

# CENÁRIOS FUTUROS PARA AMAZÔNIA (AMACRO): ENTRE 2023 E 2103

Ana Paula Frazão<sup>1</sup>

Sophia Victoria Santos<sup>2</sup>

Manuel Eduardo Ferreira<sup>3</sup>

## RESUMO

O estudo avalia cenários futuros de uso e cobertura da terra na região conhecida como AMACRO, a qual se constitui como foco de desmatamento nos estados de Amazonas, Acre e Rondônia. Os modelos têm como partida, o ano 2023, e projetam um cenário para 2103, a partir de uso e cobertura do MapBiomass, além de adotar variáveis morfométricas do relevo, como declividade e proximidade de áreas antrópicas. Três tipos de cenários foram desenvolvidos: Conservador, Moderado e Pessimista, diferenciando-se pelo grau de influência exercido por áreas agrícolas e de pastagem. Os resultados indicam expressiva redução da vegetação (322.624 km<sup>2</sup> no cenário pessimista) e avanço das áreas agropecuárias, sobretudo no cenário pessimista. A validação dos modelos apontou elevado desempenho (*accuracy* de 0,954). As análises quantitativas e espaciais evidenciam os riscos de degradação e destacam a necessidade de estratégias de conservação e ordenamento territorial.

**Palavras-chave:** Modelagem espacial; uso e cobertura da terra; AMACRO; cenários futuros; planejamento territorial.

## FUTURE SCENARIOS FOR THE AMAZON (AMACRO): BETWEEN 2023 AND 2103

## ABSTRACT

The study evaluates future scenarios of land use and land cover in the region known as AMACRO, which is a focus of deforestation in the states of Amazonas, Acre and Rondônia. The models start in 2023 and project a scenario for 2103, based on the use and coverage of MapBiomass, in addition to adopting morphometric variables of the relief, such as slope and proximity to anthropic areas. Three types of scenarios were developed: Conservative, Moderate and Pessimistic, differentiated by the degree of influence exerted by agricultural and pasture areas. The results indicate a significant reduction in vegetation (322,624 km<sup>2</sup> in the pessimistic scenario) and the expansion of agricultural areas, especially in the pessimistic scenario. The validation of the models indicated high performance (*accuracy* of 0.954). Quantitative and spatial analyses highlight the risks of degradation and highlight the need for conservation and land use planning strategies.

<sup>1</sup>Doutor em Geografia, Universidade Federal de Goiás-UFG, Email: [anapaulafrazao123@gmail.com](mailto:anapaulafrazao123@gmail.com)

<sup>2</sup>Mestranda em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Email: [sophiavsant@gmail.com](mailto:sophiavsant@gmail.com)

<sup>3</sup>Doutor em Geografia, Universidade Federal de Goiás-UFG, Email: [manuel@ufg.br](mailto:manuel@ufg.br)

**Keywords:** Spatial modeling; land use and land cover; AMACRO region; future scenarios; territorial planning.

## ESCENARIOS FUTUROS PARA LA AMAZONÍA (AMACRO): ENTRE 2023 Y 2103

### RESUMEN

El estudio evalúa escenarios futuros de uso y cobertura del suelo en la región conocida como AMACRO, que es un foco de deforestación en los estados de Amazonas, Acre y Rondônia. Los modelos parten del año 2023 y proyectan un escenario para 2103, basado en el uso y cobertura de MapBiomass, además de adoptar variables morfométricas del relieve, como pendiente y proximidad a áreas antrópicas. Se desarrollaron tres tipos de escenarios: Conservador, Moderado y Pesimista, diferenciados en el grado de influencia ejercida por las zonas agrícolas y de pastoreo. Los resultados indican una reducción significativa de la vegetación (322.624 km<sup>2</sup> en el escenario pesimista) y un aumento de las áreas agrícolas, especialmente en el escenario pesimista. La validación de los modelos mostró un alto rendimiento (precisión de 0,954). Los análisis cuantitativos y espaciales resaltan los riesgos de degradación y resaltan la necesidad de estrategias de conservación y planificación del uso de la tierra.

**Palabras-clave:** Modelado espacial; uso y cobertura del suelo; región AMACRO; escenarios futuros; planificación territorial.

### INTRODUÇÃO

A região conhecida como AMACRO compreende áreas dos estados do Amazonas, Acre e Rondônia, representa uma das principais frentes de expansão agropecuária no bioma Amazônia, caracterizando-se como uma nova e intensa fronteira agrícola em um dos biomas com mais políticas públicas de conservação do Brasil. Que tem sido marcado, ao longo das últimas décadas, por processos acelerados de conversão do uso da terra, especialmente pela substituição da vegetação nativa por pastagens. Segundo dados do projeto MapBiomass (2024), entre 1985 e 2023, a área destinada a pastagens na Amazônia aumentou mais de 363%, passando de 12,7 milhões para 59 milhões de hectares. A AMACRO foi diretamente responsável pela conversão de cerca de 7 milhões de hectares, área equivalente a países inteiros como Irlanda ou Panamá. Ainda segundo o MapBiomass, mais de 90% do desmatamento na Amazônia teve como destino inicial a formação de pastagens, e, apesar de políticas como a Moratória da Soja terem contribuído para a redução do desmatamento direto para fins agrícolas,

cerca de 77% das áreas desmatadas entre 1987 e 2020 permaneceram como pastagens até o final do período analisado.

Diante da magnitude e persistência dessas transformações, torna-se urgente compreender quais são os caminhos possíveis para o futuro da ocupação territorial na região da AMACRO. A modelagem de cenários prospectivos de uso e cobertura da terra surge, nesse sentido, como uma ferramenta essencial para antecipar impactos, identificar tendências e embasar decisões públicas e privadas mais sustentáveis. Neste estudo, propõe-se a simulação de três cenários futuros para a região até o ano de 2103: um cenário conservador, um moderado e um pessimista, cada um refletindo diferentes intensidades de pressão antrópica sobre o território.

A modelagem foi desenvolvida a partir de um script em Python, combinando duas abordagens metodológicas complementares: Cadeias de Markov, utilizadas para estimar as probabilidades de transição entre classes de uso da terra com base em dados históricos (2003, 2013 e 2023), e o método de Pesos de Evidência de Bayes, empregado para avaliar a influência espacial de variáveis explicativas como declividade, distância de estradas, de centros urbanos, de áreas agrícolas e de pastagens. Essa integração metodológica tem sido amplamente aplicada em estudos ambientais que lidam com transformações territoriais complexas (Cai et al., 2020; Gholoobi et al., 2021), oferecendo simulações bem validadas e com relevância prática para o planejamento territorial.

Diversos estudos já demonstraram a eficácia dessas técnicas em contextos de rápida transformação territorial, como nas pesquisas de Han, Yang e Song (2015), Yuliani et al. (2024) e Sui e Zeng (2001), que evidenciam a capacidade dos modelos de Markov e de Pesos de Evidência em capturar padrões complexos de mudança e gerar cenários úteis para o planejamento territorial e a formulação de políticas públicas voltadas ao uso sustentável da terra.

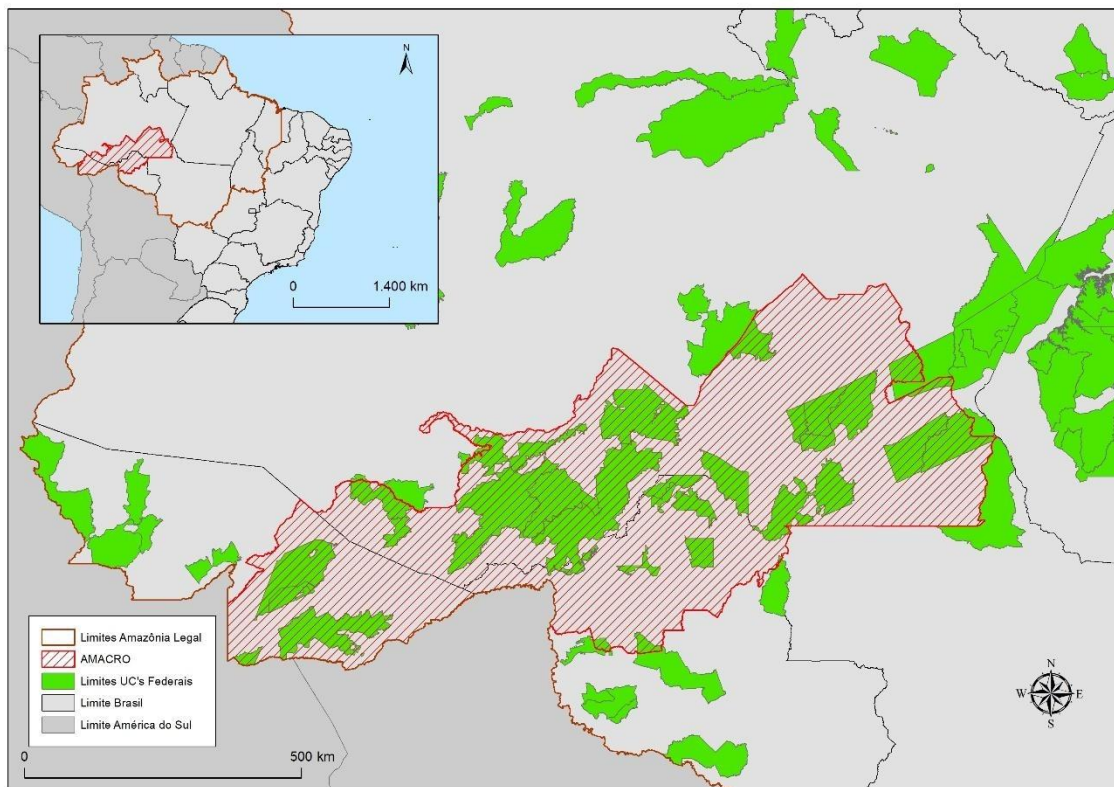
O presente artigo tem como objetivo modelar os possíveis cenários futuros de uso e cobertura da terra para a região da AMACRO para o ano de 2103 e, a partir desses resultados, discutir a importância da implementação de políticas públicas de conservação ambiental, ordenamento territorial e controle do desmatamento como elementos-chave para a sustentabilidade da ocupação amazônica nas próximas décadas.

## **Área de Estudo**

A região da AMACRO (figura 1), acrônimo que integra partes dos estados do Acre, Amazonas e Rondônia, localiza-se no sudoeste da Amazônia Legal e vem se consolidando como uma das principais fronteiras de expansão da ocupação humana e das atividades agropecuárias na região. Esta região engloba 32 municípios através de uma área total de 454220 km<sup>2</sup> espalhado entre os estados que o compõem.

Caracteriza-se por um relevo predominantemente plano a suavemente ondulado, marcado por vastas planícies intercaladas por formações residuais, como serras e chapadas. A rede hidrográfica é densa e estratégica, destacando-se os rios Madeira e Purus, que desempenham papel central tanto na dinâmica ecológica quanto no transporte e nas atividades econômicas locais. O clima equatorial úmido, com elevadas taxas pluviométricas e temperaturas médias variando entre 24 °C e 27 °C, favorece a ocorrência de florestas tropicais densas e altamente biodiversas, essenciais para o equilíbrio climático regional e global. O processo de ocupação tem sido impulsionado pela presença de eixos rodoviários nacionais e transnacionais — como as BR-364 e BR-319 — que, ao promoverem a integração territorial, também acentuam as pressões sobre os ecossistemas naturais. Nesse contexto, a região da AMACRO se apresenta como um território estratégico para a compreensão das dinâmicas recentes de uso e cobertura da terra na Amazônia.

**Figura 1: Mapa de localização da região da AMACRO.**



Fonte: Autores.

## PROCEDIMENTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS

A metodologia empregada neste estudo pode ser compreendida em quatro etapas principais: aquisição dos dados, reclassificação e geração de variáveis espaciais, modelagem preditiva e, por fim, validação dos resultados.

### Aquisição de dados

Para a realização deste estudo, primeiramente, foram adquiridos dados de uso e cobertura da terra na região da Amazonia para os anos de 2002, 2012 e 2022 por meio da plataforma MapBiomias (coleção 9). Estes dados, com resolução espacial de 30 metros, apresentam uma classificação temática em 6 grandes classes de uso e cobertura da terra, possuindo subclasses para maiores detalhes dos elementos que compõem aquela área.

Além disso, foi utilizado o modelo digital de elevação (MDE) para a geração do dado de declividade da área de estudo, com o objetivo de incorporar a variável de relevo na

modelagem de mudanças espaciais. As informações de declividade foram processadas no software ArcGIS Pro.

Todos os dados foram reprojetados para SIRGAS 2000, por ser adotado como sistema geodésico de referência oficial do Brasil, e recortados segundo o limite geográfico da região da AMACRO, assegurando a consistência espacial necessária para as análises subsequentes.

### Reclassificação

Com o objetivo de simplificar a modelagem, as classes originais do MapBiomas foram reclassificadas em cinco categorias principais: vegetação natural, agricultura, pastagem, área urbana e corpos d'água. Essa reclassificação permite um melhor entendimento das transições de uso e cobertura da terra, reduzindo a complexidade do modelo sem comprometer a representatividade dos processos espaciais observados.

Para a reclassificação dos dados de uso e cobertura da terra obtidos através da plataforma MapBiomas utilizou-se a ferramenta *Reclassify* do ArcGIS Pro. Essa ferramenta permite alterar os valores de cada pixel em um raster de acordo com um padrão pré-estipulado, facilitando as futuras análises e interpretação dos dados. Dessa forma, a reclassificação foi realizada convertendo todas as classes conforme a tabela 1, que apresenta a correspondência entre as classes originais do MapBiomas e os novos valores atribuídos.

**Tabela 1: Referência para reclassificação**

Valor Original	Classe Original	Nova Categoria	Novo Valor
3	Formação Florestal	Vegetação Natural	1
4	Formação Savânica		1
5	Mangue		1
6	Floresta Alagável		1
11	Área Úmida Natural não Florestal		1
12	Formação Campestre		1
32	Apicum		1

29	Afloramento Rochoso		1
50	Restinga Herbácea		1
13	Outra Formação Natural Não Florestal		1
18	Agricultura	Agricultura	2
39	Café		2
20	Arroz		2
40	Cana-de-açúcar		2
41	Soja		2
46	Milho		2
48	Algodão		2
9	Mosaico de Usos		2
15	Pastagem	Pastagem	3
24	Infraestrutura Urbana	Área Urbana	4
33	Corpo D'água	Corpos D'água	5

Fonte: Autores

### Variáveis espaciais

Visando aprimorar a capacidade explicativa do modelo preditivo e seu grau de relevância, é essencial incorporar variáveis espaciais que representem a distância em relação às principais classes antrópicas: agricultura, pastagem, áreas urbanas e estradas. Essas variáveis permitem que o modelo compreenda melhor as relações espaciais na região de estudo, identificando fatores externos que influenciam as transições entre classes de uso e cobertura da terra.

Utilizando o mapa de 2022 como referência, aplicou-se a ferramenta de Distância Euclidiana do ArcGIS para gerar rasters de distância para cada uma das classes mencionadas. Esses rasters foram posteriormente reclassificados para uma escala de valores de 1 a 10, onde

valores mais baixos indicam maior distância e valores mais altos representam menor distância em relação às classes antrópicas.

Essa padronização facilita a integração das variáveis no modelo, promovendo escalabilidade e eliminando a necessidade de ajustes específicos para diferentes tipos de variáveis. Independentemente do número de variáveis utilizadas, o sistema se torna capaz de interpretar e atribuir pesos de importância a cada uma delas, conforme os princípios do método bayesiano.

### **Modelagem das mudanças e simulação de cenários**

Para obter as previsões de cenários futuros de uso e cobertura da terra, foi desenvolvido um script em Python que integra o modelo de Pesos de Evidência, fundamentado no teorema de Bayes, com Autômatos Celulares de Markov. Essa abordagem permite identificar a associação entre variáveis explicativas e a ocorrência de transições entre classes de uso e cobertura da terra.

Para cada etapa do processo tem-se:

- **Cálculo dos Pesos de Evidência:** O teorema de Bayes define que a mudança de estados de um sistema é influenciada por uma variável de evidência (Bonham-Carter, 1994). Utilizando o mapa de uso e cobertura da terra do ano mais recente, aplicou-se o modelo de Pesos de Evidência para determinar a força de associação entre cada variável explicativa e a probabilidade de transição para uma classe específica. O script processa rasters de variáveis, como declividade e distâncias reclassificadas às classes antrópicas, calculando os pesos  $W^+$  e  $W^-$  para valores de 1 a 10 de cada variável.
- **Geração da Matriz de Transição:** A partir de dois mapas espaçados em 10 anos, é calculada a matriz de transição, que reflete as probabilidades de mudança entre as classes ao longo do tempo. Essa matriz é essencial para entender as tendências históricas de transição e serve como base para as simulações futuras.
- **Simulação com Autômatos Celulares de Markov:** Um dos principais métodos para modelar cenários preditivos de uso e cobertura terra é por meio da utilização de Autômatos Celulares de Markov do inglês Cellular Automata Markov (CAM), sendo este um dos modelos mais confiáveis e utilizados por pesquisadores para uma análise espacial e temporal das

mudanças de uso e cobertura da terra (Marko et al., 2016). Segundo Pedrosa e Câmara (2002), as cadeias de Markov são modelos matemáticos para descrever processos estocásticos. Integrando a matriz de transição com a abordagem de Autômatos Celulares, o modelo incorpora a influência espacial dos vizinhos em cada célula. Essa integração aumenta o realismo espacial das simulações, capturando padrões de mudança que dependem da configuração espacial das classes.

- Previsões Decenais até 2103: O modelo resultante foi aplicado para gerar previsões decenais do uso e cobertura da terra até o ano de 2103, totalizando oito mapas preditivos (de 2033 a 2103), junto com um de validação (2023). Essa projeção permite visualizar possíveis cenários futuros e subsidiar o planejamento territorial.

O fluxo do processo inicia com a leitura do mapa de uso e cobertura da terra do ano mais recente disponível, juntamente com as variáveis explicativas necessárias para o cálculo dos pesos de evidência, que são armazenados em uma variável global para uso posterior. Em seguida, inicia-se um loop que percorre pares de mapas em intervalos de 10 anos (por exemplo, 2003 e 2013, depois 2013 e 2023, e assim por diante). Para cada par, calcula-se a matriz de transição, o script, então, analisa cada pixel individualmente, considerando sua categoria atual e os valores dos pixels em uma janela de 7x7 ao redor, ajustando as probabilidades de transição com base nessa vizinhança. Além disso, a influência das variáveis explicativas é aplicada para estimar a provável transição do pixel em análise. Após processar todos os pixels, o novo mapa é salvo, e o processo se repete para o próximo par de anos, permitindo a geração sequencial de mapas preditivos ao longo do tempo.

### **Validação do modelo**

Antes de gerar os cenários futuros, foi realizada uma etapa de validação do modelo. Para isso, foi simulado o mapa de 2023 com base nas transições observadas entre os anos de 2002 e 2012. O resultado foi comparado com o mapa real de 2022 para avaliar a acurácia do modelo.

Foram utilizadas métricas estatísticas como o índice de similaridade (Kappa), o erro médio absoluto (MAE) e o erro quadrático médio (RMSE) para avaliar a qualidade da previsão. Com a validação apresentando resultados satisfatórios, prosseguiu-se com a geração dos cenários futuros de uso e cobertura da terra até 2103.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Validação dos Modelos

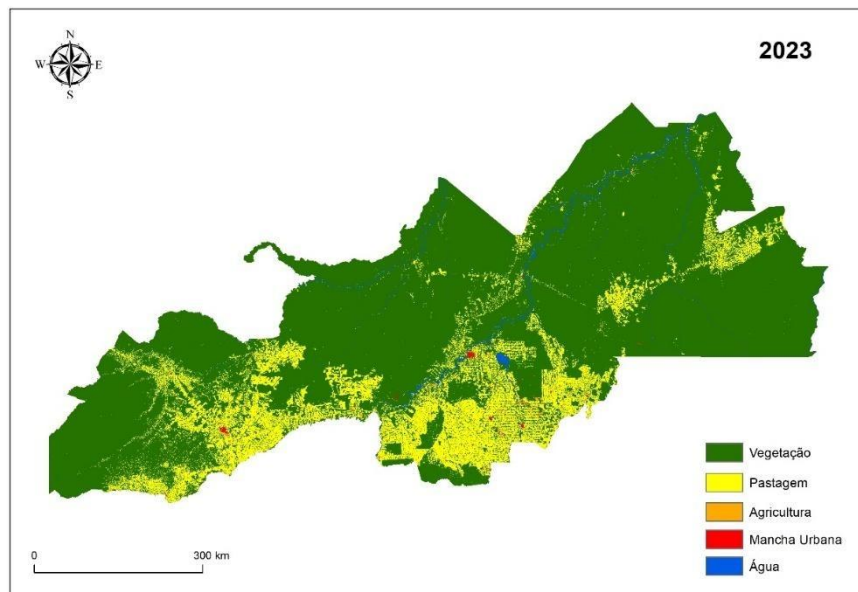
A validação dos modelos de simulação espacial aplicados à região da AMACRO foi realizada com base em três métricas de desempenho: *accuracy*, erro absoluto médio (MAE) e erro quadrático médio (MSE). Todos os cenários — Conservador, Moderado e Pessimista — apresentaram os mesmos resultados de validação, o que reforça a consistência estrutural do modelo em relação às variáveis utilizadas e à base empírica.

O valor de acurácia obtido foi de 0,954, indicando que aproximadamente 95% das transições simuladas coincidem com os padrões observados no período de calibração. O erro absoluto médio foi de 0,06, o que representa uma média de 6% de discrepância entre os valores previstos e os reais em termos absolutos. Já o erro quadrático médio, que penaliza maiores discrepâncias, foi de 0,11, permanecendo dentro de uma faixa aceitável para modelos de simulação espacial com essa complexidade.

A uniformidade nos resultados de validação entre os três cenários indica que as variações nas regras de influência de vizinhança afetam apenas os resultados projetados para o futuro, mas não a capacidade do modelo de representar com precisão a dinâmica espacial no período histórico. Isso reforça a robustez do modelo base utilizado, validando sua aplicabilidade para a geração de cenários de uso e cobertura da terra na região da AMACRO.

### Análise dos dados projetados

A Figura 2 e 3 e a Tabela 2 apresentam a evolução da ocupação do solo na região da AMACRO, comparando os dados observados em 2023 com os cenários projetados para o ano de 2103: Conservador, Moderado e Pessimista. Todos os cenários foram modelados com base nas mesmas variáveis ambientais — declividade, distância de áreas de pastagem, agricultura, áreas urbanas e estradas — e diferem apenas na intensidade da influência das classes de uso da terra na dinâmica de vizinhança.

**Figura 2– Mapa de uso e cobertura da terra da AMACRO, ano base 2023**

Fonte: Mapbiomas (2024).

A vegetação natural, que em 2023 ocupava cerca de 381.722 km<sup>2</sup>, apresenta tendência de redução em todos os cenários. No Conservador, a área projetada é de 358.728 km<sup>2</sup>; no Moderado, 343.326 km<sup>2</sup>; e no Pessimista, 322.624 km<sup>2</sup>. Essa queda reflete o avanço das atividades antrópicas, sobretudo da agropecuária.

As áreas de pastagem e agricultura mostram crescimento expressivo. A pastagem passa de 77.302 km<sup>2</sup> em 2023 para 91.847 km<sup>2</sup> no cenário Conservador, 89.620 km<sup>2</sup> no Moderado e 99.340 km<sup>2</sup> no Pessimista. A agricultura, que ocupava apenas 906 km<sup>2</sup> em 2023, aumenta substancialmente: 53.102 km<sup>2</sup> no Conservador, 59.351 km<sup>2</sup> no Moderado e 70.829 km<sup>2</sup> no Pessimista. Esses resultados evidenciam a forte pressão dessas atividades sobre o território, mesmo em contextos mais conservadores.

A mancha urbana também apresenta expansão, embora em menor escala. A área urbana cresce de 710,9 km<sup>2</sup> em 2023 para 4.928 km<sup>2</sup>, 5.208 km<sup>2</sup> e 5.640 km<sup>2</sup>, nos cenários Conservador, Moderado e Pessimista, respectivamente. Já a classe Água apresenta uma redução significativa de aproximadamente 1.560 km<sup>2</sup>, o que pode estar relacionado a intensa perda de vegetação

nativa. Dados do Mapbiomas (2024), mostram que em 2023, as áreas de superfície de água na Amazônia diminuíram 3,3 milhões de hectares em relação a 2022.

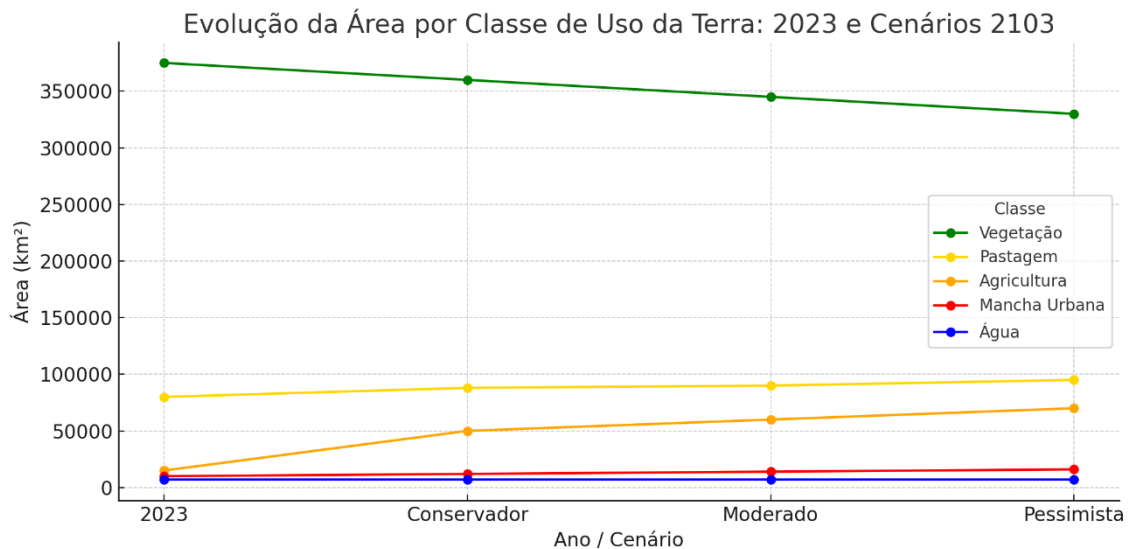
**Tabela 2 – Áreas por classe de uso e cobertura da terra na região da AMACRO em 2023 e nos cenários projetados para 2103 (em km<sup>2</sup>).**

		2103 (km <sup>2</sup> )		
Classe de Uso	2023(km <sup>2</sup> )	Conservador	Moderado	Pessimista
Vegetação	381.722,31	358.728,00	343.326,00	322.624,00
Pastagem	77.301,85	91.847,00	89.620,00	99.340,00
Agricultura	906,23	53.102,00	59.351,00	70.829,00
Mancha Urbana	710,92	4.928,00	5.208,00	5.640,00
Água	5.491,55	1.562,00	1.564,00	1.565,00

Fonte: Autores.

A Figura 3 evidencia essas tendências por meio de um gráfico de linhas, destacando a queda acentuada da vegetação e o crescimento das áreas agrícolas e de pastagem. Tais projeções demonstram que, mesmo com a consideração de variáveis ambientais como o relevo e a infraestrutura, a pressão das atividades antrópicas tende a reconfigurar significativamente a paisagem da AMACRO até o final do século, sobretudo sob contextos de baixa regulação.

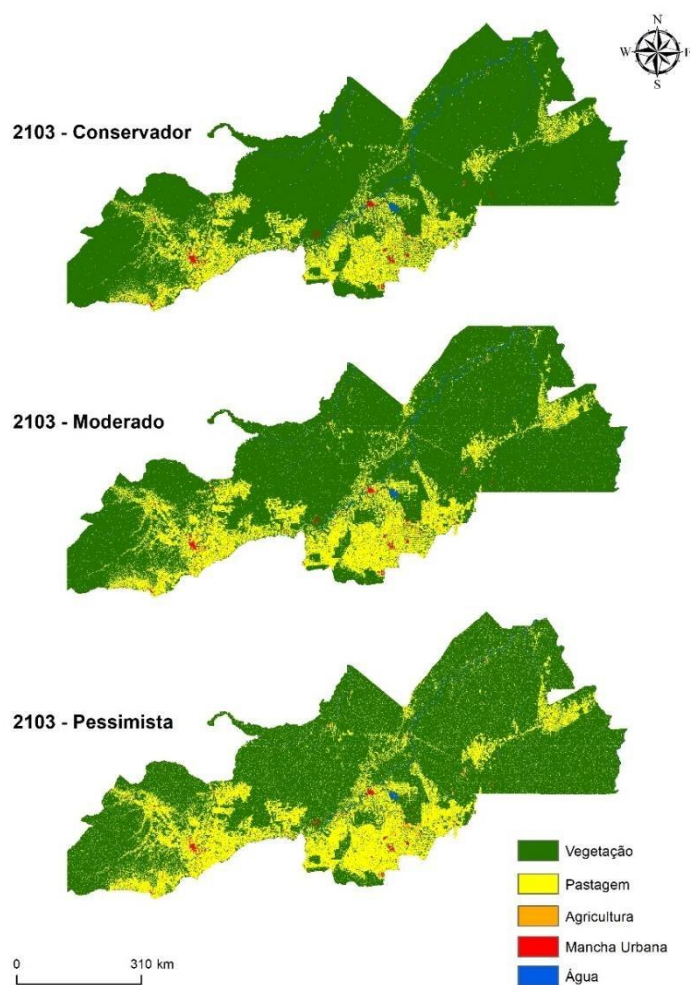
**Figura 3 – Evolução da área ocupada por classes de uso e cobertura da terra na região da AMACRO entre 2023 e os cenários projetados para 2103.**



Fonte: Autores.

A Figura 4 apresenta a distribuição espacial dos usos e coberturas da terra simulados para os anos de 2023 e 2103, nos três cenários modelados: Conservador, Moderado e Pessimista. Essa representação espacial permite visualizar com maior nitidez as mudanças do uso e cobertura. Observa-se, especialmente no cenário Pessimista, uma expansão marcante das áreas de pastagem e agricultura, que ocupam porções consideráveis do território anteriormente cobertas por vegetação. Nos cenários Conservador e Moderado, apesar da transformação da paisagem, ainda é possível identificar blocos contínuos de vegetação natural, sugerindo maior eficácia de políticas de contenção do uso da terra.

**Figura 4 – Mapas de uso e cobertura da terra para o ano de 2103 nos cenários Conservador, Moderado e Pessimista.**



Fonte: Autores

As projeções de perda de vegetação nativa na região da AMACRO, especialmente nos cenários Moderado e Pessimista, estão em consonância com tendências já observadas na última década. Segundo Silva Junior et al. (2021), o desmatamento na Amazônia atingiu, em 2020, o maior índice da década, impulsionado por pressões econômicas e políticas, incluindo o enfraquecimento de instituições ambientais e a redução de fiscalização (principalmente durante os anos de 2019 à 2022, onde o governo adotava políticas de flexibilização das leis ambientais).

As áreas de expansão mais intensiva coincidem com zonas de fricção fundiária e infraestrutura viária — padrão que também se repete na região da AMACRO, onde os modelos deste estudo projetam um avanço expressivo da agropecuária até 2103.

Os dados do MapBiomias (2023) indicam que, atualmente, mais de 60% das áreas desmatadas na Amazônia foram convertidas em pastagens. Na AMACRO, a presença de infraestrutura e a facilidade de acesso têm favorecido uma ocupação extensiva baseada na criação de gado, mesmo em áreas com alta aptidão ecológica para conservação. A tendência de substituição direta da vegetação nativa por pastagem, observada nos cenários simulados, reflete um processo contínuo de simplificação da paisagem.

Barona et al. (2010) já destacavam que a pecuária extensiva foi, historicamente, a principal responsável pelo desmatamento na Amazônia, superando inclusive a agricultura mecanizada em termos de área convertida. O estudo também ressalta que a ocupação da terra no bioma amazônico segue um padrão de fronteira de expansão: primeiro o desmatamento e a instalação de pastagem, e posteriormente, em algumas áreas, a substituição por agricultura. Esse padrão é reproduzido nos resultados deste trabalho, especialmente no cenário Pessimista, que projeta um crescimento simultâneo e acelerado de pastagem e agricultura, associado à fragmentação da vegetação remanescente.

Nesse contexto, as mudanças projetadas para 2103 evidenciam a urgência de reverter políticas permissivas e adotar estratégias de gestão territorial integradas. Como defendem Silva Junior et al. (2021), MapBiomias (2023) e Barona et al. (2010), é imprescindível articular ações de comando e controle com instrumentos de incentivo à conservação, regularização fundiária e valorização de usos sustentáveis da terra, em especial nas áreas de fronteira como a AMACRO.

Sem mudanças estruturais no modelo de ocupação do território, as projeções apresentadas indicam que os processos de desmatamento e degradação não apenas continuarão, como poderão se intensificar, comprometendo a integridade ecológica e os serviços ambientais da Amazônia no longo prazo.

## CONCLUSÕES

Este estudo apresentou projeções espaciais de uso e cobertura da terra para a região da AMACRO para o ano de 2103, por meio de modelagem baseada em autômatos celulares e variáveis ambientais relevantes. A partir de três cenários distintos — Conservador, Moderado e Pessimista — foi possível analisar os potenciais efeitos da dinâmica antrópica sobre a vegetação nativa, especialmente diante da influência de áreas agrícolas e de pastagem. Tendo uma redução da vegetação de 22.994,31 km<sup>2</sup> no conservador, 38.394,31 km<sup>2</sup> no moderado e 59.098,31 km<sup>2</sup> no pessimista. Dessa forma, se observa que é possível aumentar uma área de 36.104 km<sup>2</sup> de vegetação nativa no cenário conservador.

Já as áreas de pastagens e agricultura tiveram uma expansão maior no cenário pessimista em comparação com o conservador, sendo um aumento de área na pastagem de 7.493 km<sup>2</sup> e as áreas de agricultura uma expansão de 17.727 km<sup>2</sup> a mais do que nos cenários conservadores. Os resultados revelaram uma tendência clara de expansão da agropecuária e consequente retração da vegetação natural, sendo essa dinâmica mais acentuada no cenário Pessimista

A validação do modelo apresentou desempenho elevado, com acurácia de 95,4%, o que reforça a confiabilidade das simulações realizadas. A análise espacial destacou ainda a fragmentação da cobertura vegetal e a concentração das pressões antrópicas em áreas acessíveis e próximas a infraestruturas viárias.

A combinação entre simulação espacial e análise de cenários permite não apenas compreender possíveis trajetórias de transformação territorial, mas também subsidiar o planejamento e a formulação de políticas públicas mais eficazes. Diante das tendências projetadas, fica evidente a urgência de estratégias integradas de proteção ambiental, controle do desmatamento e incentivo ao uso sustentável da terra. A região da AMACRO, por seu caráter estratégico e vulnerável, demanda atenção especial no contexto das políticas de desenvolvimento regional e conservação da Amazônia.

## REFERÊNCIAS:

BARONA, E. et al. The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*, v. 5, n. 2, p. 024002, 2010. DOI: 10.1088/1748-9326/5/2/024002.

BONHAM-CARTER, G. F. *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. Ontario: Pergamon, 1994, 305p

CAI, Y. et al. Prediction of land use changes in an arid region by combining Markov chain and cellular automata models. *Water*, v. 12, n. 2, p. 309, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/2/309>. Acesso em: 03 abr. 2025.

GHOLOOBI, M. et al. Application of spatially-explicit models to simulate land use changes: a review of the current literature. *Geoscientific Model Development*, v. 14, p. 3539–3561, 2021. Disponível em: <https://gmd.copernicus.org/articles/14/3539/2021/>. Acesso em: 03 abr. 2025.

HAN, H.; YANG, C.; SONG, J. Simulation of scenario and prediction of land use and cover change in Beijing. *Procedia Environmental Sciences*, v. 2, p. 1038–1044, 2015.

MAPBIOMAS. Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, 1985–2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 03 abr. 2025.

MAPBIOMAS. Relatório anual de desmatamento e uso da terra no Brasil. Coleção 8, 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 07 abr. 2025.

MARKO, K.; ZULKARNAIN, F.; KUSRATMOKO, E. Coupling of Markov Chains and cellular automata spatial models to predict land cover changes (case study: upper Ci Leungsi catchment area). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 47, p. 1-10, 2016.

PEDROSA, B. M; CÂMARA, G. Modelagem Dinâmica e Geoprocessamento. São Paulo: INPE, 2002.

QIANG, Y.; LAM, N. S.-N. Modeling land use and land cover change in a hurricane-prone coastal community using remote sensing and GIS. Annals of the Association of American Geographers, v. 105, n. 5, p. 956–973, 2015.

SILVA JUNIOR, C. H. L. et al. The Brazilian Amazon deforestation rate in 2020 is the greatest of the decade. Nature Ecology & Evolution, v. 5, p. 144–145, 2021. DOI: 10.1038/s41559-020-01368-x.

SUI, D. Z.; ZENG, H. Modeling the dynamics of landscape structure in Asia's emerging desakota regions: a case study in Shenzhen. Landscape and Urban Planning, v. 53, n. 1–4, p. 37–52, 2001.

YULIANI, E.; PUTRI, R. A.; RAHAYU, T. D. M.; et al. Modeling of land use change using the Markov-CA model in metropolitan Bandung, Indonesia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 1386, 012027, 2024. DOI: 10.1088/1755-1315/1386/1/012027.