

The text that follows is a PREPRINT
O texto que segue é um PREPRINT

Please cite as:

Favor citar como:

Dutra, D.J., L.O. Anderson, P.M. Fearnside, A.M. Yanai, P.M.L. A. Graça, R.D. da Silva, A.C.M. Pessôa & L.E.O.E C. de Aragão. 2022. **Comparison of regional scale burned area products for southwestern Brazilian Amazonia**. In *Proceedings of the 23rd Brazilian Symposium on GeoInformatics*, São José dos Campos, SP, November 29 to 30, 2022. MCTI/INPE, São José dos Campos, SP: ID: Number 1668.
http://www.geoinfo.info/geoinfo_series.htm (in press).

On-line ISSN 2179-4847

Copyright: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

The original publication will be available from:

A publicação original estará disponível de:

http://www.geoinfo.info/geoinfo_series.htm

Performance de um modelo preditivo para simulação do desmatamento em Boca do Acre – Brasil

Debora J. Dutra¹, Igor J. M. Ferreira², Beatriz F. Cabral¹, Aurora M. Yanai³, Philip M. Fearnside³, Paulo M. L. de A. Graça³, Ricardo Dalagnol⁴, Daniel A. Braga⁵, Luiz E. de O. e C. de Aragão², Cláudia M. de Almeida², Liana O. Anderson¹

¹ Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - Estrada Dr. Altino Bondensan, 500 - Eugênio de Melo, São José dos Campos - SP, 12247-016

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Avenida dos Astronautas, 1.758 - Jd. Granja, São José dos Campos – SP, 12227-010

³ Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia - Av. André Araújo, 2936 - Petrópolis, Manaus - AM, 69067-375

⁴ NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL) - 4800 Oak Grove Dr, Pasadena, CA 91109, EUA

⁵ Universidade Federal de Santa Catarina - R. Eng. Agrônomo Andrei Cristian Ferreira, s/n - Trindade, Florianópolis - SC, 88040-900

{ddutra.ambiental, beatriz.figueiredocabral, igor.malfetoni, aurorayanai, philip.fearnside, pmalencastro, danielalvezbraga}@gmail.com, ricds@hotmail.com, {luiz.aragao, claudia.almeida}@inpe.br, liana.anderson@cemaden.gov.br

Resumo. *O estudo destaca a importância crítica da vegetação na Amazônia para a estabilidade climática, mas ressalta os impactos severos do desmatamento, especialmente nas atividades agrícolas, queimadas e infraestrutura. A região sudoeste da Amazônia enfrenta uma vulnerabilidade significativa à perda de serviços ecossistêmicos. Modelos espacialmente explícitos são fundamentais para prever mudanças na cobertura da terra, como demonstrado pelo modelo de projeção de desmatamento aplicado neste estudo de 2017 a 2021. Os resultados destacam a eficácia do modelo, apontando para seu potencial em simulações futuras e influência nas decisões políticas para a preservação florestal. Sugere-se refinamento nas técnicas para estudos subsequentes, visando maior precisão nas projeções de uso do solo.*

1. Introdução

A vegetação é um importante componente para manutenção da estabilidade climática, sendo fundamental para a ciclagem da água, os fluxos de energia e os fluxos e estoques de carbono da superfície terrestre, principalmente na região Amazônica (ARAGÃO et al., 2018). Esses processos, tornam as florestas tropicais importantes reguladores climáticos globais, uma vez que, atuam para provisão dos denominados serviços ecossistêmicos (DUTRA et al., 2023), fundamentais para a ocorrência de chuvas em amplas áreas da América do Sul (FEARNSIDE, 2008).

A expansão do desmatamento nas últimas décadas no bioma amazônico trouxe impactos associados às atividades agrícolas (FERRANTE; FEARNSIDE, 2019), às queimadas (MATAVELI; DE OLIVEIRA; et al., 2021), à geração de energia hidrelétrica e à infraestrutura (MATAVELI; CHAVES; et al., 2021). Existem vários fatores que contribuem para o avanço do desmatamento nesta região. Entre eles, pode-se citar o

modelo de colonização baseado em migração com incentivos ao agronegócio, exploração madeireira e investimentos em infraestrutura, especialmente abertura e pavimentação de estradas, contribuindo para o avanço de novas frentes de ocupações em áreas de floresta até então sem acesso (SCHMITT; SCARDUA, 2015).

O sudoeste da Amazônia enfrenta riscos de desmatamento, especialmente devido a queimadas, tornando-se vulnerável à perda de serviços ecossistêmicos cruciais (DUTRA et al., 2023). Modelagem ambiental é crucial para prever mudanças na cobertura da terra, apoiando decisões políticas (OLIVEIRA et al., 2019). A abordagem sistêmica é essencial para entender as complexidades ambientais, visualizando a Terra como um sistema interconectado (COCHRANE et al., 1999).

Dentro desse escopo, os modelos espacialmente explícitos podem ser citados, pois são capazes de mostrar “onde” e “como” ocorre um fenômeno ambiental. No caso de LUCC, eles simulam os padrões de mudança na paisagem em resposta à dinâmica humana-ecológica (LIMA et al., 2014). Dessa forma, o objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo de projeção de desmatamento para o sudoeste da Amazônia e analisar a trajetória desse processo no período de 2017 a 2021.

2. Metodologia

2.1 Área de estudo

A região de estudo, localizada no sudoeste da Floresta Amazônica entre Amazonas e Acre, abrange partes de vários municípios (Figura 1). A paisagem é afetada pela expansão das atividades humanas, resultando em aumento do desmatamento, especialmente de 2016 a 2019 (DUTRA et al., 2023). A vegetação inclui floresta úmida densa, mosaicos de vegetação lenhosa oligotrófica e áreas de ecótono, com clima equatorial e precipitação média anual de 247 mm nos meses chuvosos e 20 mm nos secos (ALVARES et al., 2013).

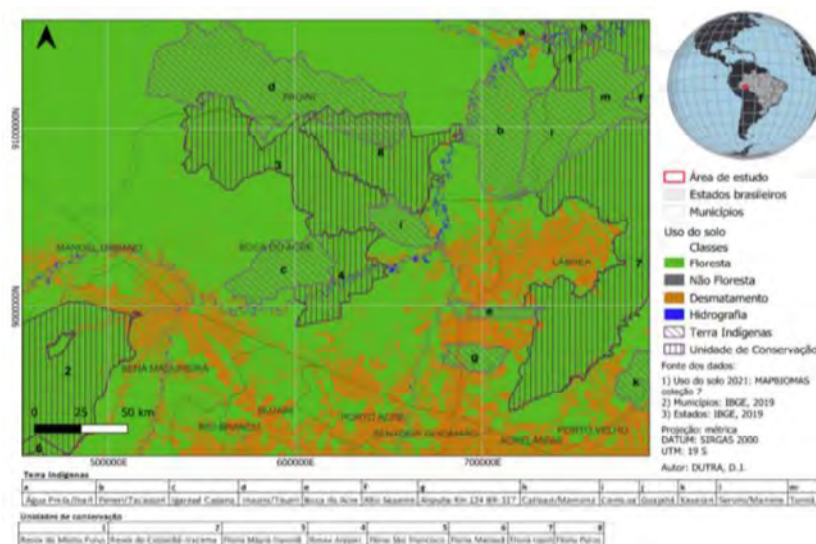


Figura 1. Área de estudo, situada em parte do sudoeste da Amazônia – Brasil.

2.2 Modelagem

Desenvolveu-se um modelo de simulação espaço-temporal (LULCC) que explicitamente simula mudanças de uso do solo em termos de quantidade e categoria em um período específico, facilitando a compreensão de processos e auxiliando em projeções políticas para mitigar impactos humanos globais e locais (Olmedo et al., 2018).

O processo de modelagem compreendeu quatro etapas: pré-processamento dos dados, calibração, simulação e validação. Dados anuais do MAPBIOMAS (2017-2021) foram reclassificados em quatro classes: floresta estável (área de vegetação nativa), não floresta estável (i.e, área urbana e regiões não florestais), desmatamento (área com intervenção antrópica) e hidrografia. A classe de hidrografia foi corrigida com a máscara de água do European Commission's Joint Research Centre (JRC) – “Global Surface Water Mapping Layers, v.1.4” (PEKEL et al., 2016). A uniformização de projeção, referencial geodésico e resolução espacial (30 m) foi aplicada a todos os layers.

O modelo na plataforma Dinamica EGO (OLIVEIRA et al, 2023) simula mudanças em uso e cobertura da terra (LUCC), especialmente na transição de floresta para desmatamento. Na calibração, avalia a atratividade ou repulsão de variáveis explicativas estáticas e dinâmicas em relação ao evento de transição, sendo estas atualizadas a cada iteração para melhor compreensão de processos de mudança (SOARES FILHO et al, 2013). O estudo emprega variáveis estáticas (discretas ou contínuas) e dinâmicas (contínuas) para modelar mudanças na cobertura da terra. As contínuas são categorizadas e avaliadas quanto à associação com a variável resposta (LOPES, 2015). Além disso, pesos de evidência foram calculados para avaliar a influência de cada variável na probabilidade de transição entre classes de uso da terra (BONHAM-CARTER, 1994). O método, paramétrico e baseado no teorema bayesiano, pressupõe independência espacial entre variáveis, exigindo testes de Cramer (V) e Incerteza de Informação Conjunta (U) para avaliar associação ou dependência espacial e reduzir viés no modelo (BONHAM-CARTER, 1994).

Foram analisadas métricas de paisagem para parâmetros do patcher e expander, obtendo variância (2.021,84 ha) e média (7,14 ha). A validação do modelo envolveu análise fuzzy, função de decaimento exponencial e um modelo nulo para fins comparativos (PONTIUS; HUFFAKER; DENMAN, 2004).

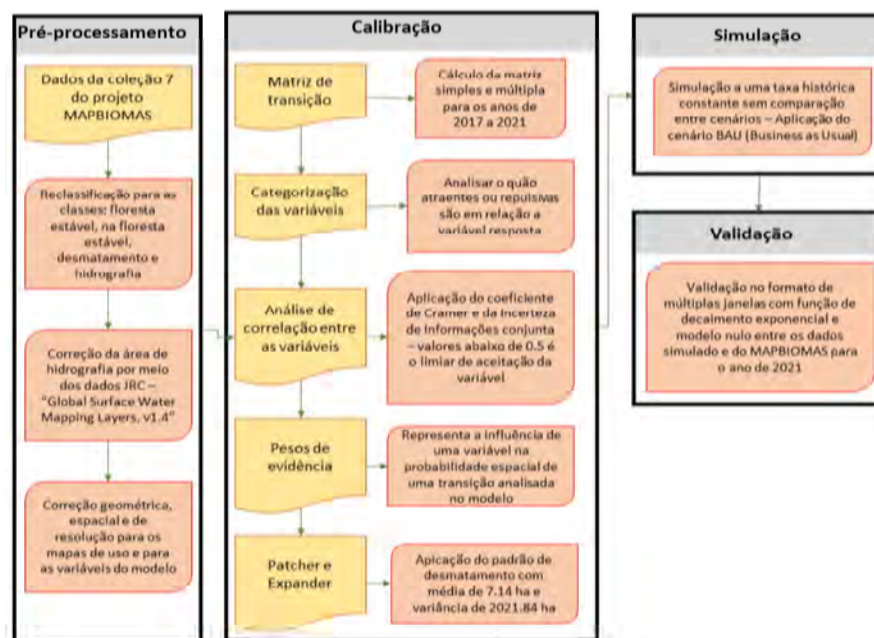


Figura 2. Fluxograma metodológico do modelo de pesos de evidências.

3. Resultados e Discussões

A taxa de desmatamento acumulado na região de estudo foi de 2,9% de 2017 a 2021, com média anual de 0,76%. Essas taxas são inferiores a regiões como o noroeste de Mato Grosso, que registrou 15% no mesmo período e 2% ao ano. A discrepância é atribuída à região ser propensa à expansão do arco do desmatamento, explicando as taxas mais baixas

em comparação com o noroeste do Mato Grosso (PEREIRA, 2019). O desmatamento tem maior probabilidade de ocorrer próximo a áreas previamente desmatadas na região estudada. Diferenças entre o modelo simulado e o original (MAPBIOMAS) incluíram superestimativas nas regiões desmatadas (até 15%) e subestimativas próximas às bordas (até 35%). A validação revelou similaridade máxima acima de 0,4 na janela de 3x3 pixels, indicando eficiência entre 10,24% e 29,80% para similaridade mínima e entre 12,75% e 48,5% para a máxima em comparação com o modelo nulo. Similaridade acima de 0,4 indicou boa concordância entre o mapa simulado e o MAPBIOMAS (MACEDO, 2013).

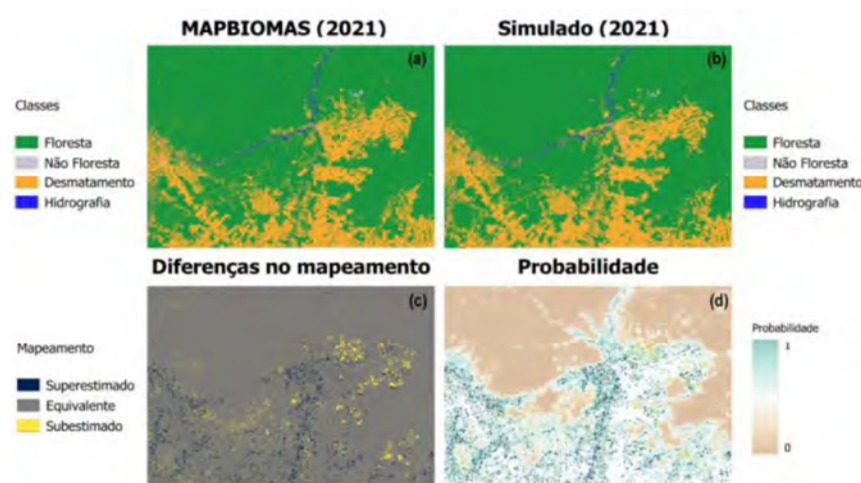


Figura 3. (a) Análise da paisagem, contendo o dado original (MAPBIOMAS); (b) o modelo simulado; (c) o mapa das diferenças no mapeamento; e (d) o mapa de probabilidade para o ano de 2021.

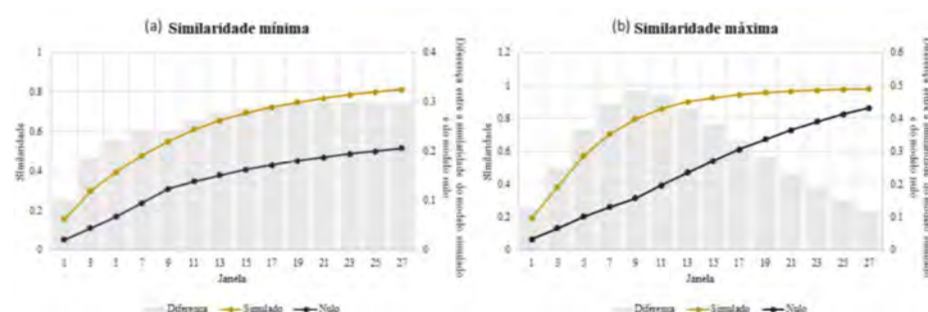


Figura 4. (a) Validação pela similaridade mínima das diferenças por múltiplas janelas (modelo simulado com pesos de evidências e modelo nulo); (b) Validação pela similaridade máxima das diferenças por múltiplas janelas (modelo simulado com pesos de evidências e modelo nulo).

Entre 2017 e 2021, o desmatamento na região de estudo se concentrou principalmente ao sul, expandindo-se para noroeste e nordeste, influenciado pela presença de uma terra indígena como barreira (Figura 3). Anualmente, as áreas florestais permanecem superiores ao desmatamento acumulado, apesar do aumento anual (Figura 5). A diferença entre áreas florestadas e desmatadas diminuiu (média de 56.515 ± 1.989 km²), indicando avanço de áreas antropizadas, relacionadas a atividades agrícolas, pecuárias e pavimentação de estradas como a BR-317. Esse avanço, associado a rodovias na Amazônia, é preocupante, expondo áreas protegidas ao desmatamento, indicando uma nova fronteira de vulnerabilidade na região (MATAVELI; DE OLIVEIRA; et al., 2021).



Figura 5. Evolução da trajetória de desmatamento.

4 Conclusão

O modelo simulado eficientemente representou a trajetória do desmatamento na região de estudo de 2017 a 2021, permitindo simulações de cenários futuros. A validação do modelo destacou resultados positivos na análise de similaridade fuzzy, evidenciando até 29,8% de diferença em relação ao modelo nulo para a similaridade mínima e 48,5% para a máxima (janela 9x9). Este modelo oferece potencial para orientar decisões políticas, identificando áreas mais vulneráveis ao desmatamento. Pode contribuir para diagnósticos e prognósticos visando a preservação de áreas florestais, especialmente em terras indígenas e unidades de conservação. Recomenda-se, contudo, a aplicação de uma função de regionalização em estudos futuros para uma maior precisão na identificação dos agentes de desmatamento predominantes.

5 Referências

- ALVARES, C. A. et al. (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, pages 711–728.
- ARAGÃO, L. E. O. C. et al. (2018) 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nature Communications*, pages 1–12.
- BONHAM-CARTER, G. (1994) *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. 1. ed. --: Pergamon.
- COCHRANE, M. A. et al. (1999) Positive Feedbacks in the Fire Dynamic of Closed Canopy Tropical Forests. *Science*, pages 1832–1835.
- DUTRA, D. J. et al. (2023) Fire Dynamics in an Emerging Deforestation Frontier in Southwestern Amazonia, Brazil. *Fire*, pages 2-21.
- FEARNSIDE, P. M. (2008) Amazon Forest maintenance as a source of environmental services. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, pages 101–114.
- FERRANTE, L.; ANDRADE, M. B. T.; FEARNSIDE, P. M. (2021) Land grabbing on Brazil's Highway BR-319 as a spearhead for Amazonian deforestation. *Land Use Policy*, pages 0–3.
- FERRANTE, L.; FEARNSIDE, P. M. (2019) Brazil's new president and 'ruralists' threaten Amazonia's environment, traditional peoples and the global climate. *Environmental Conservation*, pages 261–26

- LEITE-FILHO, A. T. et al. (2021) *Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO*. Disponível em: https://www.csr.ufmg.br/dinamica/dokuwiki/doku.php?id=guidebook_start .
- LIMA, L. S. et al. (2014) Feedbacks between deforestation, climate, and hydrology in the Southwestern Amazon: Implications for the provision of ecosystem services. *Landscape Ecology*, pages 261–274.
- LOPES, D. F. M. (2015) *O método de Pesos de Evidência apresenta-se como alternativa para modelagem de adequabilidade do habitat?*, 36 f. Universidade Federal de Minas Gerais.
- MACEDO, R. (2013) Modelagem dinâmica espacial e valoração das alterações de cobertura e uso da terra relacionadas a expansão canavieira. *Bol. Ciênc. Geod*, pages 313–337.
- MAPBIOMAS. (2021) *PROJETO MAPBIOMAS*. Disponível em: <https://mapbiomas.org>
- MATAVELI, G. A. V.; DE OLIVEIRA, G.; et al. (2021) Relationship between biomass burning emissions and deforestation in Amazonia over the last two decades. *Forests*, pages 1–19.
- MATAVELI, G. A. V.; CHAVES, M. E. D.; et al. (2021) The emergence of a new deforestation hotspot in Amazonia. *Perspectives in Ecology and Conservation*, pages. 33–36.
- OLIVEIRA, A. S. et al. (2019) Economic losses to sustainable timber production by fire in the Brazilian Amazon. *The Geographical Journal*, v. 185, n. 1, pages. 55–67, 27 mar. 2019.
- OLIVEIRA, U., SOARES-FILHO, B., RODRIGUES, H. ET AL. (2023) A near real-time web-system for predicting fire spread across the Cerrado biome. *Sci Rep*. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30560-9>
- OLMEDO, M. T. C., PAEGELOW, M., MAS, J. F., & ESCOBAR, F. (2018). Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios. An Introduction. *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*, 1–8. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60801-3_1
- PEKEL, J. F. et al. (2016) High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, pages. 418–422.
- PONTIUS, R. G.; HUFFAKER, D.; DENMAN, K. (2004) Useful techniques of validation for spatially explicit land-change models. *Ecological Modelling*, v. 179, n. 4, pages 445–461, dez. 2004.
- SCHMITT, J.; SCARDUA, F. P. (2015) A descentralização das competências ambientais e a fiscalização do desmatamento na Amazônia. *Revista de Administração Pública*, pages 1121–1142.
- SOARES-FILHO, B. et al. (2004) Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: The Santarém-Cuiabá corridor. *Global Change Biology*, pages 745–764.