano de 2019 (0,81%), seguido por 2015 (0,76%), 2000 (0,73%), 2010 (0,71%), 2005 (0,68%) e 1995 (0,65%).

#### 3.2. Dinâmica de uso e cobertura da terra

A Tabela 1 apresenta os dados sobre o uso e cobertura da terra na bacia do rio Juma entre 1995 a 2019, além disso, apresenta a taxa de transição de uso do solo nesse período. Dessa sequência observa-se que os valores positivos indicam aumento e os negativos indicam a redução das classes.

Observa-se que até 1995 apenas 10,3% da área encontrava-se antropizada. A partir desse período, até 2000, ocorreu elevada perda de áreas cobertas por floresta (12,74%). Esse valor foi seguido pelos observados entre 2015 a 2019 (5,02%) e 2005 a 2010 (4,18%). Por outro lado, as menores perdas de floresta ocorreram entre 2000 a 2005 (1,94%) e 2010 e 2015 (0,65%). No ano de 2019, 34,82% da área já foi antropizada.

As áreas desmatadas foram substituídas por área em recomposição vegetal, pastagem em boas condições e pastagem degradada (pastagem A e B), ou por solo exposto e área urbana. A predominância na ocupação dessas áreas deu-se por pastagem em boas condições, as quais apresentaram maiores ganhos entre 2000 a 2005 (5,54%),

seguido por 1995 a 2000 (4,97%) e 2010 a 2015 (3,44%). No entanto, entre 2005 a 2010, e no intervalo de 2015 a 2019 observou-se redução de 2,36% e 0,51% respectivamente.

**Tabela 1:** Classes de uso do solo e cobertura da terra na bacia do rio Juma entre 1995 a 2019.

Uso do solo e cobertura da terra (ha)						
Classes de Uso	1995	2000	2005	2010	2015	2019
Corpos d'água	335,08	226,39	140,82	239,34	319,52	1001,47
Floresta	16.1416,04	13.8484,87	13.4999,09	12.7480,89	12.6319,26	11.7238,3
Vegetação secundária	9.560,9	18.028,83	11.046,73	20.132,99	13.730,98	17.019,9
Pastagem A	7.327,26	16.275,32	26.251,11	21.997,99	28.193,86	27.279,22
Pastagem B	1.208,96	6.635,42	7.247,54	9.159,06	10.902,22	16.388,97
Solo Exposto	20,88	166,64	133,17	713,98	100,78	683,21
Área Urbana	74,14	125,79	112,92	212,53	392,31	281,9
Taxas de transição (%)						
Classes de Uso	1995-2000	2000-2005	2005-2010	2010-2015	2015-2019	1995-2019
Corpos d'água	-0,06	-0,04	0,05	0,03	0,38	0,37
Floresta	-12,74	-1,94	-4,18	-0,65	-5,02	-24,53
Vegetação secundária	4,71	-3,88	5,05	-3,56	1,83	4,14
Pastagem A	4,97	5,54	-2,36	3,44	-0,51	11,09
Pastagem B	3,02	0,34	1,06	0,97	3,05	8,44
Solo Exposto	0,08	-0,02	0,32	-0,34	0,32	0,37
Área Urbana	0,03	-0,01	0,06	0,10	-0,06	0,12

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

As áreas ocupadas por pastagem degradada tiveram aumento de 8,44% ao longo do período avaliado. Para Dias-Filho (2014), essas áreas são caracterizadas por acentuada diminuição da produtividade agrícola ideal (diminuição da capacidade de suporte ideal), podendo ou não ter perdido a capacidade de manter a produtividade biológica significativa.

A principal atividade econômica desenvolvida na região de estudo é a pecuária, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018) o município de Apuí possui o terceiro maior rebanho bovino do estado do Amazonas, apresentando uma forte evolução nos números, saindo de um rebanho com 8.472 cabeças de gado, em 1995, para 140.000, em 2018. Esses números justificam a predominância de uso do solo por pastagem. Além do mais, o tamanho do rebanho bovino e a área total desmatada são as variáveis mais significativas para explicar as causas do desmatamento no município (CARRERO; FEARNSSIDE, 2011).

Carrero e Fearnside (2011) observaram que 57% das propriedades de pequenos agricultores no município de Apuí emprestam suas terras para o desenvolvimento de práticas pastoris, e demais 33% arrendam para agricultores, sendo que apenas 9% desenvolviam às duas atividades somadas à agricultura familiar, o que corrobora os dados obtidos por Oliveira (2017) e os dados obtidos nesse estudo.

Segundo Oliveira (2017), nas últimas duas décadas ocorreu um aumento exponencial no rebanho bovino no município de Apuí, o que causou a substituição de áreas anteriormente ocupadas por agricultura por áreas de pastagem, bem como aumentando da pressão por supressão de áreas de floresta.

Observaram-se grandes percentuais de áreas ocupadas por vegetação secundária (áreas em regeneração florestal) no ano de 1995 (5,31%), e atualmente ocupam cerca de 9,46%. Esses locais foram previamente desmatadas e estão em diversos estágios de regeneração natural. Essas áreas podem possuir três usos comuns, sendo que o primeiro e o mais comum diz respeito ao desmatamento seguido pelo abandono da área devido à falta de recursos financeiros para cultivo agrícola ou estabelecimento de pastagem. O segundo e o terceiro referem-se ao desenvolvimento de Agricultura Itinerante (AI) e Sistema Agroflorestal (SAF), ambos comuns no município.

Na AI as áreas são desmatadas para o estabelecimento de culturas anuais por dois ou três anos de cultivo, seguido de pousio para regeneração natural até o estágio de capoeira, onde o ciclo recomeça (JÚNIOR *et al.*, 2008). Já o SAF são formas de uso ou manejo da terra, nos quais combinam espécies arbóreas com cultivos agrícolas e/ou criação de animais de forma simultânea. No município de Apuí, é comum esses dois usos do solo, principalmente o SAF associado ao cultivo de café e guaraná (IDESAM, 2019).

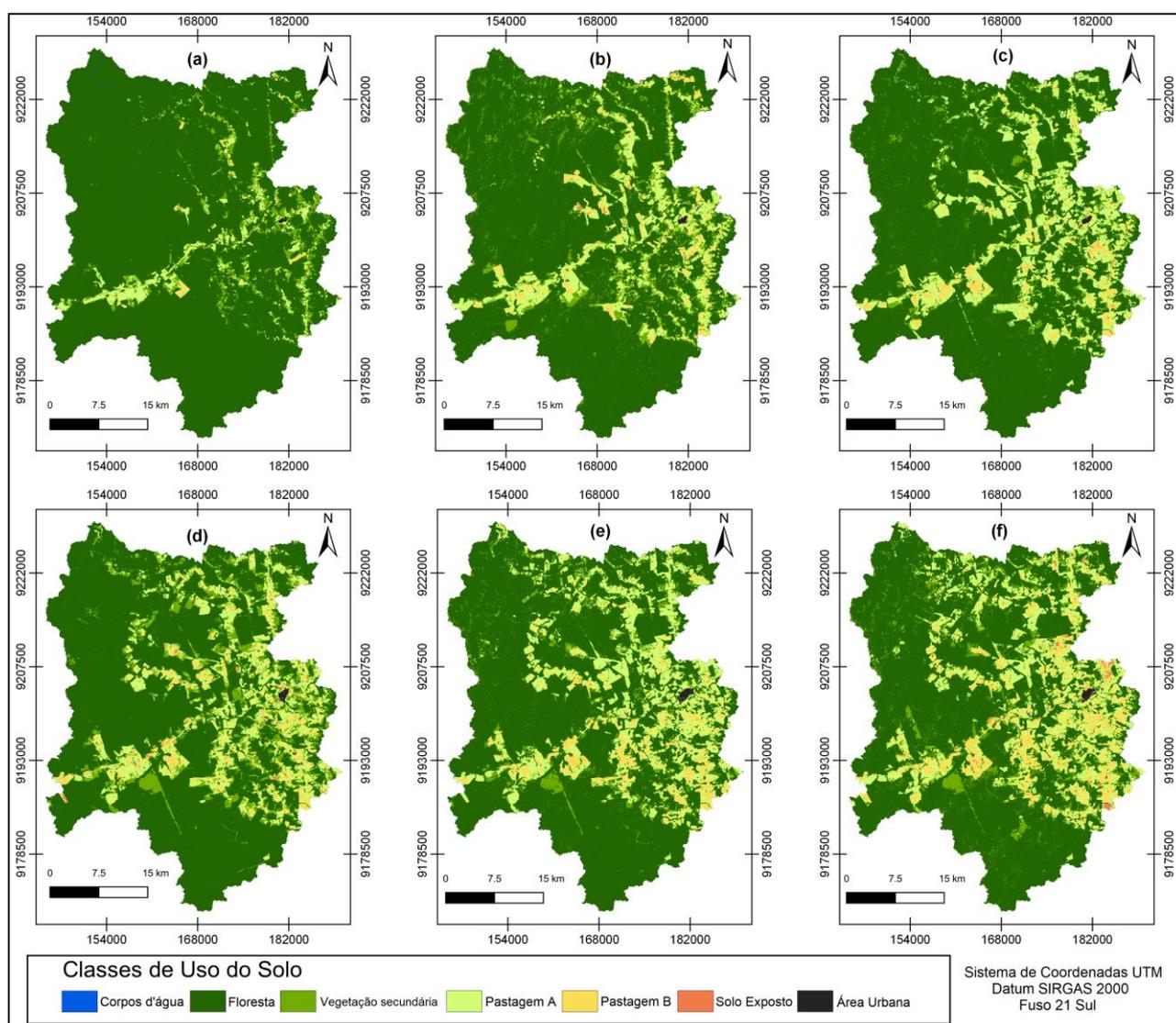
As áreas ocupadas por solo exposto possuem percentuais pouco significativos na bacia hidrográfica do rio Juma. Vale ressaltar que em função da resolução da imagem do Landsat, houve dificuldades no mapeamento dessa classe, pois, essas áreas se apresentam em pequenas extensões, e estão localizadas predominantemente na proximidade das principais vicinais. Segundo Duarte *et al.* (2020), essas áreas são utilizadas para o desenvolvimento de atividades agrícolas de ciclo curto, tais como plantios de milho, arroz e feijão.

A Figura 3 apresenta a distribuição espacial do uso do solo e cobertura da terra para os anos de 1995 (a), 2000 (b), 2005 (c), 2010 (d), 2015 (e) e 2019 (f). Observa-se que as áreas com maior atuação antrópica ocorrem na região leste da bacia hidrográfica (região pertencente ao assentamento Juma), e demais áreas antropizadas encontram-se ao longo da rodovia Transamazônica.

Por outro lado, as áreas ainda intactas, apesar de serem menos predominantes, encontram-se no extremo sul da área (área sob domínio do assentamento extrativista), e no extremo oeste (áreas sob domínio da União). Apesar de estarem remotamente

protegidas (ausência de vicinais), a pressão antrópica proveniente do assentamento rural Rio Juma e da rodovia Transamazônica tem reduzido substancialmente essas áreas.

Segundo Carrero e Fearnside (2011), o isolamento geográfico e as condições abismais de acesso do município resultam em baixa frequência de fiscalizações ambientais, e a ineficiência dos serviços prestados por agências governamentais inviabilizando o manejo florestal sustentável no município.



**Figura 3.** Distribuição espacial das classes de uso e ocupação da terra para os anos de 1995 (a), 2000 (b), 2005 (c), 2010 (d), 2015 (e) e 2019 (f) na bacia hidrográfica do rio Juma.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

### 3.3. Cenário de uso e ocupação da terra para 2030 e 2040

Os resultados da validação das previsões de uso e cobertura da terra produzidos para os anos de 2010 e 2015 são apresentados na Tabela 2. O modelo proposto

apresentou bom desempenho na predição de uso e cobertura do solo, uma vez que o índice Kappa foi de 0,49 para o ano de 2010 e de 0,65 para o ano de 2015, com porcentagens de previsão correta de 73,32% para 2010 e 80,42% para 2015, ou seja, indicando boa consistência entre o observado e o previsto.

**Tabela 2:** Resultados da simulação para os anos de 2010 e 2015.

Ano de predição	Matiz de transição	% de previsões corretas	Kappa
2010	2000 a 2005	73,32	0,49
2015	2005 a 2010	80,42	0,65

**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2022.

Após a validação do modelo, foi realizado a previsão do uso e cobertura da terra para o ano de 2030 e 2040 com base na matriz de transição entre os anos de 2010 e 2019. Os resultados entre as taxas de transição de 1995 a 2019, bem como a provável transição entre 2019 a 2030, e de 2030 a 2040 são apresentados na Tabela 3.

Observa-se que as perdas de floresta entre 1995 a 2019 foram de 34,84%, enquanto a previsão para 2019 a 2030 é que ocorra uma perda de 9,13%, e entre 2030 a 2040 é de 7,48%. Entre 1995 a 2019 as áreas desmatadas foram predominantemente ocupadas por pastagem em boas condições de cultivo, seguido por pastagem degradada, e para o cenário de 2030 e 2040 observaram-se algumas alterações nos padrões de uso e ocupação da terra.

Para 2030 o modelo indica a tendência de aumento de áreas ocupadas por pastagem em boas condições de cultivo, com ganhos de 7,72% (de 27.274,27 ha em 2019 para 31.000,21 ha em 2030), seguido por áreas em regeneração natural com 2,05% (de 17.023,50 ha em 2019 para 31.039,89 ha em 2030), áreas de solo exposto, e área urbana, ambas com ganho de 0,09%. Por outro lado, a modelagem prevê que as áreas ocupadas por pastagens degradadas devem reduzir cerca de 0,59%.

A mesma tendência foi observada para o cenário de 2040, onde os ganhos em áreas de pastagem em boas condições foram de 6,08% (de 31.039,89 ha em 2030 para 41.975,23 ha em 2040), seguido por área em regeneração natural com 1,65% (de 31.039,89 ha em 2030 para 33.973,39 ha em 2040), e redução de áreas ocupadas por pastagem degradada em 0,24% (de 15.371,84 ha em 2030 para 15.041,62 ha em 2040). Também foi observado um aumento em percentuais mínimos nas áreas ocupadas por solo exposto (0,02%) e área urbana (0,05%).

**Tabela 3:** Taxas de transição de uso do solo e cobertura da terra para os anos de 2030 e 2040.

Classes de uso do solo	Área (%)				Mudança de uso do solo (%)		
	1995	2019	2030	2040	1995-2019	2019-2030	2030-2040
Corpos d'água	0,18	0,56	0,34	0,28	0,37	-0,22	-0,07
Floresta	89,70	65,18	56,05	48,56	-24,53	-9,13	-7,48
Vegetação secundária	5,32	9,46	17,25	23,32	4,14	2,05	1,65
Pastagem A	4,07	15,16	17,22	18,88	11,09	7,72	6,08
Pastagem B	0,67	9,11	8,54	8,36	8,44	-0,59	-0,24
Solo Exposto	0,01	0,38	0,47	0,49	0,37	0,09	0,02
Área Urbana	0,04	0,16	0,13	0,12	0,12	0,09	0,05

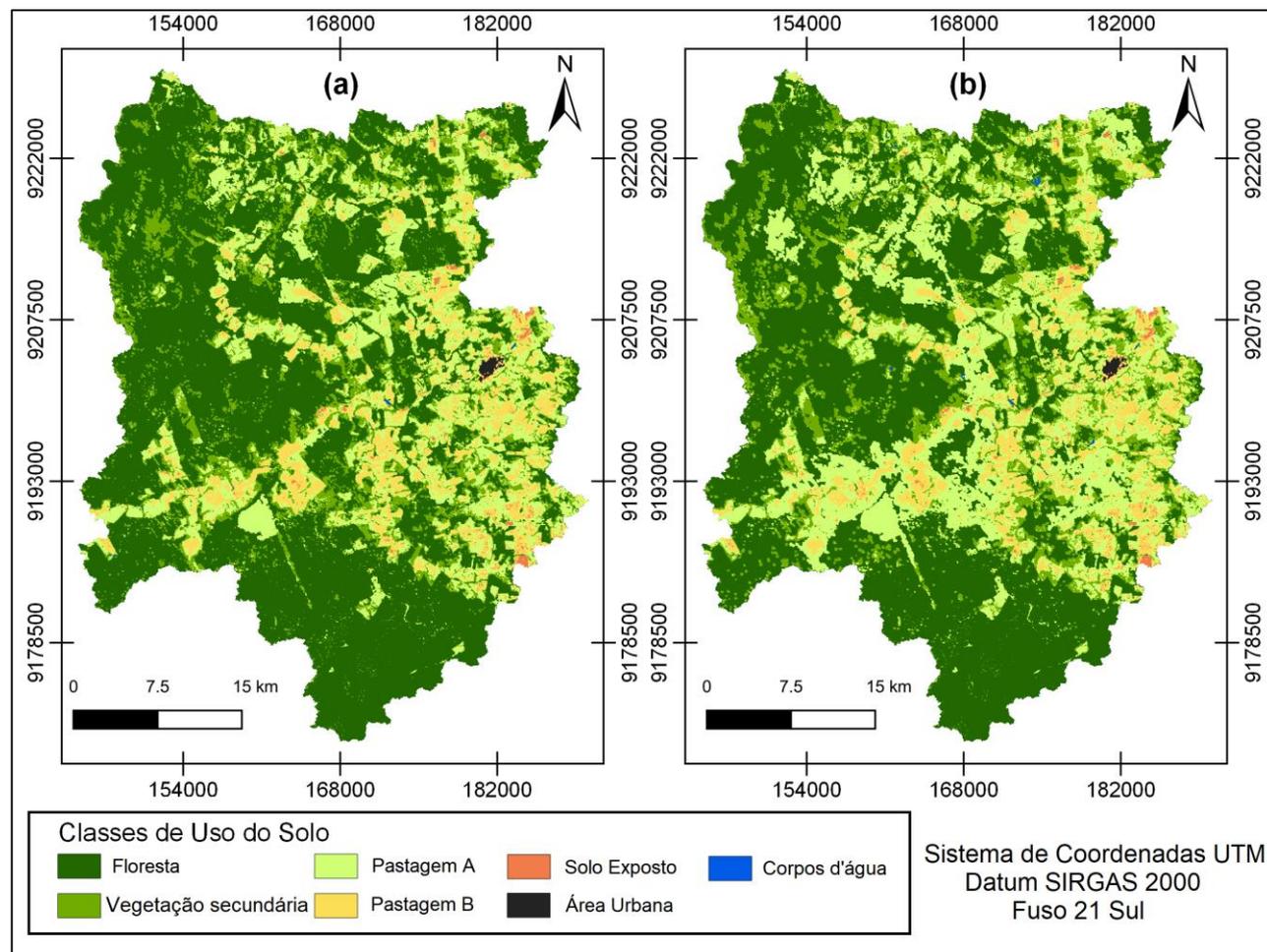
Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

A Figura 4 apresenta a distribuição espacial do uso do solo e cobertura da terra previsto para os anos de 2030 (a) e 2040 (b). Caso nenhuma medida de proteção seja tomada, a soma entre os percentuais acumulados de 1995 a 2019 e os percentuais previstos para 2030 e 2040 perfazem perdas de até 51,44% da cobertura vegetal na bacia do rio Juma.

As maiores perdas de vegetação nativa encontram-se sob áreas pertencentes ao assentamento Rio Juma (ao extremo leste), onde a cobertura vegetal diminuiu significativamente, prevendo-se que restará apenas alguns fragmentos florestais em 2040, além de áreas sob influência da rodovia Transamazônica e demais vicinais adjacentes. Além do mais, a tendência é que também ocorra alterações significativas em áreas sob domínio do Assentamento Extrativista (extremo sul da área), bem como em áreas sob domínio da União (extremo oeste).

A consolidação de uso da terra em propriedades do assentamento Rio Juma e ao longo da rodovia Transamazônica indica o potencial de desmatamento no futuro. As pressões exercidas por eles somados à capacidade limitada do INCRA em supervisionar regionalmente a inspeção e emissão de títulos de propriedades podem provocar a grilagem de terras em áreas da União (ao extremo oeste da bacia), causando a continuação do desmatamento nessas áreas, como previsto no modelo.

As informações reunidas nesse estudo podem servir como base para os formuladores de políticas públicas afim de traçar metas e elaborar políticas que vise a proteção e gerenciamento de uso do solo e cobertura da terra na bacia hidrográfica, uma vez que as simulações fornecem informações onde essas transformações são propícias de ocorrer, além de possibilitar inferir sobre os impactos que essas mudanças podem causar no futuro, principalmente no que diz respeito a degradação ambiental do solo e dos recursos hídricos.



**Figura 4** - Cenário de uso e ocupação da terra para o ano de 2030 (a) e 2040 (b) na bacia do rio Juma.

**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2022.

#### 4. CONCLUSÃO

Esse estudo apresenta o potencial dos dados de sensoriamento remoto e técnicas de SIG na análise temporal e quantificação de fenômenos espaciais, o que explica a importância da integração dessas ferramentas em estudos de detecção de mudança na cobertura do solo, pois, fornece informações essenciais sobre essas dinâmicas.

Observou-se que entre 1995 a 2019 ocorreu perdas de 34,82% em áreas ocupadas por floresta, essas áreas foram ocupadas predominantemente por pastagens em boas condições e pastagens degradadas, seguida por áreas em recomposição vegetal em diversos estágios de regeneração, bem como utilizadas pela AI e SAF.

A simulação de uso do solo e ocupação da terra indicaram perdas de 9,13% de áreas ocupadas por floresta para o ano de 2030, e 7,48% para o ano de 2040. Esses percentuais somados as áreas antropizadas até 2019 perfazem perdas de 51,44% de áreas de floresta na bacia do rio Juma. Esse percentual será crítico, pois poderá comprometer a integridade da bacia, pois o processo de assoreamento se intensificará.

Os resultados obtidos nesse estudo podem ser utilizados pelos gestores como suporte para elaboração de políticas públicas, uma vez que proporcionam uma visão espacial e temporal detalhada sobre a ocorrência dos eventos na bacia hidrográfica, podendo auxiliar na preservação dos recursos naturais e uso sustentável na bacia do rio Juma, sendo considerado a grande expansão das áreas antrópicas no cenário futuro.

## REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728. 2013.

CARRERO, G. C.; FEARNSIDE, P. M. Forest clearing dynamics and the expansion of landholdings in Apuí, a deforestation hotspot on Brazil's Transamazon Highway. **Ecology and Society**, v. 16, n. 2, p. 1-18. 2011.

CARVALHO, R. G. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 36, p. 26-43, 2014.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data Principles and Practices**. Nova York: Lewis Publishers, 2008. 200p.

CONGEDO, L. **Semi-Automatic Classification Plugin Documentation**. 2018. Disponível em: <https://media.readthedocs.org/pdf/semiautomaticclassificationmanual-ptbr.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2019.

DIAS-FILHO, M. B. Diagnóstico das pastagens no Brasil. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36p.

DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Atlas e Mapas – Shapefiles**. 2019. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/mapas-multimodais/shapefiles>. Acesso em: 05 ago. 2019.

DUARTE, M. L.; SILVA, D. M. P.; SILVA, T. A.; GUIMARÃES, L. R. Avaliação de Modelos Digitais de Elevação na delimitação de bacias hidrográficas na região Sul do Amazonas. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 9, n. 2, p. 99-107. 2019.

DUARTE, M. L.; SILVA, T. A. Avaliação do Desempenho de Três Algoritmos na Classificação de Uso do Solo a Partir de Geotecnologias Gratuitas. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 21, n. 1, p. 6-16. 2014.

DUARTE, M. L.; BRITO, W. B. M.; SILVA, T. A.; CASTRO, A. L. Padrões e causas do desmatamento no Baixo Acre, região oeste da Amazônia brasileira. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 5 n. 1. 2020.

DUARTE, M. L.; MENDONÇA, J. F.; BONFANTI, D. C. Dinâmica do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pimenta, Região sudeste do estado de Rondônia: Avaliação e cenários futuros. **Sociedade e Território**, v. 33, n. 1, p. 54-71, 2021.

EL-TANTAWI, A. M.; BAO, A.; CHANG, C.; LIU, Y. Monitoring and predicting land use/cover changes in the Aksu-Tarim River Basin, Xinjiang-China (1990–2030). **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, n. 480, p. 1-18. 2019.

FEARNSIDE, P. M. Brazil's Amazonian forest carbon: the key to Southern Amazonia's significance for global climate. **Regional Environmental Change**, v. 18, n. 1, p. 47–61. 2018.

FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A.; KEIZER, E. W. H.; MALDONADO, 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**, v. 24, n. 2, p. 208-233. 2009.

GALUCH, M. V. Movimentos migratórios e suas implicações: o caso do Projeto de Assentamento Rio Juma, Apuí-AM. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE ANTROPOLOGIA. 30., 2016, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa.

HOUET, T.; LOVELAND, T. R.; HUBERT-MOY, L.; GUCHEREL, C.; NAPTON, D.; BARNES, C. A.; SAYLER, K. Exploring subtle land use and land cover changes: a framework for future landscape studies. **Landscape Ecology**, v. 25, n. 2, p. 249–266. 2010.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Dados Censo Demográfico**. 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasil>. Acesso em: 08 ago. 2019.

ICMBio. INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Proposta de criação de Unidades de Conservação em terras públicas da união no sul do estado do Amazonas**. 2005. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories>. Acesso em: 05 set. 2019.

IDESAM. INSTITUTO DE CONSERVAÇÃO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA AMAZÔNIA. **Sistema Agroflorestal em Apuí. 2019**. Disponível em: <https://idesam.org/>. Acesso em: 12 ago. 2019.

JOGUN, T.; LUKIĆ, A.; GAŠPAROVIĆ, M. Simulation model of land cover changes in a post-socialist peripheral rural area: Požega-Slavonia County, Croatia. **Hrvatski Geografski Glasnik**, v. 81, n. 1, p. 31-59. 2018.

JÚNIOR, N. N. P.; MURRIETA, R. S. S.; ADAMS, C. A agricultura de corte e queima: um sistema em transformação. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Humanas**, v. 3, n. 2, p. 153-174. 2008.

LEAL, P. F. Colonização dirigida na Amazônia: os malabarismos do dirigismo estatal e os parceiros em descompasso com a lei – o calo do Projeto de Assentamento Rio Juma

(AM). In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE SOCIOLOGIA, 8., 2010, Porto de Galinhas. **Anais...** Porto de Galinhas.

LIPING, C.; YUJUN, S.; SAEED, S. Monitoring and predicting land use and land cover changes using remote sensing and GIS techniques—A case study of a hilly area, Jiangle, China. **PLoS ONE**, v. 13, n. 7. 2018.

MARSHALL, E.; RANDHIR, T. Spatial modeling of land cover change and watershed response using Markovian cellular automata and simulation. **Water Resources Research**, v. 44, n. 4, p. 1-11. 2008.

NEXTGIS. **Modules for Land Use Change Evaluation – MOLUSCE**. 2012. Disponível em: <http://nextgis.com/blog/molusce/>. Acesso em: 20 jul. 2019.

OLIVEIRA, L. F. Avaliação da dinâmica do desmatamento no projeto de assentamento rio Juma no município de Apuí-AM. 2017. 46 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.

PEROVIĆ, V.; JAKŠIĆ, D.; JARAMAZ, D.; KOKOVIĆ, N.; ČAKMAK, D.; MITROVIĆ, M.; PAVLOVIĆ, P. Spatio-temporal analysis of land use/land cover change and its effects on soil erosion (Case study in the Oplenac wine-producing area, Serbia). **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 190, n. 675, p. 1-18. 2018.

SOUZA-FILHO, P. W. M.; SOUZA, E. B.; JÚNIOR, R. O. S.; NASCIMENTO JR, W. R.; MENDONÇA, B. R. V.; GUIMARÃES, J. T. F.; DALL'AGNOLA, R.; SIQUEIRA, J. O. Four decades of land-cover, land-use and hydroclimatology changes in the Itacaiúnas River watershed, southeastern Amazon. **Journal of Environmental Management**, v. 167, n. 1, p. 175-184. 2016.

ULLAH, S.; AHMAD, K.; SAJJAD, R. U.; ABBASI, A. M.; NAZZER, A.; TAHIR, A. A. Analysis and simulation of land cover changes and their impacts on land surface temperature in a lower Himalayan region. **Journal of Environmental Management**, v. 245, n. 1, p. 348-357. 2019.

USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Dados Landsat**. 2019. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 10 jul. 2019.

YUAN, F. Land-cover change and environmental impact analysis in the Greater Mankato area of Minnesota using remote sensing and GIS modelling. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, n. 4, p. 1169-1184. 2008.

Recebido: 09.05.2022

Aceito: 14.07.2022