

Proposta metodológica para mapeamento das áreas de não-floresta presentes no projeto de monitoramento de áreas desflorestadas da Amazônia Legal Brasileira

Methodological proposal for mapping non-forest areas presents in the project of deforested areas of the Brazilian Legal Amazon

Propuesta metodológica para el mapeo de áreas no forestales presentes en el proyecto de monitoreo de áreas deforestadas en la Amazonía Legal Brasileña

Recebido: 15/01/2022 | Revisado: 20/01/2022 | Aceito: 09/03/2022 | Publicado: 16/03/2022

Lucyana Barros Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9584-9274>
Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade - SEMAS-PA, Brasil
E-mail: lucyana_barros@hotmail.com

Marcos Adami

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4247-4477>
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil
E-mail: marcos.adami@inpe.br

Alessandra Rodrigues Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8471-4905>
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil
E-mail: alessandra.gomes@inpe.br

Márcia Nazaré Rodrigues Barros

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0495-3995>
Universidade Federal do Pará, Brasil
E-mail: mnrbarros@gmail.com

Lidiane Araújo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2296-7875>
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil
E-mail: lidianelimadearaujo@gmail.com

Tamires Lisbôa Guimarães

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1251-2519>
Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade - SEMAS-PA, Brasil
E-mail: tamilisboa@yahoo.com.br

Francimary da Silva Carneiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1693-8779>
Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade-SEMAS-PA, Brasil
E-mail: francimarycarneiro@gmail.com

Resumo

As áreas com formações não-florestais presentes na Amazônia Legal Brasileira estão sob a ameaça devido ao aumento do desmatamento associado à agricultura, pastagens, infraestrutura rodoviária e do aumento populacional das cidades e povoamentos. Todavia a sua diversidade de fisionomias vegetacionais e seu status de conservação ainda são pouco conhecidas. A presente pesquisa apresenta uma proposta metodológica de mapeamento das áreas com formações não florestais, com base no melhor entendimento da dinâmica de uso e cobertura da região amazônica, seguindo as classes do Projeto TerraClass. O estudo foi conduzido em uma área localizada do estado de Rondônia e se propôs a realizar a análise da paisagem por meio de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento utilizando a plataforma *Google Earth Engine* para o ano de 2019. Os resultados revelam uma mudança na paisagem, onde as classes Pastagem, Floresta e Não-floresta compõe a maior parte da paisagem da área. Os dados de uso da terra gerados a partir do processamento de imagens de satélite e o cruzamento dos polígonos de não-floresta mostraram que as classes Pastagem e Floresta passaram a compor a maior parte da paisagem onde deveria ter somente a presença de não-floresta. Ressalta-se a importância da continuação do mapeamento da dinâmica das mudanças da paisagem que garantam a conservação das áreas de remanescentes não-florestais dada intensidade com que as mudanças ocorrem na região.

Palavras-chave: Dinâmica de uso da terra; Região amazônica; Análise da paisagem; Classe não-floresta.

Abstract

The areas with non-forest formations present in the Brazilian Legal Amazon are under threat due to the increase in deforestation associated with agriculture, pastures, road infrastructure and the population increase of cities and

settlements. However, its diversity of vegetation physiognomies and its conservation status are still little known. This research presents a methodological proposal for mapping areas with non-forest formations, based on a better understanding of the dynamics of use and coverage of the Amazon region, following the classes of the TerraClass Project. The study was conducted in a localized area of the state of Rondônia and was proposed to perform landscape analysis through remote sensing and geoprocessing techniques using the Google Earth Engine platform for the year 2019. The results reveal a change in the landscape, where the classes Pasture, Forest and Non-forest make up most of the landscape of the area. The land use data generated from the processing of satellite images and the crossing of non-forest polygons showed that the Pasture and Forest classes began to make up most of the landscape where it should have only the presence of non-forest. It is emphasized the importance of continuing the mapping of the dynamics of landscape changes that ensure the conservation of areas of non-forest remnants given intensity with which changes occur in the region.

Keywords: Conservation; Dynamics of land use; Amazon region; Landscape analysis.

Resumen

Las áreas con formaciones no forestales presentes en la Amazonía Legal Brasileña están amenazadas debido al aumento de la deforestación asociada a la agricultura, los pastos, la infraestructura vial y el aumento de la población de ciudades y asentamientos. Sin embargo, su diversidad de fisionomías vegetales y su estado de conservación son aún poco conocidos. Esta investigación presenta una propuesta metodológica para mapear áreas con formaciones no forestales, basada en una mejor comprensión de la dinámica de uso y cobertura de la región amazónica, siguiendo las clases del Proyecto TerraClass. El estudio se realizó en un área localizada del estado de Rondônia y se propuso realizar análisis de paisajes a través de técnicas de teledetección y geoprocésamiento utilizando la plataforma Google Earth Engine para el año 2019. Los resultados revelan un cambio en el paisaje, donde las clases Pastos, Bosques y No Forestales conforman la mayor parte del paisaje de la zona. Los datos de uso de la tierra generados a partir del procesamiento de imágenes satelitales y el cruce de polígonos no forestales mostraron que las clases Pastos y Bosques comenzaron a conformar la mayor parte del paisaje donde debería tener solo la presencia de no bosques. Se enfatiza la importancia de continuar con el mapeo de las dinámicas de cambios paisajísticos que aseguren la conservación de áreas de remanentes no forestales dada la intensidad con la que se producen los cambios en la región.

Palabras clave: Conservación; Dinámica del uso de la tierra; Región amazónica; Análisis del paisaje.

1. Introdução

O Brasil apresenta uma elevada biodiversidade abrigando em seu território parte da maior extensão contínua de floresta tropical, além de conter extensas áreas de cerrado, campos naturais, áreas costeiro-marinhas e inundáveis. As florestas e todos esses ecossistemas têm grande importância ecológica e econômica com destaque para a biodiversidade e os serviços ambientais que realizam para o planeta. O grande desafio do Brasil é conseguir integrar as questões ambientais à lógica de desenvolvimento econômico, de forma a buscar o desenvolvimento sustentável (Resende et al 2003, Carvalho et al 2015, Ahmed et al 2021).

Além das florestas, as outras formações presentes no território brasileiro apresentam altíssima biodiversidade. Dentre essas formações encontram-se as formações não-florestais dentro do bioma Amazônia. Estas áreas de formações não-florestais correspondem, de acordo com IBGE (2012), a tipologias vegetais diferentes da florestal, como savana arbórea-arbustiva ou cerrado, savana gramíneo-lenhosa ou campo limpo de cerrado e savana parque ou campinarana. De acordo com De Carvalho & Mustin (2017), as savanas amazônicas são pouco conhecidas, altamente ameaçadas e pouco protegidas, e são estas áreas que estão sob ameaça do aumento do desmatamento associado à agricultura, pastagens, infraestrutura rodoviária e do aumento populacional das cidades e povoamento (Souza Filho, 2006, Santana & Araújo 2017, Ribeiro 2022). Todavia são pouco conhecidas quanto a sua diversidade de fisionomias vegetacionais e seu status de conservação. Isto se deve à falta de monitoramento ou mapeamento dessas áreas, o que impossibilita conhecer a área atualmente preservada e a quantidade que já foi desmatada. Desde 1988 o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) realiza através do Programa de Monitoramento do Desflorestamento da Amazônia (PRODES), o mapeamento do desmatamento da Floresta Amazônica sistematicamente e a partir destes dados também são medidas as taxas anuais da perda de floresta primária por corte raso (remoção completa da cobertura florestal), através da utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (INPE 2008, INPE 2019).

Posteriormente, para avaliar os vetores do desmatamento na Amazônia foi criado do projeto TerraClass. Este projeto é uma parceria entre INPE e Embrapa para a geração de dados de uso e cobertura da terra para a Amazônia, das áreas desflorestadas já mapeadas pelo Projeto PRODES (Almeida et al 2016). A geração destas informações permite melhor entendimento da dinâmica de uso e cobertura da região amazônica nessas áreas. O INPE também possui entre suas missões, o monitoramento por imagens de satélite da Amazônia Brasileira e a realização de pesquisa e desenvolvimento tecnológico na área de geotecnologias. Entretanto, estes programas não realizam o monitoramento das áreas com formações não florestais no interior da Amazônia.

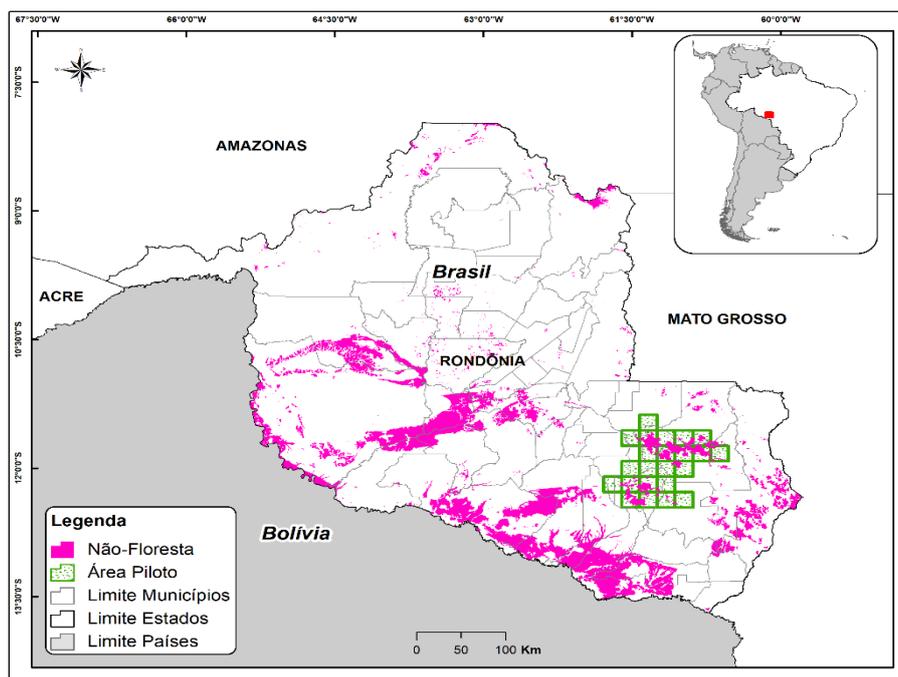
Desta maneira, essas áreas com formações não florestais ficam desprotegidas, passíveis de serem desmatadas e queimadas sem que os órgãos responsáveis pela defesa ambiental tomem conhecimento do que está ocorrendo. Neste sentido, este trabalho é pioneiro, pois o objetivo desta pesquisa foi o de identificar áreas piloto de não-floresta na Amazônia Legal Brasileira e realizar uma proposta metodológica de mapeamento de uso e a cobertura da terra dessas áreas conforme metodologia do Projeto TerraClass, gerando conhecimento sobre os processos de desmatamento ocorridos nestas áreas.

2. Metodologia

O estado de Rondônia apresenta uma área desmatada de 62.950 km², o que equivale a 13,77% do total desmatado até o ano de 2020 em toda área de formação florestal da Amazônia, sendo que aproximadamente 44,9% da área florestal deste estado foi desmatada até 2020. Segundo as taxas acumuladas de desmatamento do PRODES o estado de Rondônia é o quarto estado da Amazônia Legal que mais desmata (PRODES, 2020). Por conta disso, e também devido a existência de 10,25% da área estadual pertence à classe de não-floresta, este estado foi selecionado para executar esta primeira abordagem.

Inicialmente, a área piloto foi definida no Estado de Rondônia em uma região contendo áreas de Não Floresta (NF) onde também existem dados do Projeto TerraClass (Figura 1). A área selecionada como NF foi identificada com base no Mapa de Vegetação do IBGE (2004), onde constam as fitofisionomias Savana Arbórea-Arbustiva (Cerrado), Savana Gramíneo-Lenhosa (Campo Limpo de Cerrado), Campinarana, dentre outras não-florestais. Os polígonos de NF (1.669,74 km²) utilizados neste trabalho são provenientes dos dados gerados no Projeto PRODES (PRODES, 2020). A área de estudo proposta nesta pesquisa está representada em células (*grids*) e compreende uma área de 8.978,57 km², e abrange partes das áreas territoriais de 10 municípios que são: Alto Alegre dos Parecis (55,82 km²), Cacoal (467,40 km²), Chupinguaia (887,71 km²), Espigão D'Oeste (666,54 km²), Parecis (2235,40 km²), Pimenta Bueno (3329,48 km²), Primavera de Rondônia (605,69 km²), Rolim de Moura (89,61 km²), Santa Luzia D'Oeste (332,42 km²) e São Felipe D'Oeste (308,50 km²), no estado de Rondônia. As áreas de NF limitam-se ao Norte pelo Estado do Mato Grosso no Brasil e ao Sul pela Bolívia. As células foram distribuídas e geradas a partir da ferramenta *fishnet* do *software* ArcGIS® a partir dos limites dos polígonos classificados como NF.

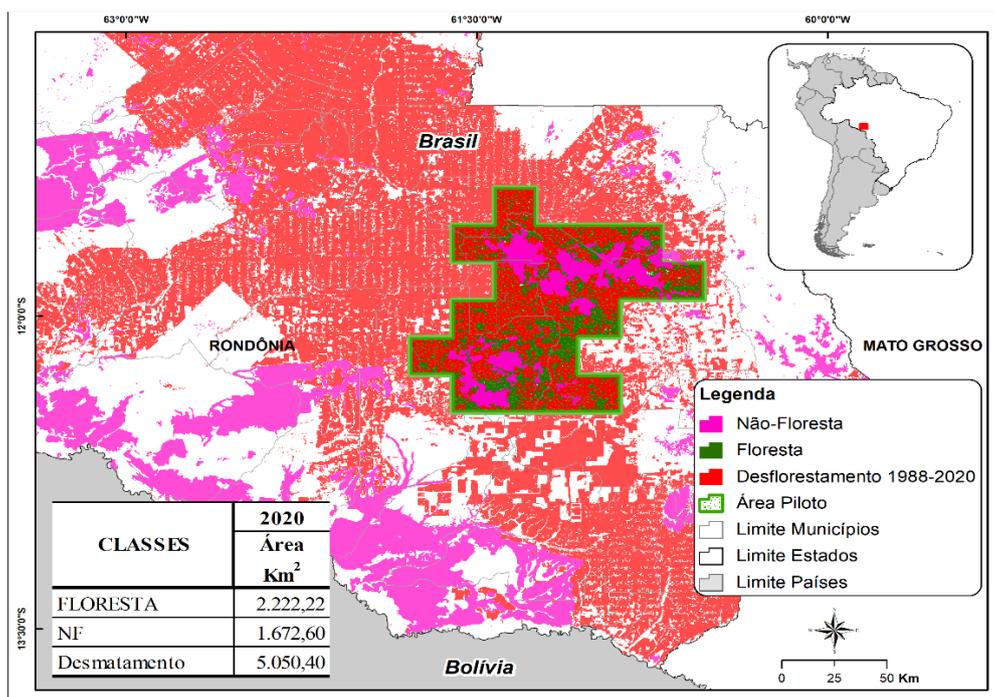
Figura 1 – Localização da área piloto no estado de Rondônia.



Fonte: Autores.

A Figura 2 apresenta, em detalhe, a forte pressão de desmatamento nas células consideradas como área piloto desta pesquisa. Segundo dados do PRODES (2020) a área piloto apresenta 5.050,40 km² de área desflorestada o que é preocupante, pois este tipo de vegetação é também uma fonte de emissões de gases de efeito estufa, embora as áreas de NF sejam muito menos densamente florestadas do que a floresta amazônica.

Figura 2 – Mapa da área piloto no estado de Rondônia com dados acumulados de desmatamento do PRODES (1988-2020), floresta e NF.



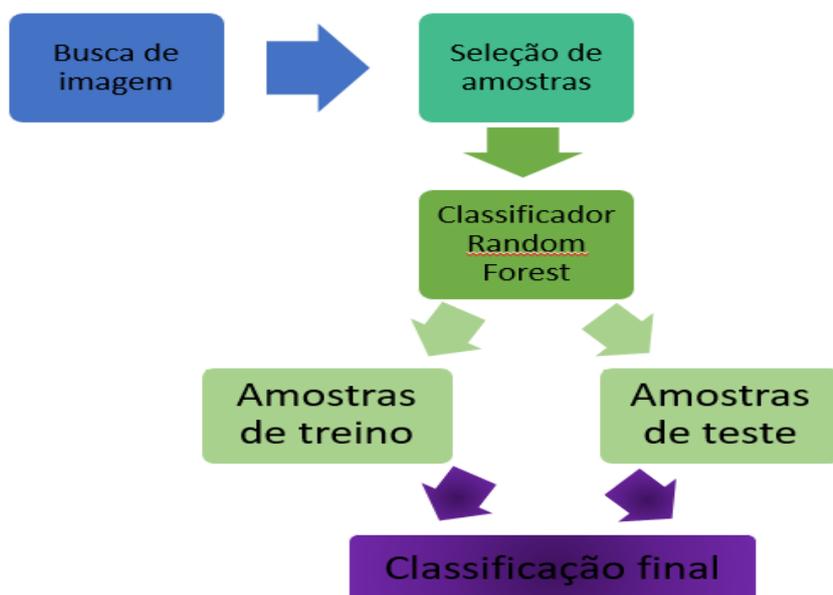
Fonte: Autores.

Para a realização do trabalho foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8 – sensor OLI TIRS do ano de 2019 de junho a setembro, correspondentes às cenas 230/68, 230/69 e 231/68. A partir das imagens foram coletadas amostras das classes de uso da terra de forma aleatória na plataforma do Google Earth Engine (GEE) (Gorelick et al, 2017), para execução do processo de classificação utilizando o algoritmo Random Forest. Todo o fluxo metodológico foi gerado utilizando um script desenvolvido no GEE.

Realizou-se testes metodológicos de classificação no software GEE através do algoritmo *Random Forest* (Breiman 2001). Para realizar a classificação este algoritmo gera um número de árvores de decisão, definido pelo usuário e com base nesta coleção de árvores de decisão realiza a classificação. Este método tem sido muito utilizado devido as suas características de desconsiderar a distribuição estatística *a priori* dos dados, a agilidade no processamento dos dados e por apresentar bons resultados de classificação, quando comparado a outros métodos (Du et al. 2015; Belgiu & Drăgu, 2016).

A Figura 3 mostra o processo gerado através de script feito no GEE para gerar a imagem classificada.

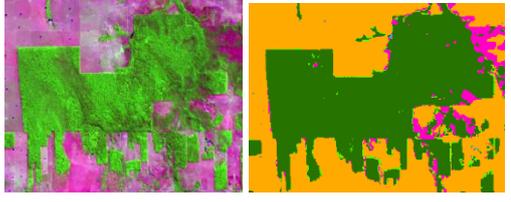
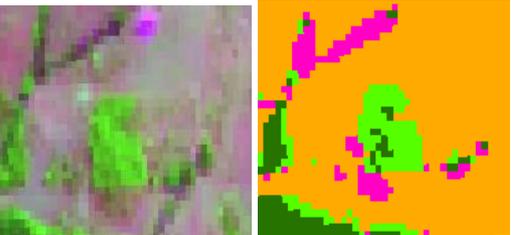
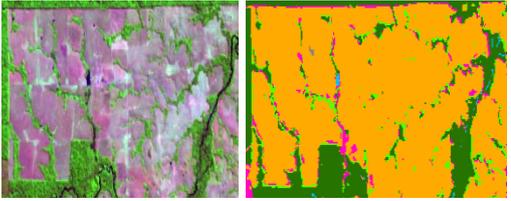
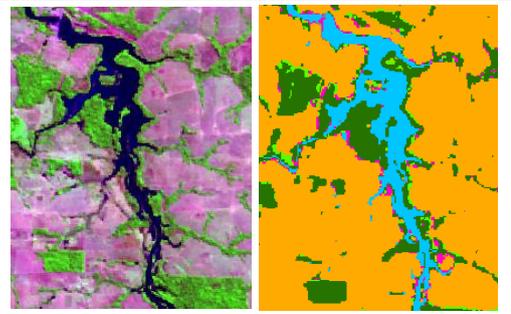
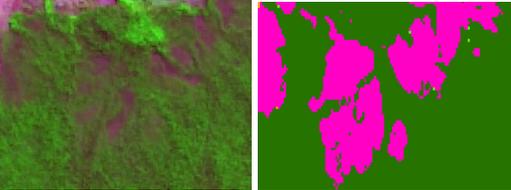
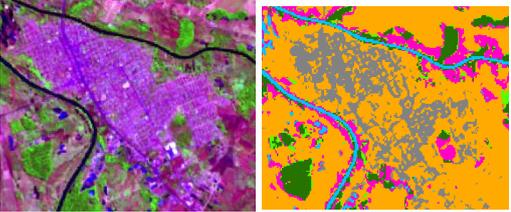
Figura 3 - Fluxograma demonstrando o processo no GEE.



Fonte: Autores.

Para a descrição das classes de uso da terra, foram adotadas e adaptadas algumas classes utilizadas no projeto TerraClass (Almeida et al, 2016). A Tabela 1 apresenta uma descrição das classes temáticas de uso da terra utilizadas para interpretação dos dados, bem como amostra de como estas se apresentavam na imagem Landsat e na classificação.

Tabela 1 – Descrição das Classes de Uso e Cobertura da terra e sua aparência da Imagem Landsat.

Descrição das Classes de uso e cobertura da terra		
Floresta	Vegetação arbórea pouco alterada ou sem alteração, com formação de dossel contínuo. Classe oriunda do projeto PRODES	
Vegetação Secundária (VS)	Áreas que, após a supressão total da vegetação florestal, encontram-se em processo avançado de regeneração da vegetação arbustiva e/ou arbórea ou que foram utilizadas para a prática de silvicultura ou agricultura permanente com uso de espécies nativas ou exóticas.	
Pastagem	Áreas de pastagem em processo produtivo após o corte raso da floresta e/ou o desenvolvimento de alguma atividade agropastoril	
Hidrografia	Área representada por rios, lagos e represas	
Não-Floresta	Áreas com formações naturais não florestais	
Outros	Áreas que não se enquadram nas chaves de classificação acima citadas	

Fonte: Autores.

Após a etapa de processamento das imagens foi gerado o mapa classificado do uso e cobertura da terra de 2019 e a partir da ferramenta *majority filter* do software ArcGIS foi passado um filtro na classificação com o objetivo de uniformizar as classes temáticas, eliminando pixels isolados.

3. Resultados e Discussão

Na etapa de classificação foram identificadas as seguintes classes dentro das áreas de estudo: Floresta, Vegetação Secundária (VS), Pastagem, Hidrografia, e Outros, sendo que nesta última classe foram englobadas área urbana, afloramentos rochosos e outros tipos de uso que não os citados anteriormente.

Após a etapa de processamento das imagens foi obtido a classificação do uso e cobertura da terra para o ano de 2019 e a partir da ferramenta *majority filter* (oito vizinhos mais próximos, com uma janela de três por três) do software ArcGIS, foi passado um filtro na classificação com o objetivo de uniformizar as classes temáticas, ou seja, eliminar pontos isolados, classificados diferentemente de sua vizinhança. Com isto, gera-se uma imagem classificada com aparência mais uniforme e polígonos mais definidos (Figura 4).

Figura 4 – Pós classificação - Filtro nas classes temáticas

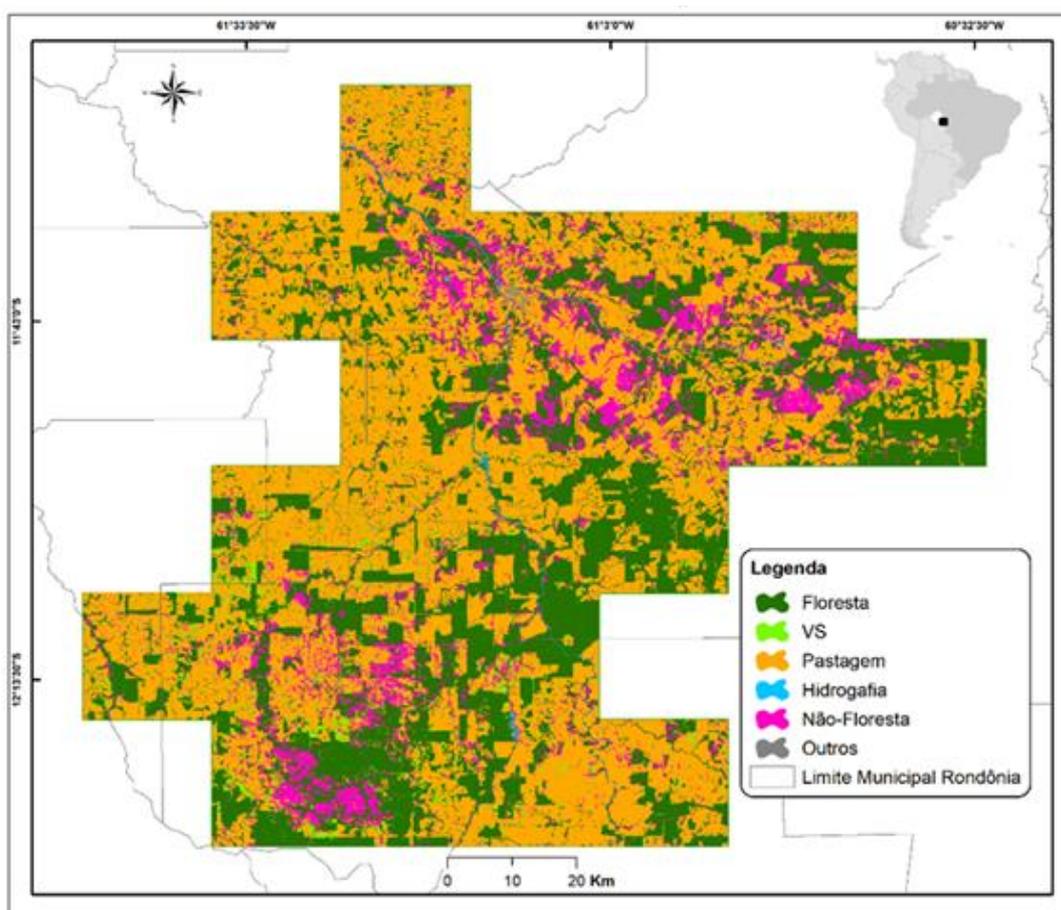


Fonte: Autores.

A Figura 5 apresenta a classificação de uso e cobertura da terra da área piloto no estado de Rondônia onde foi aplicado teste metodológico no software Google Earth Engine. Dados de uso da terra gerados a partir do processamento de imagens de satélite, para o ano de 2019, onde foi realizada também a quantificação das áreas de cada classe temática. Os resultados mostram que as classes Pastagem, Floresta e NF passaram a compor a maior parte da paisagem da área de estudo (Tabela 2). Conforme os dados observa-se que o desmatamento para conversão em agropecuária-pastagem ainda é a maior ameaça não somente à floresta primária, mas às áreas de NF também. De acordo com Carvalho et al (2019), devido as falhas

no controle do desmatamento, as taxas de desmatamento na Amazônia brasileira têm aumentado desde 2012, apesar de esforços para a redução (PRODES, 2021). Nos ecossistemas não florestais no bioma Amazônia, especificamente as savanas amazônicas, o desmatamento está acelerando com aumentos expressivos, principalmente no cerrado do Amapá e nos lavrados de Roraima (Carvalho e Mustin, 2017).

Figura 5 – Uso da terra e cobertura vegetal no ano de 2019.



Fonte: Autores.

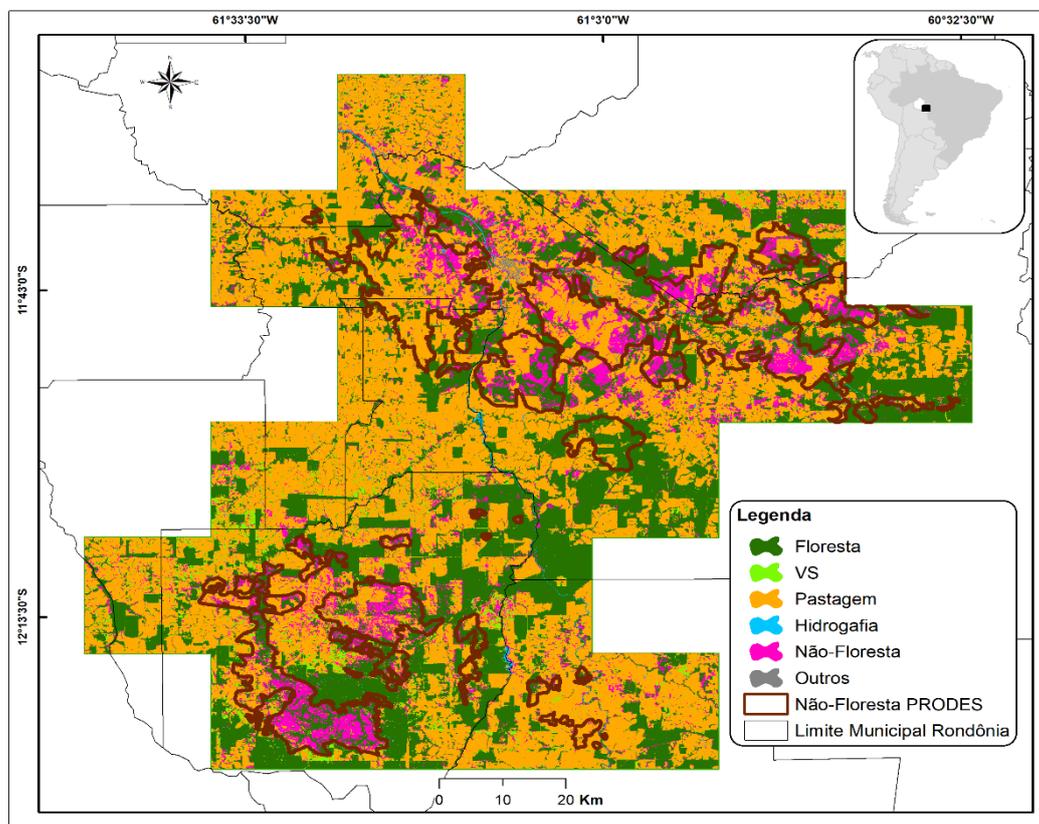
Tabela 2 – Quantificação das áreas (km²) mapeadas e percentual das classes de uso da terra e cobertura vegetal na área piloto no estado de Rondônia

CLASSES	2019	
	Km ²	%
FLORESTA	2.992,37	33,33
VS	295,70	3,29
PASTAGEM	4.719,88	52,57
NF	910,99	10,15
HIDROGRAFIA	39,51	0,44
OUTROS	20,12	0,22
Total Geral	8.978,57	100,00

Fonte: Autores.

A Figura 6 apresenta a classificação da área piloto no estado de Rondônia, onde estes dados foram cruzados com os polígonos de NF (em vermelho) utilizados pela base de dados do Projeto PRODES (com área de 1.669,74 Km²).

Figura 6 – Uso da terra e cobertura vegetal no ano de 2019 e polígonos de NF



Fonte: Autores.

Os dados de uso da terra gerados a partir do processamento de imagens de satélite, para o ano de 2019, e o cruzamento dos polígonos de NF do PRODES mostram que as classes Pastagem e Floresta passaram a compor a maior parte da paisagem (Tabela 3). Levando a uma tendência das áreas de NF serem convertidas a pastagens, como observado no mapeamento, ao cruzar os polígonos de NF do Prodes, em que a maior parte das áreas consideradas de NF já são áreas de pastagem.

Corroborando com os estudos de Stier et al (2020), onde as savanas amazônicas da Guiana Francesa são consideradas raras e de alto valor ecológico e cultural e sua paisagem está cada vez mais ameaçada, por práticas agrícolas, desmatamento, queimadas, desenvolvimento de infraestruturas, espécies invasoras e grilagem de terras, sendo consideradas excelentes para a pecuária, agricultura principalmente para a cultura de mandioca.

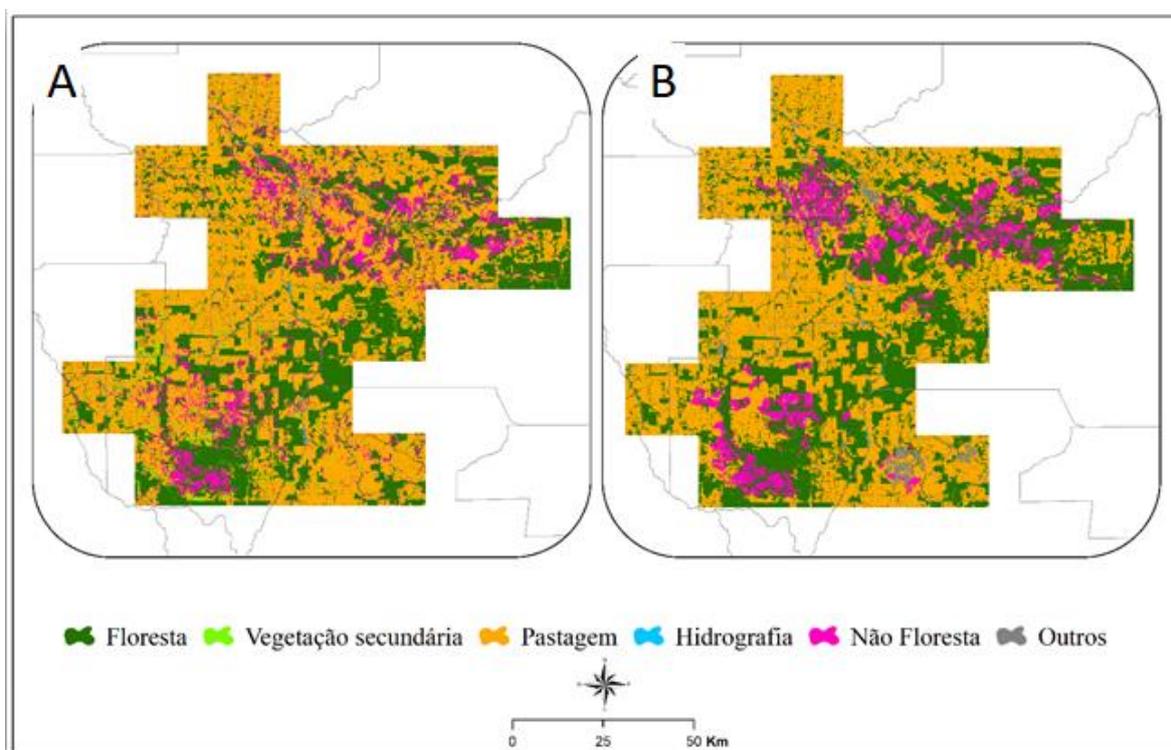
Tabela 3 – Quantificação das áreas (Km²) mapeadas e percentual das classes de uso da terra e cobertura vegetal nas áreas de não-floresta do Projeto PRODES

CLASSES	2019	
	Km ²	%
FLORESTA	488,50	29,26
VS	31,21	1,87
PASTAGEM	707,03	42,34
NF	432,85	25,92
HIDROGRAFIA	6,81	0,41
OUTROS	3,33	0,20
Total Geral	1.669,73	100,00

Fonte: Os autores.

A Figura 7A apresenta a classificação de uso e cobertura da terra da área piloto no estado de Rondônia onde foi aplicado teste metodológico no software Google Earth Engine e a Figura 7B apresenta a classificação de uso e cobertura da terra mapeada pelo Projeto Mapbiomas.

Figura 7 – A) Uso da terra e cobertura vegetal no ano de 2019 mapeadas e B) uso da terra e cobertura vegetal no ano de 2019 mapeadas pelo Projeto Mapbiomas



Fonte: Autores.

Dados de uso da terra gerados a partir do processamento de imagens de satélite, para o ano de 2019, onde foi realizada também a quantificação das áreas de cada classe temática. Os dados mostram em ambas as classificações que as classes

Pastagem, Floresta e NF passaram a compor a maior parte da paisagem da área de estudo (Tabela 4). Ressaltando-se que a pastagem é a classe que mais se sobressai perante as demais nos dois mapeamentos, confirmando que o aumento do desmatamento ocorrido ao longo dos anos sobre as áreas de Floresta e NF, está diretamente ligado a expansão da fronteira agropecuária. Conforme Maeda et al (2021), o desmatamento vem dando lugar a uma paisagem dinâmica e diversificada em grande escala com diferentes usos da terra que afetam os ecossistemas e regimes climáticos locais.

Tabela 4 – Quantificação das áreas (km²) mapeadas, quantificação das áreas (km²) mapeadas pelo Projeto Mapbiomas e percentual da diferença das classes de uso da terra e cobertura vegetal

CLASSES	2019			
	Mapeamento	Mapbiomas	Diferença Mapeamento- Mapbiomas	%
	Km ²			
FLORESTA	2.992,37	3.514,86	-522,49	-5,82
VS	295,70	0,00	295,70	3,29
PASTAGEM	4.719,88	4.469,81	250,07	2,79
NF	910,99	803,23	107,76	1,20
HIDROGRAFIA	39,51	27,24	12,27	0,14
OUTROS	20,12	163,43	-143,31	-1,60
Total Geral	8.978,57			

Fonte: Autores.

Com base nos resultados observados nos dados do mapeamento e nos do Projeto Mapbiomas (Coleção 5) para o ano de 2019 as classes Floresta e Pastagem compõe a maior parte da paisagem da área amostrada. Apesar do valor mais baixo da classe NF no mapeamento do Mapbiomas (803,23 km²), esta classe foi melhor definida quanto à extensão e à distribuição espacial observadas na Figura 7. A classe VS foi identificada no mapeamento com valor de 295,70 km², porém no mapeamento do Mapbiomas ela consta como 0,00 devido a inexistência desta classe no mesmo. No mapeamento do Mapbiomas a classe Outros apresenta um valor mais expressivo devido ao fato de que todas as outras classes que não se enquadravam nas chaves de classificação foram acrescentadas nesta classe como: soja, cana e lavoura perene.

Diante da comparação dos resultados de mapeamento, observou-se que a proposta de mapeamento para as áreas de NF foi satisfatória, porém ainda precisa ser melhorado e colocado em prática para que os resultados possam contribuir para o monitoramento dessas áreas que tem importância relevante para o bioma Amazônia, auxiliando nas gestão das políticas de conservação.

4. Conclusão

Para o ano de 2019 as classes Floresta e Pastagem compõe a maior parte da paisagem da área amostrada. A classe NF foi melhor definida quanto à extensão e à distribuição espacial observada.

A classe VS foi identificada no mapeamento com valor de 295,70 km², sendo que a mesma não existe no Mapbiomas. No mapeamento do Mapbiomas a classe Outros apresenta um valor mais expressivo devido ao fato de que todas as outras classes que não se enquadravam nas chaves de classificação foram acrescentadas nesta classe como: soja, cana e lavoura perene.

Destaca-se a importância do mapeamento da cobertura de uso da terra, como forma de identificação, espacialização da

estrutura da paisagem, uma vez que espacializada as principais atividades econômicas desenvolvidas em uma área específica, como também demonstra a tendência de comportamento das atividades ao longo do período estudado.

Agradecimentos

Os autores agradecem o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), em seu Programa de Capacitação Institucional (PCI) número 444327/2018-5 PCI/INPE, que permitiu a execução dos trabalhos junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Referências

- Ahmed, Z., Le, H.P. & Shahzad, S.J.H. (2021). Toward environmental sustainability: how do urbanization, economic growth, and industrialization affect biocapacity in Brazil?. *Environ Dev Sustain*. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01915-x>
- Almeida, C. A. de, et al. (2016). High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. *Acta Amazonica*. 291. 291-302. 10.1590/1809-4392201505504.
- Anderson, A. B. (2020). “White-Sand Vegetation of Brazilian Amazonia.” *Biotropica*, vol. 13, no. 3, 1981, pp. 199–210. JSTOR, www.jstor.org/stable/2388125. Accessed 14 Feb.
- Assis, L. F. F. G.; Ferreira, K. R.; Vinhas, L.; Maurano, L.; Almeida, C.; Carvalho, A.; Rodrigues, J.; Maciel, A.; Camargo, C. (2019). TerraBrasilis: A Spatial Data Analytics Infrastructure for Large-Scale Thematic Mapping. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 8, 513. DOI: 10.3390/ijgi8110513
- Barbosa, R.I., Campos, C., Pinto, F., Fearnside, P.M. (2007). The “Lavrados” of Roraima: Biodiversity and Conservation of Brazil's Amazonian Savannas. *Functional Ecosystems and Communities* 1(1): 30-42. ISSN 1749-0502.
- Belgiu, M. & Drăgu, L. (2016). Random Forest in Remote Sensing: A Review of Applications and Future Directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114: 24-31.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Mach Learn*. 45(1):5–32.
- Carvalho, N. L., Kersting, C., Rosa, G., Fruet, L., Barcellos, A. L. (2015). Desenvolvimento sustentável x desenvolvimento econômico. *Revista Monografias Ambientais*, Santa Maria, v. 14, n. 3, Set-Dez, p. 109–117 Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM ISSN : 22361308.
- Carvalho, W. D., Mustin, K. (2017). The highly threatened and little known Amazonian savannahs. *Nature Ecology & Evolution*, 1. doi:10.1038/s41559-017-0100
- Carvalho, W. D., Mustin, K., Hilario, R. R., Vasconcelos, I. M., Eilers, V., Fearnside, P. M. (2019). Deforestation control in the Brazilian Amazon: A conservation struggle being lost as agreements and regulations are subverted and bypassed. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 9, 122--130.
- Du, P.; Samat, A.; Waske, B.; Liu, S. & Li, Z. (2015). Random Forest and Rotation Forest for fully polarized SAR image classification using polarimetric and spatial features. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 105: 38-53.
- Flores, B.M., Holmgren, M. (2021). White-Sand Savannas Expand at the Core of the Amazon After Forest Wildfires. *Ecosystems*. <https://doi.org/10.1007/s10021-021-00607-x>
- Gorelick, N; Hancher, M.; Dixon, M.; Ilyushchenko, S; Thau, D.; Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, v. 202, p. 18–27.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2012). *Manual técnico da vegetação brasileira*. IBGE, Rio de Janeiro.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. (2008). *Monitoramento da cobertura florestal da amazônia por satélites sistemas prodes, deter, degrad e queimadas 2007-2008*. INPE – Coordenação Geral De Observação Da Terra São José Dos Campos, 10 De Dezembro. http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes/pdfs/relatorio_prodes2008.pdf.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. (2019). *Metodologia Utilizada nos Projetos PRODES e DETER*. http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes/pdfs/Metodologia_Prodes_Deter_revisada.pdf
- Maeda, E. E. et al. (2021). Large-scale commodity agriculture exacerbates the climatic impacts of Amazonian deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Feb, 118 (7) e2023787118; DOI: 10.1073/pnas.2023787118
- Mustin, K., Carvalho, W. D., Hilário, R. R., Costa-Neto, S. V., Silva, C. R., Vasconcelos, I. M., Castro, I. J., Eilers, V., Kauano, É. E., Mendes-Junior, R. N. G., Funi, C., Fearnside, P. M., Silva, J. M. C., Euler, A. M. C., Toledo, J. J.. (2017). Biodiversity, threats and conservation challenges in the Cerrado of Amapá, an Amazonian savanna. *Nature Conservation*. 22: 107–127. doi: 10.3897/natureconservation.22.13823. http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2017/Mustin_et_al_Amap%C3%A1-savana.pdf
- Prance, G. T., Schubart, H. O. R. (1978). Nota preliminar sobre a origem das campinas abertas de areia branca do baixo Rio Negro. *Acta Amazonica* 7 (4), p. 567-570.

Rezende, J. L. P., Oliveira, A. D., Coelho Junior, L. M., Cruz, E. S.. (2003). *Revista científica eletrônica de engenharia florestal*. Ano 1, N.1, Fevereiro. http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/GEP3JrQWaGopOoT_2013-4-24-14-27-15.pdf.

Ribeiro, A. (2022). "Agricultura intensiva e meio ambiente", Brasil Escola. <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/agricultura-intensiva-meio-ambiente.htm>.

Santana, A. L. S. & Araújo, G. L. (2017). *Erosão do solo em uma propriedade rural no município de Abre Campo (MG)*. III Seminário Científico da FACIG – 09 e 10 de Novembro de 2017 II Jornada de Iniciação Científica da FACIG. file:///C:/Users/franc/OneDrive/C3%81rea%20de%20Trabalho/lix/368-1425-1-PB.pdf.

Silveira, M. (2003). *Vegetação e flora das campinaranas do sudoeste amazônico* (JU-008). Universidade Federal do Acre (UFAC), Rio Branco, 28 p.

Souza Filho, P. W. M., Paradella, W. R., Souza Júnior, C., Valeriano, D. M., & Miranda, F. P. (2006). Sensoriamento remoto e recursos naturais da amazônia. *Ciencia e cultura*. 58(3). <http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v58n3/a16v58n3.pdf>.

Stier A, de Carvalho WD, Rostain S, et al. (2020). The Amazonian Savannas of French Guiana: Cultural and Social Importance, Biodiversity, and Conservation Challenges. *Tropical Conservation Science*. January 2020. doi:10.1177/1940082919900471

Vieira, L. S., O. Filho, J. P. (1962). As Caatingas do Rio Negro. *Boletim Técnico do Instituto Agronômico do Norte*, Belém, 42: 7-32.