DETECÇÃO DE CICATRIZES DE QUEIMADAS NA PORÇÃO SUDESTE DO ESTADO DE RONDÔNIA POR CLASSIFICAÇÃO RANDOM FOREST

Lucas Cortinhas Cardoso Ferreira [1], Renan Carlos Pereira de Sena [1], Noeli Furtado Rodrigues Ataíde[1], Lidiane Cristina Lima de Araújo[1], Luis Waldyr Rodrigues Sadeck[1], Arlesson Antônio de Almeida Souza[3] Alessandra Rodrigues Gomes[2], Marcos Adami[3]

[1]Bolsista CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Projeto TerraClass; lucas.cortinhas19@gmail.com, renansena07@gmail.com, noelirodriigues@gmail.com, lidianelimadearaujo@gmail.com, sadeckgeo@gmail.com
[2]Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Coordenação Espacial da Amazônia – INPE/COEAM, Parque de Ciência e Tecnologia do Guamá, Av. Perimetral, 2651, 66077-830, Belém - PA; alessandra.gomes@inpe.br
[3]INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas 1754, São José dos Campos/SP, 12227-010 arlessonantonio@gmail.com, marcos.adami@inpe.br

RESUMO

Técnicas de sensoriamento remoto têm sido amplamente utilizadas no monitoramento e identificação de áreas afetadas pelo fogo. Devido ao aumento de queimadas na Amazônia nos últimos anos, este trabalho buscou alternativas eficazes para aplicar o algoritmo *Random Forest* na detecção de cicatrizes de queimadas na região de Rondônia, entre os meses de agosto e outubro de 2020, a fim de avaliar o desempenho da classificação e em relação aos alertas de cicatrizes de queimadas mapeados pelo Sistema DETER-AMZ, no mesmo período. Os resultados mostraram excelente desempenho na detecção de cicatrizes pelo classificador de forma rápida e com menor interferência humana, demonstrando-se como uma ferramenta auxiliar para o monitoramento da Amazônia Legal.

Palavras-chave **—** Sensoriamento Remoto, Cicatrizes de Queimadas, Random Forest, Índice de Queimada Normalizada, Amazônia Legal.

ABSTRACT

Remote sensing techniques are widely utilized for monitoring and identifying areas affected by fire. As a result of the foster of burned areas in Amazon forest for the last years, this work searched for effective alternatives to apply random forest algorithm to detect these burn scars in the Rondônia region between august and October of 2020, to evaluate its performance of classification in relation of burn scars mapped by DETER-AMZ system at the same period. The results show excellent performance in the detection of burn scars faster and with less human interference by its classifier. Hence, demonstrating itself as an auxiliary tool to monitor Legal Amazon.

Keywords **—** *Remote Sensing, burn scars,* Random Forest, *Normalized Burn Ratio, Legal Amazon.*

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia, uma das últimas fronteiras agrícolas, tem sua cobertura acentuadamente modificada das mais diversas formas. A retirada e queima da vegetação para implantação de cultivos agrícolas, são comumente utilizadas na região para limpeza de pastagens e/ou áreas agrícolas. Entretanto, ao se perder o controle do fogo, pode-se aumentar o risco de incêndios e atingir áreas de floresta [1]. Em Rondônia, as queimadas estão associadas, principalmente, à expansão e manutenção da agropecuária [2].

Para o mapeamento de áreas de queimadas, habitualmente são utilizadas técnicas convencionais a partir de algoritmos de classificação não supervisionados, seguida pela edição manual que visa melhorar a exatidão do mapeamento [3].

O sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER) mapeia, desde 2016, a supressão e degradação florestal na Amazônia Legal brasileira (ALB) com base na classificação visual de imagens multiespectrais [4]. Dentre as classes mapeadas, o Sistema registra áreas de cicatrizes, através de alertas emitidos diariamente. Para o ano de 2020 constatou-se um aumento significativo das áreas acometidas pelo fogo em Rondônia, contabilizando uma área total de 323.77 km² em todo o território rondoniense [5].

Apesar da eficácia, esse sistema é manual e por conta disso demanda de muita mão-de-obra para ser executado.

Entretanto, algoritmos de *machine learning*, como o *Random Forest* (RF), já vêm sendo amplamente utilizados como um modelo rápido e eficiente de classificação supervisionada em imagens de satélites, permitindo integrar dados de diferentes escalas e fontes [6].

Tendo em vista o histórico recente do aumento de queimadas em Rondônia em 2020, este trabalho objetiva

detectar áreas de cicatrizes de queimadas na região, a partir da utilização do RF a fim de avaliar seu desempenho e complementar projetos de monitoramento já existentes na ALB.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área abrange os municípios de Vilhena, Chupinguaia e Pimenta Bueno, localizados na porção sul/sudeste do Estado de Rondônia compondo a região intermediária de Ji-Paraná (Figura 1). Juntos, possuem 23.066,889 km², sendo Vilhena o município de maior extensão territorial com 11.699 km² [7;8;9].

De acordo com os dados do DETER-AMZ, houve um aumento considerável de queimadas no território rondoniense em 2020 nos meses de agosto a outubro, fato que culminou para a escolha da região neste trabalho.

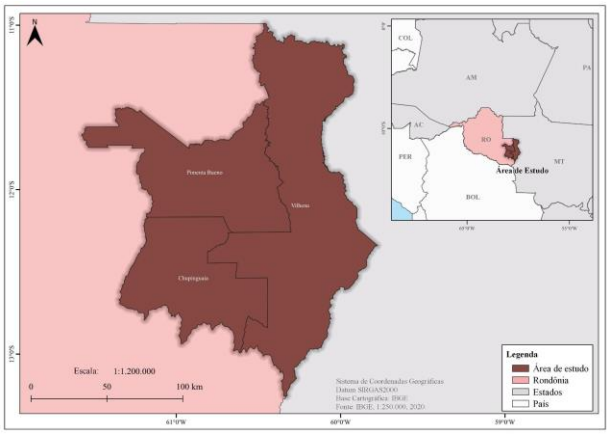


Figura 1 - Área de Estudo.

2.2. Base de dados

Para o estudo foi utilizada a coleção de imagens dos satélites Landsat 8 OLI e TIRS e Sentinel-2 MSI level-2A, ambos com reflectância de superfície e temperatura da superfície terrestre. A aquisição das imagens ocorreu entre agosto e outubro/2020, período transicional entre as estações seca e chuvosa na ALB, coincidindo com a alta detecção de cicatrizes de queimadas pelo DETER-AMZ. As coleções foram obtidas através do acervo de imagens disponíveis na plataforma de computação em nuvem *Google Earth Engine* (GEE) pelo link (https://code.earthengine.google.com/).

Foram utilizados como dados auxiliares o mapa de desflorestamento do Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES) do ano de 2019 e o acúmulo de alertas do DETER-AMZ de 2020, para não haver replicação de dados entre o que já havia sido mapeado antes do período proposto, além de validar os dados de classificação, respectivamente. As bases utilizadas foram obtidas via plataforma TerraBrasilis [5].

2.3. Detecção das áreas de Cicatrizes de Queimada – Algoritmo *Random Forest*

O processamento das imagens iniciou com a criação do Índice de Queimada Normalizada (NBR), desenvolvido por [10], cuja finalidade é determinar a intensidade de uma queimada a partir da diferença normalizada entre o pico de reflectância no infravermelho próximo (NIR) e do infravermelho de ondas curtas (SWIR). Nestas faixas, o resultado visual da imagem índice proporciona um melhor contraste entre a cicatriz de queimada e a vegetação saudável [2].

Visto que, a detecção de áreas de queimadas é determinada por um valor limite do índice espectral e que variam conforme as diferentes fitofisionomias [11], foram extraídas duas bandas a partir da banda índice NBR, denominadas NBRmin e NBRmax que apresentam, respectivamente, os valores mínimos e máximos de NBR separadamente.

Além do índice NBR foram aplicados o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI), as frações sombra, solo e vegetação a partir do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI). Esses produtos foram adicionados à pilha de imagens para subsidiar o classificador e assim, entender o comportamento de uma cicatriz ao longo do tempo garantindo melhor discriminação das áreas.

Com isso, foi realizada a coleta visual de 183 amostras para o treinamento do classificador RF que consiste em uma coleção de árvores onde amostras independentes são distribuídas identicamente, e cada árvore lança um voto unitário que é atribuído a uma classe. Sua precisão é medida pela força individual de cada árvore e a correlação entre elas). Assim como o subconjunto de variáveis, características, que serão usados para fazer um *split* e formar uma árvore de decisão [6].

Para este trabalho foram empregadas cerca de 20 árvores de decisão.

2.5. Validação dos dados

Para avaliar a eficácia da classificação foram geradas amostras randômicas separadas em 70% como amostras de treinamento e 30% para validação [12]. Ao comparar as amostras do DETER-AMZ com as amostras geradas no estudo, verificou-se a necessidade de validar a classificação em detrimento das próprias amostras e assim, apurar se o classificador foi consistente.

Também foi gerada uma matriz de confusão de categoria binária para ambos os casos, considerando apenas as classes Cicatriz, valor 1 e Não cicatriz de valor

0, com os valores máximos e mínimos para cada uma. Diante disso, o método de classificação implementado foi avaliado por meio dos parâmetros estatísticos de Acurácia Global e o coeficiente de concordância Kappa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se que a área atingida pelo fogo foi de 202,96km² enquanto que o DETER-AMZ delimitou uma área de 277,9km² no mesmo período, representando uma diferença de 74,94km² (Figura 2).

A acurácia global em relação às amostras randômicas foi de 85%, com um índice Kappa de 0,9, apontando o excelente desempenho do classificador. Já a validação estabelecida com as amostras do DETER-AMZ foi de 32,16% de acurácia global.

No primeiro caso, a acurácia e índice Kappa indicam excelente técnica de classificação segundo valores estabelecidos por [13], demonstrando um processamento satisfatório na identificação das cicatrizes. Vale salientar que a eficiência da classificação foi atingida a partir de ajustes durante a fase de treinamento para a coleta de boas amostras e, consequentemente, reduzir os erros de comissão e omissão. Os erros de comissão estão relacionados a áreas cujos valores espectrais são semelhantes entre si, como corpos d'água, sombras de relevo e nuvens, enquanto que os de omissão, se referem à áreas que se encontram dentro do intervalo de NBR, porém não foram classificadas como cicatrizes. Neste caso, o classificador considerou valores entre -0.65 e 0.4 associadas à queimadas mais recentes.

Já a validação em torno das amostras do DETER-AMZ é considerada muito baixa [13], fato justificado em razão da diferença de resolução espacial adotada em cada classificação e o método de mapeamento.

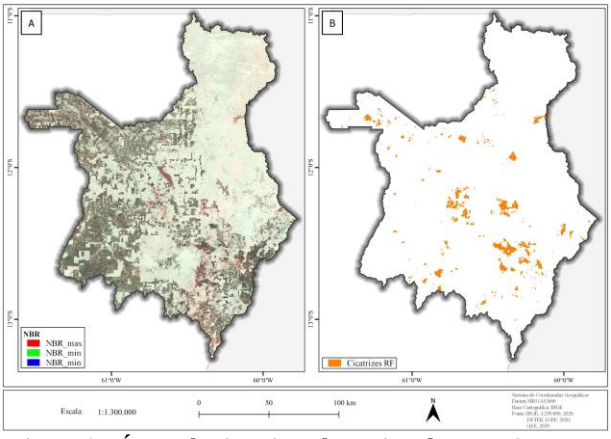


Figura 2 - Áreas de cicatrizes de queimadas. Em A, tem-se a banda do NBR onde foram extraídas valores para a classificação por RF apresentada em B.

O DETER-AMZ detecta cicatrizes de queimadas a partir de sensores com 64 metros de resolução espacial [4], atribuindo uma diferença de mais da metade em relação ao Landsat, de melhor resolução, além de usar uma metodologia de detecção manual. Com isso, o DETER-AMZ tem suas áreas extrapoladas quando comparado a um sensor com maior capacidade de detalhamento dos alvos e com uma metodologia automatizada, o que torna inviável a validação a partir de suas amostras nestes casos, entretanto é boa referência como indicativo de cicatrizes de queimadas.

Ao considerar os índices aplicados para a classificação, a figura 3 representa gráfico com o comportamento espectral para cada índice e da fração sombra em função do tempo.

É possível observar à medida que a queima acontece, a curva de fração sombra sobe até atingir seu ápice ao longo do tempo, proporcional à alta da queima. Ao mesmo tempo, os índices de NBR e NDWI diminuem, simultaneamente, já que áreas com maior intensidade de queimadas estão relacionadas a valores baixos de NBR, enquanto que o NDWI associa-se à presença de água, podendo muitas vezes, confundir-se com áreas de queimadas.

Os três índices são alterados pela variação dos valores de reflectância NIR e SWIR, já que nesse intervalo espectral, áreas com vegetação não sadia ou como solo exposto aparente, possuem maior reflectância. O mesmo acontece com índice do NDVI, embora se mostre com curva crescente, seu valor é menor que 0, representando uma região provável de solo exposto e, não necessariamente área com presença de vegetação ou em processo de regeneração.

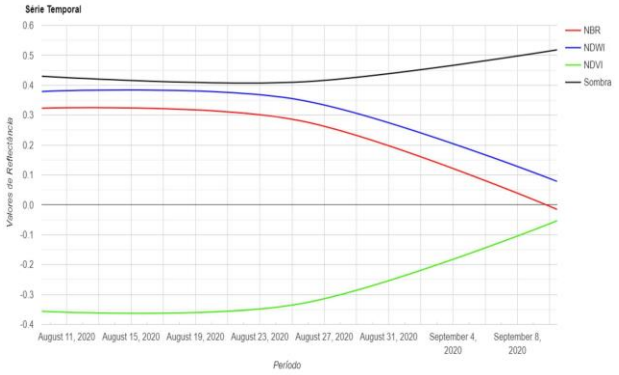


Figura 3 - Comportamento de índices e fração sombra em áreas de cicatrizes de queimadas.

Em contrapartida, a figura 4 representa o comportamento espectral de uma região considerada como falso positivo, cujas características ópticas são similares àquelas consideradas como cicatriz, diferenciando-se apenas no comportamento dos valores espectrais dentro da série temporal. Ao analisar o gráfico, observa-se uma constância das curvas ao longo do tempo, tanto dos índices aplicados, quanto da fração sombra. Essa é uma situação que está inserida na taxa de erros de comissão, e pode estar relacionada a uma área de uso irrigável.

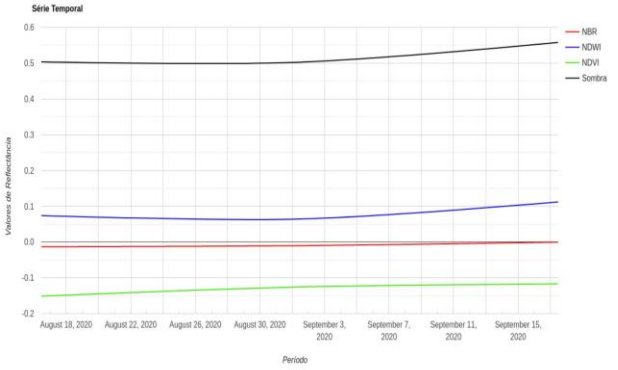


Figura 4 - Comportamento de índices e fração sombra em áreas como falso positivo.

A figura 5 ilustra comparativamente, áreas de cicatrizes detectadas pelo DETER-AMZ e o RF quanto à espacialização, cujos alertas de cicatrizes são extrapolados em aproximadamente 26,97%.

Como já mencionado, essa diferença ocorre em razão da resolução espacial dos sensores utilizados e a metodologia de mapeamento em cada sistema. Contudo, as amostras superestimadas coincidem com aquelas mapeadas de forma supervisionada quando levado em consideração os pixels qualificados como cicatrizes.

Vale ressaltar que a inserção das bases foi imprescindíveis para a análise dos produtos gerados, possibilitando concentrar áreas atingidas pelo fogo em 2020 levando em consideração as mesmas regiões mapeadas pelo DETER-AMZ.

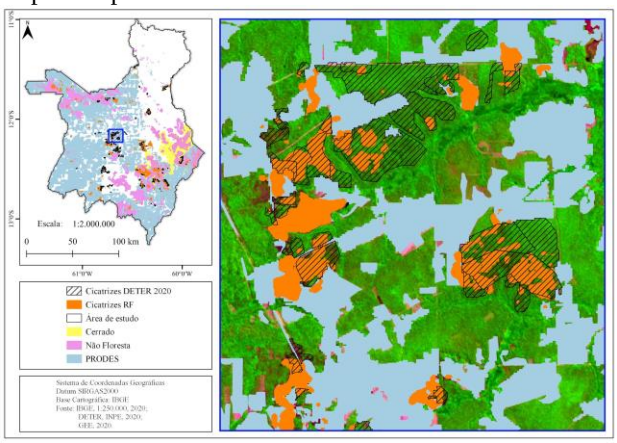


Figura 5 - Áreas de cicatrizes com os limites do DETER-AMZ.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, a classificação aplicada conseguiu mostrar um resultado preciso em razão do subconjunto de variáveis usadas para criar as árvores de decisão.

A técnica desenvolvida possibilitou a detecção de cicatrizes de queimada de forma eficiente, podendo tornar-se uma ferramenta auxiliar para melhoramento dos sistemas de monitoramento existentes para áreas de queimadas, corroborando em decisões mais assertivas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (Censipam) pelos recursos financeiros utilizados nesta pesquisa (Projeto TerraClass Amazônia/TED Censipam-CNPTIA) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio (Processo 401570/2021-5). Processos individuais: 381468/2021-6, 381599/2021-3, 381807/2021-5, 381830/2021-7.

8. REFERÊNCIAS

[1] A. Alencar *et al*. **Amazônia em Chamas - onde está o fogo:** nota técnica nº 2. Brasília: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. nº 2, pp. 1-10, 2019.

[2] F. da S. Cardoso. **Estimativas de áreas queimadas para o estado de Rondônia e suas implicações na modelagem do balanço de radiação.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: São José dos Campos, pp. 109, 2014.

[3] T. V. Penha. **Detecção de áreas queimadas na Amazônia utilizando imagens de média resolução espacial, técnicas de Geobia e mineração de dados.** INPE: São José dos Campos, pp. 167, 2018.

[4] C. A. de Almeida *et al*. **Metodologia utilizada nos Sistemas PRODES e DETER - 2a EDIÇÃO (ATUALIZADA).** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: São José dos Campos, 2022.

[5] INPE. Coordenação Geral de Observação da Terra. **Programa de Monitoramento da Amazônia e Demais Biomas Desmatamento – Amazônia Legal.** 2019. Disponível em: http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/alerts/legal/amazon/daily/. Acesso em: 15 set. 2022.

[6] L. Breiman. **Random Forests**.Machine Learning. v 45: pp. 5–32, 2001.

[7] IBGE. **Cidades:** panorama de Vilhena. Rio de Janeiro, 2010.

[8] IBGE. **Cidades:** panorama de Chupinguaia. Rio de Janeiro, 2010.

[9] IBGE. **Cidades:** panorama de Pimenta Bueno. Rio de Janeiro, 2010.

[10] C. H. Key; N. Benson. **Landscape assessment (LA) sampling and analysis methods**. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-164-CD. (Fort Collins, CO), 2006. Disponível em: https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_gtr164/rmrs_gtr164_13_land_assess.pdf. Acesso em 12 jan 2021.

[11] T. Loboda; K.J. O'Neal; I. Csiszar. **Regionally adaptable dNBR-based algorithm for burned area mapping from MODIS data. Remote Sensing of Environment.** v. 109: pp. 429–442, 2007.

[12] T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman. **The Elements of Statistical Learning**: data mining, inference, and prediction. 2ª edição: pp. 241-247, 2001.

[13] R. G. Congalton. **A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data**. Remote Sensing of Environment. v. 37, 1991. pp. 35-46.