



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Utilizando imagens Sentinel-2 e índices espectrais para análise de severidade em áreas queimadas de origem antrópica: um estudo no sudeste da Amazônia

Ana Beatriz Neves da Silva¹, Norma Ely Santos Beltrão², Lucyana Barros Santos³

¹ MSc. Ciências Ambientais. Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará. (91) 3131-1917. anabenevess@gmail.com (autor correspondente). ² Professora Dra. Adjunto IV, Núcleo de Pesquisas Aplicadas ao Desenvolvimento Regional – NUPAD, Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará. (91) 3131-1917. normaely@uepa.br. MSc. Engenharia Florestal. Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará. (91) 3131-1917. lucyana_barros@hotmail.com.

Artigo recebido em 18/07/2022 e aceito em 09/10/2022

RESUMO

O bioma Amazonia apresenta elevadas taxas de desmatamento e queimadas, principalmente no entorno de rodovias, como a BR-163 que atravessa municípios de Novo Progresso e Altamira. Tendo em vista a necessidade de mais estudos sobre as queimadas da Amazônia e seus impactos, o objetivo deste artigo foi analisar a severidade das queimadas ocorridas no sudeste da Amazônia, a partir do cálculo de índices espectrais em imagens de satélite Sentinel-2. Por meio do programa BDQueimadas foi identificado o período de ocorrência dos focos de calor. Para delimitar a cicatriz de queimada foi realizada a diferença entre as imagens de NBR pré-fogo e pós fogo. As caracterizações da severidade de queimadas foram obtidas pelos cálculos das diferenças temporais dos índices NBR e de NDVI. Os resultados permitiram concluir que as cicatrizes de queimadas se concentraram na parte oeste da cena, onde está localizada a BR-163. Aproximadamente 24% da área da de estudo foi identificada como área queimada. Ocorreram classificações de severidade baixa em áreas de floresta. O índice dNDVI revelou a perda de saúde da vegetação nas áreas vizinhas as queimadas. Por fim, concluiu-se que os índices NBR e NDVI, e as suas diferenças temporais, o dNBR e o dNDVI são ferramentas importantes para classificar áreas queimadas, considerando as limitações de trabalho de campo na Amazônia para se analisar a gravidade dos efeitos do fogo, e podem ser usados para avaliar a severidade da queimada e servir como base para gestão pública e para pesquisas acadêmicas sobre os efeitos do fogo.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, análise espacial, mudança do uso da terra.

Using Sentinel-2 images and spectral indices for severity analysis in burned areas of anthropic origin: a study in the southeast of the Amazon

ABSTRACT

The Amazon biome has high rates of deforestation and fires, especially around highways, such as the BR-163 that crosses the municipalities of Novo Progresso and Altamira. In view of the need for further studies on Amazon fires and their impacts, the objective of this article was to analyze the severity of fires in southeastern Amazonia, based on the calculation of spectral indices in Sentinel-2 satellite images. Through the BDQueimadas program, the period of occurrence of hotspots was identified. To delimit the burn scar, the difference between the pre-fire and post-fire NBR images was performed. The characterizations of fire severity were obtained by calculating the temporal differences of the NBR and NDVI indices. The results allowed us to conclude that the burn scars were concentrated in the western part of the scene, where the BR-163 is located. Approximately 24% of the study area was identified as a burned area. Low severity classifications occurred in forested areas. The dNDVI index revealed the loss of vegetation health in the areas surrounding the fires. Finally, it was concluded that the NBR and NDVI indices, and their temporal differences, the dNBR and dNDVI are important tools for classifying burned areas, considering the limitations of fieldwork in the Amazon to analyze the severity of fire effects, and can be used to assess fire severity and serve as a basis for public management and academic research on the effects of fire.

Keywords: remote sensing, spatial analysis, land use change.

Introdução

A ocorrência de queimadas, os seus efeitos sobre a vegetação e a sua influência no clima são temas amplamente estudados no meio acadêmico e em discussões internacionais que tratam sobre mudanças climáticas. Para que um incêndio se inicie, é necessário que haja condições propícias para tal, como condições atmosféricas, recursos para serem queimados e uma fonte de ignição (Laris, 2013). Esta pode ser provocada por raios, em queimadas naturais, ou causada por ações antrópicas.

Anderson, Marchezini (2020), ao estudarem uso do fogo e seus impactos crescentes na Amazônia, detectaram que um dos principais impactos diretos seria a baixa qualidade do ar associada à ocorrência de queimadas e incêndios florestais e que há possibilidade desse quadro ser considerado um desastre. A ação contínua de queimadas e incêndios florestais ocasiona o aumento do desmatamento e como consequência agrava a qualidade do ar e da saúde da população (Souza et al., 2020).

No bioma Amazônia, as frequentes precipitações, a alta densidade da vegetação e a elevada umidade da floresta criam condições desfavoráveis para incêndios naturais, tornando a sua ocorrência improvável (Berlink e Batista, 2020). Entretanto, as queimadas por ações antrópicas ocorrem com frequência, principalmente para a limpeza do terreno, com o método tradicional de corte e queima, para disponibilizar a área para atividades humanas fruto do processo de colonização, como agricultura e pecuária, apresentando um modelo de produção praticado pelo agronegócio na floresta amazônica, que substitui o cultivo da floresta nativa da região, e mais recentemente impondo a monocultura, principalmente representada pela soja (Gabardo et al., 2021).

No ano de 2019, devido a intensificação das queimadas na Amazônia, as chamas tiveram repercussão internacional, impactando a imagem do Brasil do cenário internacional. E em 2020 foi publicado o decreto nº 10.341 que autorizada o emprego das forças armadas em Operação de Garantia da Lei e da Ordem (GLO) na Amazônia Legal Brasileira, chamada Operação Verde Brasil 2, com o objetivo de prevenir o desmatamento ilegal, as queimadas na região e outros ilícitos ambientais (Barbosa et al., 2020).

O Pará é um dos estados da Amazônia Legal mais afetado pelo fogo, principalmente nas

áreas de expansão agrícola, como no entorno da BR-163. Essa rodovia é uma das principais rotas rodoviárias de escoamento de produtos agropecuários do país e liga a região norte com o restante do Brasil. A rodovia percorre por municípios que são destaque no estado do Pará com as maiores taxas de desmatamento e queimadas, como Novo Progresso e Altamira (Fearnside, 2007; Jakimow et al, 2018; PRODES, 2020). No Pará, em 2020, Altamira e Novo Progresso ocuparam as primeiras posições em incremento de desmatamento e em focos de calor (BDQUEIMADAS, 2020; PRODES, 2020).

Uma das formas de se monitorar a ocorrência de queimadas é por meio de sensoriamento remoto. Por meio de imagens de satélite é possível identificar a ocorrência do fogo e para que não haja omissão de algum foco de incêndio é necessário que a obtenção dos dados seja o mais rápido possível, portanto os satélites como o Terra e Aqua, com o sensor MODIS, são atualmente os mais utilizados em estudos para a detecção de fogo ativo, principalmente em escala global, porém por este sensor ter alta resolução espacial ele não é o mais recomendado para a delimitação e estudo da área queimada (Santana, 2016; Chuvieco, et al., 2019). Para a delimitação da área queimada os satélites que fornecem média resolução espacial, como Landsat-7 TM e 8 OLI, ou Sentinel-2 MSI, são mais indicados, pois permitem que pequenos incêndios não sejam omitidos e conseguem fornecer maior precisão para delinear cicatriz de queimada (Penha et al., 2020).

Os satélites Sentinel-2, vem sendo utilizado em diversos estudos para a detecção de áreas queimadas, de análise de vegetação e de severidade de queimadas (Roteta et al., 2019; Lima, 2021). Junto com o Landsat-8, o Sentinel-2 apresenta boa classificação de áreas queimadas e sua resolução temporal maior pode ser um diferencial na aquisição de imagens com boa qualidade em locais com elevada quantidade de nuvens, como a Região Amazônica (Penha et al., 2020; Lima, 2021). Diversas metodologias têm sido propostas para o mapeamento de queimada, dentre elas, a diferença de imagens antes e após a ocorrência do evento de queimada, que permite identificar o grau de alteração do ambiente (Santana, 2016; Chuvieco, et al., 2019).

A severidade da queimada identifica o grau de perturbação, ou alteração pelo incêndio, muitas vezes definido pelo grau de mortalidade da vegetação e na alteração das propriedades do solo.

Essas transformações podem ser identificadas por meio de índices espectrais que utilizam faixas espectrais que proporcionarão a maior distinção das alterações no ambiente, como por exemplo o comprimento de onda do infravermelho próximo (NIR), que é sensível principalmente ao teor de clorofila da vegetação viva, e o comprimento de onda do infravermelho de onda curta (SWIR), que apresenta sensibilidade em separar madeira não fotossintética (morta) do solo, cinzas e madeira carbonizada em um ambiente pós-incêndio (Pereira et al, 1999; Miller e Thode, 2007; Roteta et al, 2019). O índice NBR e o NDVI são uns dos mais utilizados para a análise de áreas queimadas (Santana, 2016).

A partir da década de 1930 as queimadas na Amazônia tiveram um crescimento e foram intensificadas na década de 1970, onde sua origem estava ligada às práticas econômicas desenvolvidas na região, tendo a agricultura e a pecuária como ativadoras do processo. Ao pressionarem a região, as queimadas tornam os remanescentes de floresta nativas mais vulneráveis a impactos climáticos e antrópicos, ameaçando-os severamente, podendo comprometer o seu papel na formação de corredores ecológicos e sequestro de carbono (Gabardo et al., 2021; Almeida & Vieira, 2019). Portanto, diante da tendência de expansão das áreas queimadas e da severidade destas, a hipótese levantada nesta pesquisa é que as técnicas de sensoriamento remoto são capazes de detectar áreas atingidas por fogo e avaliar a severidade das queimadas e, com isso, fortalecer a capacidade de monitoramento da região. Hipóteses similares a essa foram testadas em trabalhos recentes tais

como de Chuvieco et al. (2019), Penha et al. (2020) e Lasaponara et al. (2020).

Tendo em vista a necessidade de mais estudos sobre as queimadas da Amazônia e seus impactos na posterior regeneração das áreas afetadas, o objetivo deste artigo é analisar a severidade das queimadas ocorridas no sudeste da Amazônia, a partir do cálculo de índices espectrais em imagens de satélite Sentinel-2.

Material e métodos

Área de Estudo - situa-se na região denominada como Arco do Desmatamento, onde há intensa atividade humana e ocorrência de incêndios por ignição antropogênica, apresentando elevadas taxas de desmatamento e o uso do fogo para limpeza da área e manutenção do pasto, o qual também pode atingir áreas florestais (Aragão et al., 2008; Aragão et al., 2016; Penha, T. V., 2018). A ocorrência de queimadas tende a se intensificar nos meses de julho a outubro, com picos no mês de setembro, os quais correspondem aos meses com precipitações mais baixas, principalmente na parte sul e leste da Amazônia (Penha, T. V., 2018).

Para realização desse estudo foi selecionada a cena 21MYM do Satélite Sentinel-2, localizada sobre os municípios de Altamira e Novo Progresso, no estado do Pará (Figura 1). A cena foi escolhida por abranger a região onde está inserida o maior polígono de incremento de desmatamento detectada pelo Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES) em 2020, uma área de aproximadamente 12.300 ha (PRODES, 2020).

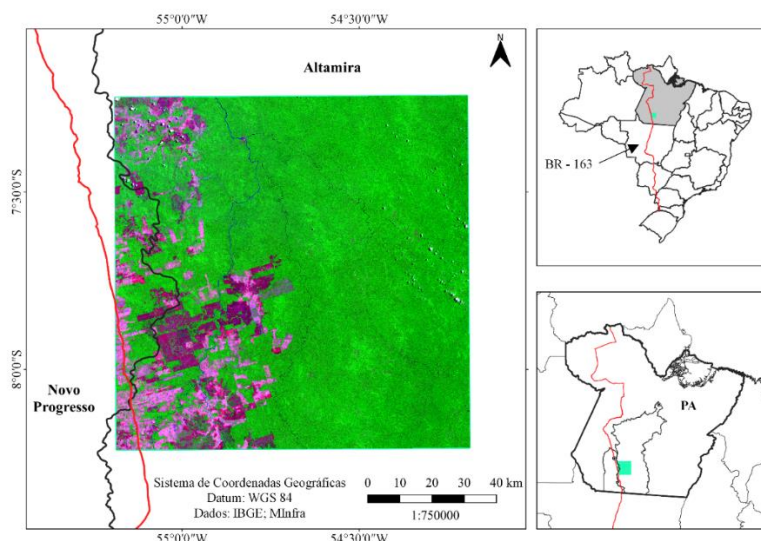


Figura 1. Localização da área de estudo. Composição colorida B12 (SWIR-2), B8 (NIR), B4 (RED) com imagem do sensor MSI/Sentinel-2 Nível-2A, cena 21MYM do dia 23 de setembro de 2020.

Metodologia

Para a identificação dos dias de ocorrência das queimadas, foram utilizados os dados de focos de calor do programa BDQueimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os focos de calor foram adquiridos no Banco de Dados de Queimadas, do Programa de Queimadas do INPE. Foram selecionadas as informações do sensor MODIS e o satélite de referência AQUA para o período do ano de 2020. Os dados estão disponíveis pelo [link](https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/) <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>.

As imagens do Sentinel-2 (MSI Nível-2A) foram obtidas gratuitamente por meio do portal *Copernicus Open Access Hub*, da Agência Espacial Europeia (*European Space Agency - ESA*), disponível no [link](https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home) <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>. As imagens com processamento de nível 2-A possuem correções *Top Of Atmosphere* (TOA) e *Bottom Of Atmosphere* (BOA). Foram selecionadas duas imagens para a análise, uma para o período pré-fogo e uma para o pós-fogo. A escolha da imagem seguiu o critério de menor cobertura de nuvens (com menos de 10%) dentro do período que abrangesse a ocorrência da maior parte dos focos

de calor. Foram escolhidas as imagens dos dias 20 de julho de 2020 e 23 de setembro de 2020.

As bandas espectrais utilizadas para os cálculos dos índices foram a vermelha (RED), infravermelho-próximo (NIR) e infravermelho de ondas curtas 2 (SWIR-2), correspondentes as bandas B4, B8 e B12 do Sentinel-2. A banda SWIR-2 tem resolução de 20 m, portanto, foi reamostrada para uma resolução de 10 m usando o método de reamostragem do vizinho mais próximo para ser possível o cálculo com as outras bandas de 10m.

Para detectar as perturbações na área de estudo pelo fogo, foram utilizados dois índices de vegetação (Tabela 1): o índice de queimada por razão normalizada (NBR) e o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) (Rouse et al., 1973). O NBR utiliza as bandas NIR e SWIR-2 e o NDVI as bandas NIR e RED, ambos possuem valores de saída composta por valores flutuantes que podem variar de -1 a 1 (Lima et al, 2019). A diferença entre os índices antes e depois da ocorrência dos eventos permite analisar as alterações que ocorreram na vegetação bem como avaliar a severidade da área queimada (Key e Benson, 2006; Silva e Baptista, 2015; Leal et al, 2019).

Tabela 1. Índices espectrais usados no estudo

Índices espectrais	Fórmula
NDVI – <i>Normalized Difference Vegetation Index</i>	$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$
dNDVI	$dNDVI = NDVI_{pré-fogo} - NDVI_{pós-fogo}$
NBR – <i>Normalized Burn Ratio</i>	$NBR = \frac{(NIR - SWIR2)}{(NIR + SWIR2)}$
dNBR	$dNBR = NBR_{pré-fogo} - NBR_{pós-fogo}$

Os cálculos dos índices foram realizados por meio da calculadora raster do *software* QGIS 3.4.13. Ao final do processo foram geradas duas imagens NDVI (NDVI pré-fogo e NDVI pós-fogo) e duas NBR (NBR pré-fogo e NBR pós-fogo), totalizando quatro imagens. A diferença entre as duas imagens de cada índice gerou as imagens dNDVI e dNBR.

O *raster* dNBR foi escalado 10^3 para se utilizar a tabela de referência (Tabela 2) dos níveis de severidade elaborada por Key e Benson (2006). Segundo os autores, os valores encontrados no dNBR mais negativos indicam o crescimento da vegetação, ou seja, ausência de queimada. Já os valores mais positivos indicam a ocorrência de queimada na área, sendo que quanto maior este

valor, maior foi a gravidade da queimada na vegetação.

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), proposto por Rouse et al. (1974), permite analisar a vegetação por meio da medição da intensidade da banda de absorção ou feição espectral da vegetação, realizada pela relação da absorção na faixa do vermelho – mais sensível a absorção de clorofila – e o pico de reflectância na faixa da NIR – primariamente sensível a estrutura celular (Teixeira, 2020). O índice varia de -1 a 1 e quanto mais próximo de 1 for o valor de NDVI encontrado, mais sadia é a vegetação, e valores abaixo de 0 indicam áreas não vegetadas, ou com cobertura de nuvens espessas (Leal, et al, 2019).

Tabela 2. Níveis de severidade e intervalo do dNBR

Nível de Severidade	dNBR
Alto crescimento da vegetação	-500 a -251
Baixo crescimento da vegetação	-250 a -101
Áreas estáveis ou não queimadas	-100 a +99
Severidade baixa	+100 a +269
Severidade moderada - baixa	+270 a +439
Severidade moderada - alta	+440 a +659
Severidade alta	660 a +1300

Fonte: Key e Benson (2006), adaptado.

Para analisar a severidade da queimada com o dNDVI, utilizou-se como base os intervalos encontrados por Escuin et al. (2008) que identificou que intervalos de dNDVI entre 0,21 e 0,14 apresentaram poucas alterações espectrais, ou seja, baixa ou nenhuma perturbação pelo fogo, já valores acima de 0,4 demonstraram extrema alteração nos valores de pixel, os quais

correspondem a áreas com alta influência da queimada. Dessa forma, foi proposto neste trabalho uma divisão de níveis de severidade com intervalos para a diferença entre o NDVI pré-fogo e NDVI pós fogo (dNDVI) encontrados no trabalho de Escuin et al. (2007). A classificação proposta pode ser vista na Tabela 3.

Tabela 3. Níveis de severidade e intervalo do dNDVI

Nível de severidade	dNDVI
Estável	≤ 0
Muito baixa	0 – 0,1
Baixa	0,1 – 0,2
Moderada	0,2 – 0,3
Alta	0,3 – 0,4
Muito alta	$> 0,4$

Fonte: Escuin et al. (2008). Adaptado.

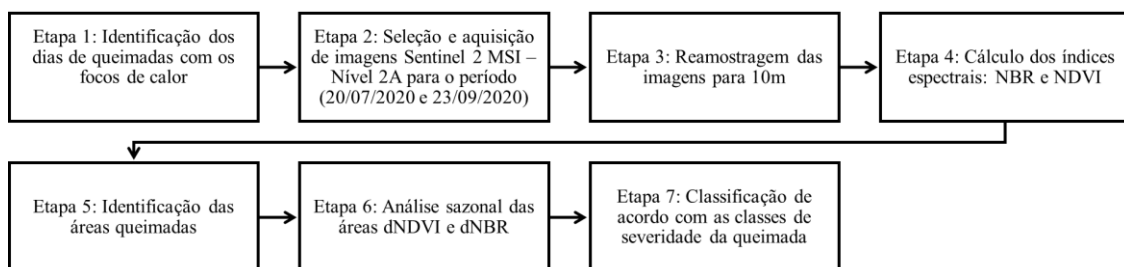


Figura 2. Procedimentos metodológicos desenvolvidos durante o trabalho

Resultados e discussão

A partir dos focos de calor do BDQueimadas, foi verificado que os meses de agosto e setembro foram os que o sensor MODIS

no satélite de referência Aqua detectou a maior quantidade de focos de calor, detendo cerca de 94,5% dos focos de 2020 na cena analisada (Tabela 4). Sendo que no mês de setembro, 399 dos 418 focos, que corresponde a 95% destes no mês, foram

identificados até o dia 18, portanto a imagem escolhida para o estudo do dia 23 de setembro de 2020 foi capaz de detectar a maior parte das transformações ocorridas na área. Dentro da cena, foram detectados cerca de 15% de todos os focos de calor identificados em 2020 nos municípios de Altamira (4.865 focos de calor) e Novo Progresso (2.376 focos de calor). Silva et al. (2022) em seu estudo sobre atuação da fiscalização ambiental no controle e prevenção de queimadas na cidade de Altamira, observaram que os maiores focos de incêndio se estavam em locais mais distantes do centro da cidade e que estes ocorriam em maior quantidade no período de julho a agosto na época

de seca. Santos (2021) em seu estudo sobre detecção e análise de focos de calor no município de Novo Progresso (PA) entre os anos de 2016 e 2019, também observou em todos os anos analisados um elevada quantidade de focos no período de julho a setembro.

Dentro do polígono de incremento de desmatamento do PRODES de maior área desmatada em 2020, foram detectados 154 focos, ocorridos do período de 01 de agosto a 15 de setembro de 2020, o que corresponde a cerca de 14% do total de focos identificados em toda da cena.

Tabela 4. Focos de calor detectados sobre a cena 21MYM do Sentinel-2 MSI em 2020.

Mês/2020	Focos	%
Junho	3	0,27
Julho	6	0,55
Agosto	615	56,22
Setembro	418	38,21
Outubro	48	4,39
Novembro	4	0,37
Total	1094	100

Fonte: BDQueimadas, 2021.

A Figura 3 apresenta os resultados dos índices NBR pré-fogo e NBR pós-fogo. Os valores máximos encontrados no NBR antes da queimada foram maiores do que os do NBR após as queimadas (0,85 no NBR pré-fogo e 0,81 no NBR pós-fogo). Já os valores mínimos, foram menores na imagem antes das queimadas (-0,52 no NBR pré-fogo e -0,42 no NBR pós-fogo). Segundo Santana (2016), o índice NBR apresenta dificuldade na separação entre extensas áreas de

solo exposto e áreas queimadas, em alguns casos o NBR encontrado em solo exposto pode ter menor valor do que a área queimada, o que pode explicar os valores mais negativos de NBR na imagem pré-fogo, visto que em certas áreas já haviam ocorrido o corte da vegetação e apresentavam solos expostos.

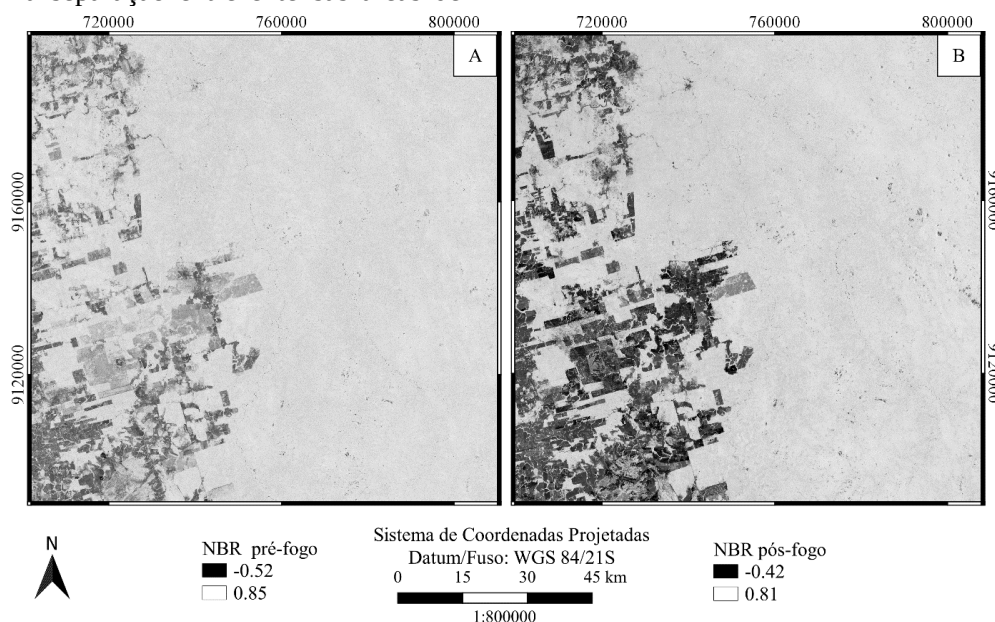


Figura 3. Imagem NBR para a cena 21MYM Sentinel-2 MSI antes (A) e após (B) a ocorrência do fogo, em 2020

A Figura 4 possibilita a visualização da transformação da área de estudo antes e após a ocorrência das queimadas. As áreas que sofreram com os efeitos do fogo, ou seja, que foram queimadas são classificadas com valores superiores a +100 no índice dNBR, que representa o primeiro grau de severidade e está destacada em vermelho na Figura 4 (A). A extensão da queimada

foi de 290.110,9 ha, o que representa aproximadamente 24% da área da de estudo. Tendo a delimitação da cicatriz de queimada, pôde-se classificar os níveis de severidade da área queimada (Figura 4 – B). Na Figura 5 é possível verificar todos os níveis de severidade do índice dNBR da cena.

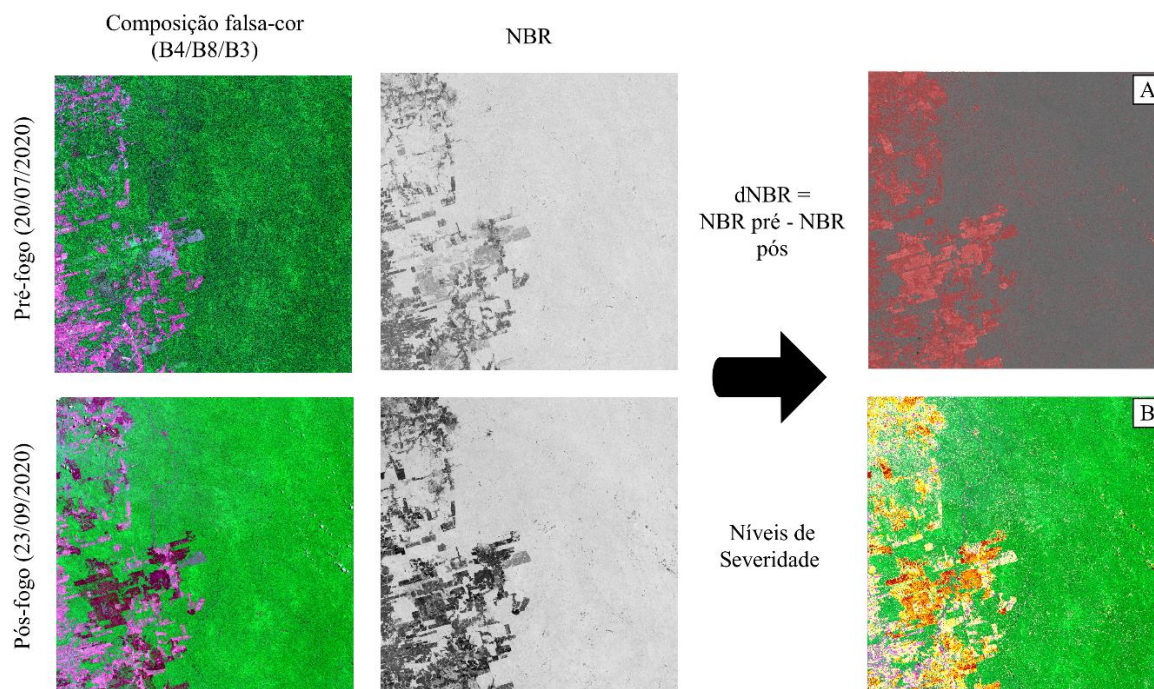


Figura 4. Processo de detecção da área queimada com o índice dNBR (A) e classificação dos níveis de severidade (B).

Na Tabela 5 pode-se visualizar a extensão e nível de severidade de cada classe. O nível de severidade baixa obteve a maior área classificada, representando 15,41% da área da cena, seguido por severidade moderada-baixa (3,67%), severidade moderada-alta (3,53%) e severidade alta (1,46%). Quanto as áreas não queimadas, as que obtiveram valores de dNBR menores de +99, correspondem a mais de 75% da cena. Nota-se na Figura 5 que a ocorrência das queimadas com severidade mais alta

está concentrada a oeste, no entorno da BR-163, porém, pode-se observar na imagem que a área que foi classificada principalmente como áreas estáveis ou não queimadas, apresenta em alguns pontos a ocorrência de severidade baixa de queimada, o que pode sugerir a influência do calor e da fumaça permeando a floresta e afetando a vegetação.

Tabela 5. Nível de severidade e extensão das áreas classificadas com o índice dNBR

Nível de severidade (dNBR)	Área (ha)	%
Alto crescimento da vegetação	520,52	0,04
Baixo crescimento da Vegetação	11.072,11	0,92
Áreas estáveis ou não queimadas	903.900,37	74,97
Severidade baixa	185.736,89	15,41
Severidade moderada - baixa	44.222,85	3,67
Severidade moderada - alta	42.560,24	3,53
Severidade alta	17.590,92	1,46

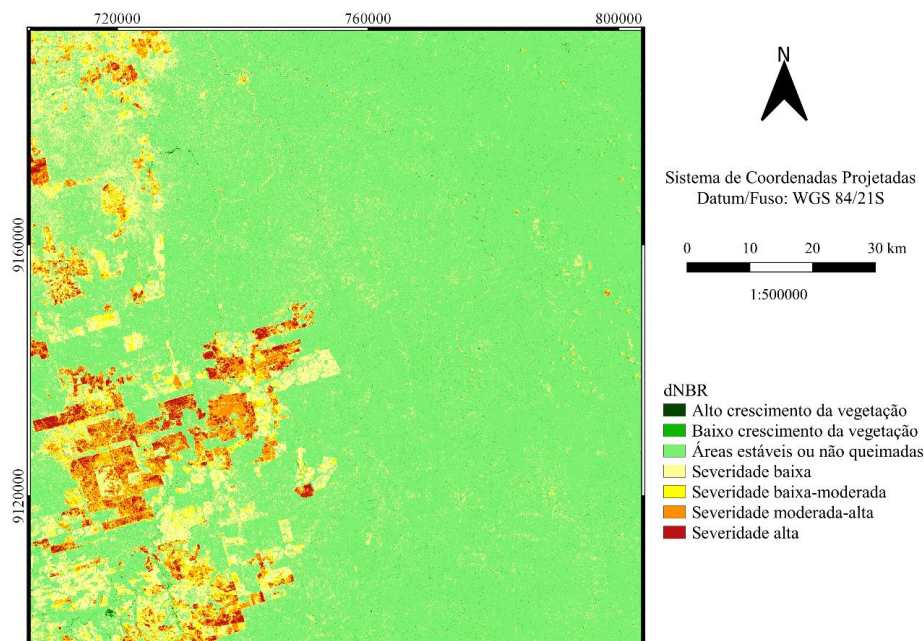


Figura 5. Mapeamento dos níveis de severidade de queimada com dNBR

Na figura 6 é notória a diferença de tonalidade da vegetação nas imagens de NDVI pré-fogo (Figura 6-A) e de NDVI pós-fogo (Figura-6B), em que ocorre a transição do verde escuro para tons mais amarelos, indicando a diminuição dos valores de NDVI, que também podem ser vistos na

tabela 6. Os intervalos de NDVI entre 0,35 e 0,15 apresentaram um significativo aumento como pode ser visto na tabela 6. Esse aumento de áreas com NDVI próximos a zero indicam o aumento da área não vegetada ou a perda do vigor vegetativo.

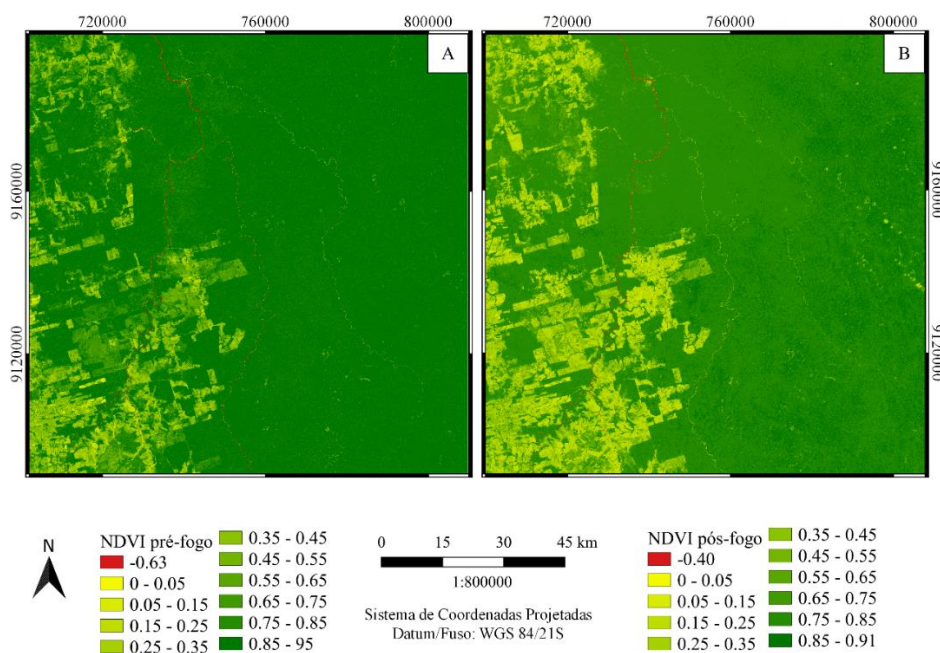


Figura 6. NDVI para a cena 21MYM Sentinel-2 MSI antes (A) e após (B) a ocorrência do fogo, em 2020

Pode-se observar na Tabela 6 que antes dos eventos de queimadas, o NDVI com valores maiores que 0,85 representavam 73,27% da área, passando para 14,81%, porém o NDVI com intervalo de 0,75 a 0,85 aumentou de 12,75% para

60,29%. Essas variações dos valores de NDVI também podem significar alterações naturais da vegetação do período mais seco da estação, não apenas a influência do fogo.

Tabela 6. NDVI pré-fogo e pós fogo da Cena

ID	Intervalo	Pré-fogo 20/07/2020		Pós-fogo 23/09/2020	
		Área (ha)	%	Área (ha)	%
1	<0	2.257,12	0,19	1.643,97	0,14
2	0 - 0,05	247,82	0,02	311,01	0,03
3	0,05 - 0,15	1.988,50	0,16	2.878,16	0,24
4	0,15 - 0,25	5.206,46	0,43	51.254,76	4,25
5	0,25 - 0,35	21.630,84	1,79	68.765,5	5,70
6	0,35 - 0,45	35.709,36	2,96	38.245,25	3,17
7	0,45 - 0,55	30.300,43	2,51	29.205,76	2,42
8	0,55 - 0,65	32.005,63	2,65	30.026,76	2,49
9	0,65 - 0,75	39.253,55	3,26	77.833	6,46
10	0,75 - 0,85	153.685,53	12,75	726.840,67	60,29
11	> 0,85	883.318,70	73,27	178.599,1	14,81

A Figura 7 ilustra os resultados do dNDVI e resalta os locais que ocorreram as maiores perturbações na vegetação entre as datas de 20 de julho e 23 de setembro de 2020. O lado oeste da cena foi o que apresentou maior alteração, assim como encontrado no dNBR, o que era esperado, pois a BR-163 atravessa esta região da cena e é a área que sofre intensa atividade humana. Os valores de dNDVI negativos significam que não

houve perda da saúde da vegetação e são áreas estáveis. Conforme os valores de dNDVI aumentam indicam que essas áreas tiveram reduções nos valores de NDVI após a queimada, o que significa a diminuição na capacidade fotossintética, a menor quantidade de clorofila, a diminuição da umidade na vegetação e a maior perda de biomassa na área (Leal et al, 2019).

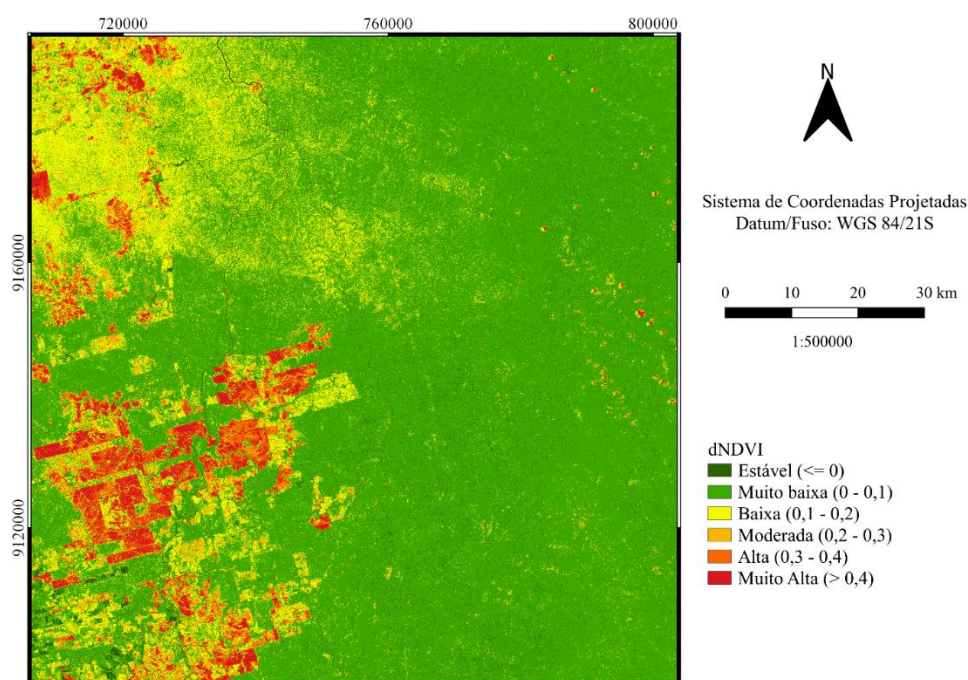


Figura 7. Mapeamento dos níveis de severidade de queimada com dNDVI.

Assim como nos resultados do dNBR, que mostrou que a área de floresta classificada como áreas estáveis, apresentou alguns pontos com severidade baixa de queimada, o dNVDI reforçou essas alterações, enfatizando que os efeitos da queimada transbordaram os limites da cicatriz de queimada e influenciou a vegetação ao redor, diminuindo os valores de NDVI. De acordo com Santos et al. (2017) as emissões de partículas aerossóis resultantes das queimadas são eficientes na absorção e espalhamento de parte da radiação solar, o que pode afetar diretamente no balanço de radiação da superfície e interfere nos processos fotossintéticos da vegetação, prejudicando a sua saúde, o que também pode justificar a diminuição do NDVI na área de estudo, mesmo nos locais onde não foi registrada a ocorrência de queimadas.

A Figura 8 ilustra quais foram os efeitos do fogo na área de 12.300 ha do polígono do PRODES em 2020. Pode-se observar que tanto o dNBR quanto o dNDVI apresentaram graus de severidade, principalmente os mais graves. De acordo com os valores encontrados de dNBR (Tabela 7) somente em 1,78% da área não houve perturbação pelo fogo, enquanto 49,26% foram identificadas com severidade moderada-alta, 22,45% com severidade alta, 19,69% com severidade moderada-baixa e 6,83% com severidade baixa. Os resultados encontrados para dNDVI apontaram a severidade muito alta como a principal classe encontrada, com 54,23% da área, seguida pela alta, com 23,62% e moderada com 12,68% (Tabela 7).

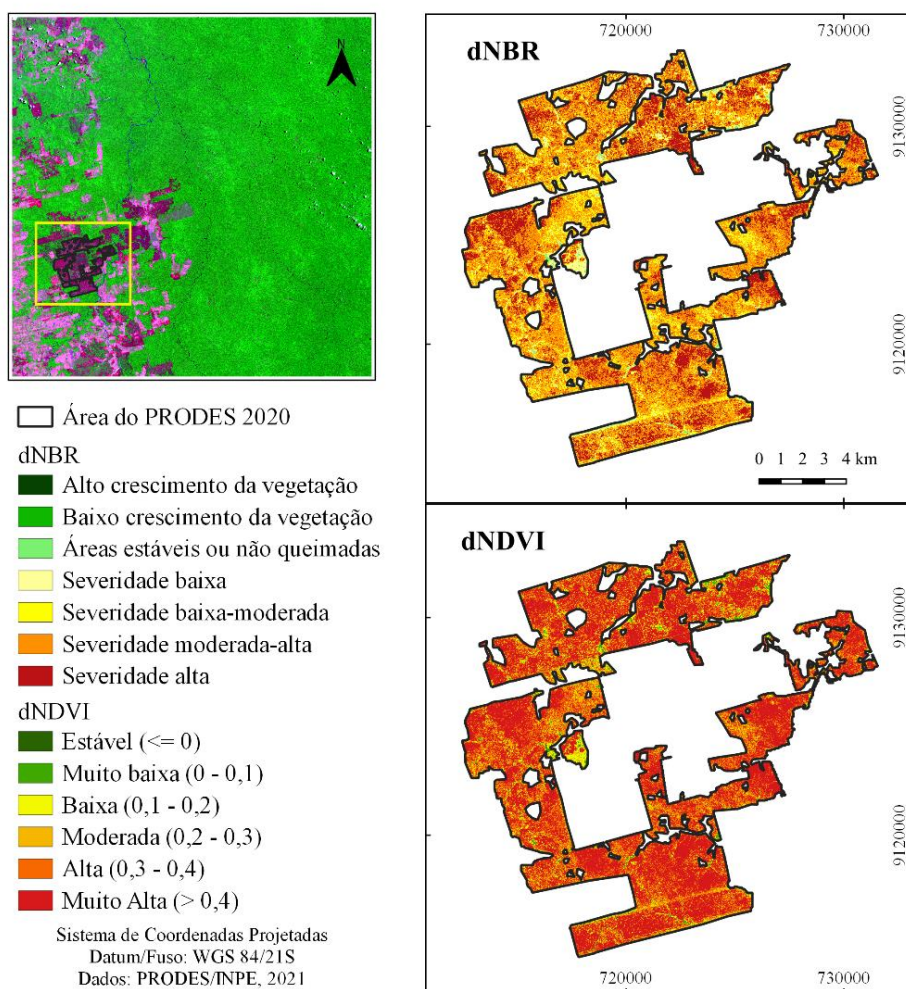


Figura 8. Severidade da queimada na área do polígono do PRODES

Tabela 7. Nível de severidade e extensão das áreas classificadas com os índices dNBR e dNDVI

Nível de severidade (dNBR)	Área (ha)	%
Alto crescimento da vegetação	0,18	0,00
Baixo crescimento da vegetação	4,42	0,04
Áreas estáveis ou não queimadas	215,27	1,74
Severidade baixa	843,99	6,83
Severidade baixa - moderada	2431,19	19,68
Severidade moderada - alta	6085,63	49,26
Severidade alta	2772,91	22,45
Nível de severidade (dNDVI)	Área (ha)	%
Sem alteração	30,43	0,25
Muito baixa	319,33	2,59
Baixa	819,27	6,63
Moderada	1566,01	12,68
Alta	2916,90	23,62
Muito alta	6697,65	54,23

No gráfico do NDVI (Figura 9) é possível identificar claramente a diminuição do NDVI entre as duas datas analisadas, a linha verde representa o NDVI pré-fogo e têm os maiores valores do índice, e a linha vermelha representa o NDVI pós-fogo e apresentou menores valores do índice. Isto tudo foram ilustrados na Figura 8 do dNDVI e na Tabela 7, ressaltando a perda da área vegetada e da saúde

da vegetação na área, visto a diminuição do NDVI de valores próximos do intervalo 10 (0,75 - 0,85) para próximos do intervalo 5 (0,25 - 0,35).

Na Figura 10 foi realizada a comparação dos índices e das imagens RGB, de antes e após a queimada, com diferentes níveis de severidade na cena estudada neste trabalho.

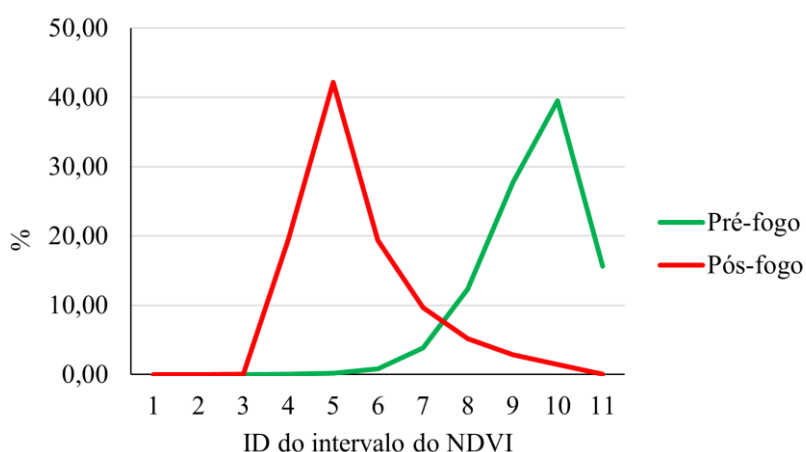


Figura 9. Gráfico dos intervalos de NDVI pré-fogo e NDVI pós-fogo em percentual de área, do polígono do PRODES de 2020. ID do intervalo: 1 (<0), 2 (0 – 0,05), 3 (0,05 – 0,15), 4 (0,15 – 0,25), 5 (0,25 – 0,35), 6 (0,35 – 0,45), 7 (0,45 – 0,55), 8 (0,55 – 0,65), 9 (0,65 – 0,75), 10 (0,75 – 0,85) e 11 (>0,85).

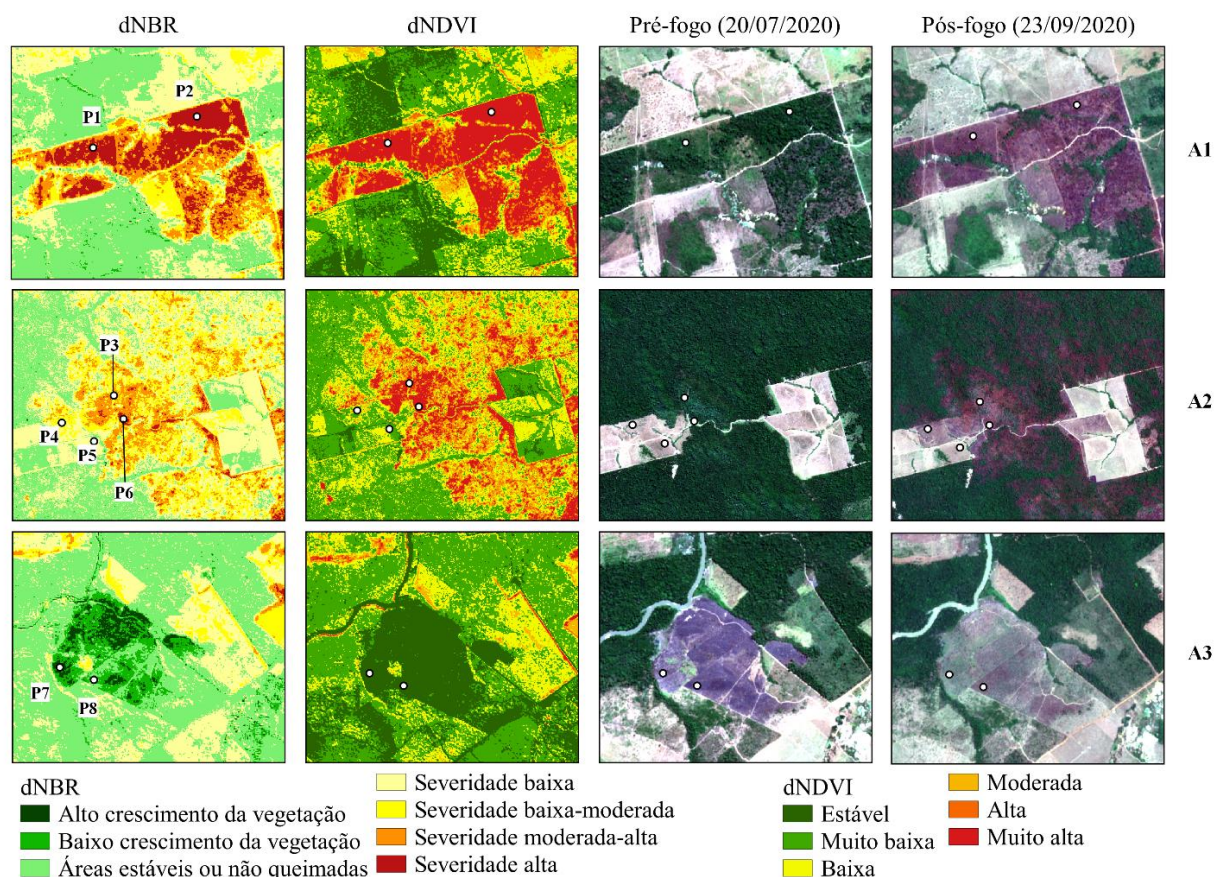


Figura 10. Comparação de áreas com diferentes classificações de severidade.

O dNBR classificado como severidade alta indicados nos pontos P1 e P2 (Figura 10) apresentavam duas formas de vegetação antes de queimada, P1 de vegetação secundária e P2 de floresta. Pode-se observar que a área destacada em A1 (Figura 10), que sofreu com o processo de queimada mais severa, mostra limites de formas definidas, o que indica ser uma área antropizada onde o fogo foi ateado de maneira intencional e controlado para a limpeza do terreno, e atingiu uma vegetação que possuía maior volume e saúde.

A área destacada em A2 (Figura 2), evidencia o efeito do fogo em uma área onde predomina a cobertura de floresta. Nota-se que a área afetada pelo fogo não apresenta formas geométricas definidas, o que sugere ter sido um incêndio sem controle, que pode ter ocorrido a partir da influência de queimadas na circunvizinhança. Os pontos indicados na área (A2) destacam diferentes classes de gravidade da queimada. Os pontos P3 e P6 apontam locais em que os níveis de severidade de dNBR foram moderada-alta e alta, respectivamente, e a perda de vegetação representada pelo dNDVI foi classificada como muito alta. Nota-se que esses dois pontos (P3 e P6) localizavam-se sobre áreas de

floresta e refletiram diferentes efeitos de severidade.

Ainda na área A2 também foram encontradas classificações de severidades baixa-moderada e baixa, P4 e P5. Nesses locais a cobertura vegetal original já havia sido removida previamente e o solo estava sendo utilizado percebe-se os limites com forma geométrica bem definida. Os efeitos do fogo nessas áreas foram menores do que nas áreas vizinhas, de floresta, porém ainda foram refletidos com um grau baixo de severidade. A perda da saúde da vegetação foi classificada como baixa e muito baixa, em P4 e P5, respectivamente, contudo ressalta-se que nesses pontos a vegetação já era reduzida para os fins antrópicos.

Diferente das áreas A1 e A2, o índice dNBR indicou um crescimento baixo e alto na área destacada em A3, P8 e P7, respectivamente, ou seja, nesses pontos o fogo não alcançou a cobertura vegetal e ela pôde se regenerar. A saúde da vegetação foi considerada estável pelo dNDVI em P7 e P8. Nas imagens RGB de A3 verifica-se que em 20/07/2020 (pré-fogo) o local apresentava sinais de queimada recente, com tons mais escuro e púrpuro, já na imagem de 23/09/2020, esses sinais de queimada estão fracos e pode-se enxergar

sinais de vegetação rebrotando na área. Portanto, os índices mostram que após a queimada e o descanso da área há um início de regeneração da vegetação, ou seja, ocorre a rebrota da vegetação, que provavelmente são herbáceas (Teobaldo e Baptista, 2016).

Os resultados encontrados destacaram que as queimadas ocorreram especialmente no entorno da BR-163. De acordo com Rosário et al. (2021), as áreas próximas a BR-163 em Novo Progresso são destinadas principalmente para a pecuária e predominam terras classificadas como solo exposto. As áreas de influência de toda a extensão da rodovia também detêm a maior quantidade de focos de calor do que áreas mais afastadas (Costa et al., 2017). Historicamente, o uso do fogo em Novo Progresso e Altamira é muito comum, assim como em diversos municípios na Amazônia que por meio da prática de desmatamento e queimadas preparam a terra para a atividade agropecuária (Fearnside, 2002). Portanto, as áreas mais próximas a rodovia podem vir a sofrer com a ação do fogo futuramente, visto que a técnica é adotada para manejar pastagens e limpeza do terreno.

O manejo inadequado de áreas que sofreram severidade alta de queimada, pode provocar impactos negativos no local. A análise espacial da área de estudo, com índices espectrais, mostrou que ocorreram queimadas de alta severidade, o que de acordo com d'Oliveira et al. (2011) pode retardar a regeneração da área, além disso, os autores destacam que o desmatamento e a queima da biomassa em terras agrícolas é uma ameaça as florestas nativas e pousios na Amazônia. Segundo Lasaponara et al. (2020) os efeitos que essas queimadas provocam podem afetar não só a área em que o fogo foi ateado, como pode transbordar para as áreas vizinhas, seja pelas partículas de aerossóis ou pelo fogo. Normalmente, essas áreas vizinhas são abandonadas para regenerar naturalmente, enquanto as áreas que foram intencionalmente queimadas são convertidas para agricultura ou pastagem (d'Oliveira et al, 2011).

Como pôde ser visto nos resultados apresentados, a partir da análise da vegetação de floresta próximas as áreas queimadas do estudo, algumas áreas sofreram a influência fogo ocorrido na região. A diminuição do NDVI, segundo Rodrigues (2019) é um indicativo de perda de umidade e vigor da vegetação, o que pode sinalizar maior suscetibilidade da vegetação a risco de novos incêndios nesses pontos. Portanto, as áreas de floresta e áreas próximas que apresentaram valores de dNDVI com alterações positivas podem estar

mais vulneráveis a incêndios futuros, caso ocorram outras queimadas em um curto intervalo de tempo, não permitindo a regeneração natural da vegetação.

Segundo Silva et al. (2021), dependendo do tipo distúrbio e do histórico de uso da terra, a riqueza de espécies e a velocidade de regeneração da floresta podem ser influenciadas. O manejo que a terra recebeu reflete nas espécies que irão rebrotar. Pastagens abandonadas que sofreram com corte e queima apresentam diversidade florística menor do que as que que sofreram apenas corte sem queima, o que é explicado principalmente pelas sementes remanescentes no banco de sementes do solo (Mesquita et al, 2015; Silva et al., 2021). De acordo com Reichert et al. (2014), o uso contínuo dos sistemas de manejos tradicionais adotados na Amazônia reduz os períodos de pousio, e os incêndios frequentes alteram a estrutura do solo, assim como reduzem a capacidade de reter e fornecer água e nutrientes as plantas, acarretando a diminuição dos rendimentos das colheitas, o que consequentemente leva ao abandono das áreas exauridas. Como resultado, as áreas ficam mais susceptíveis a erosão hídrica, principalmente em solos mais arenosos (Béliveau et al., 2009; Reichert et al., 2014)

Tendo em vista que a prática de corte e queima faz parte da dinâmica econômica local e deve permanecer ocorrendo pelos próximos anos, é necessário o monitoramento dos impactos das queimadas, a fim de controlar o avanço do desmatamento, a degradação das terras e a perda da biodiversidade na Amazônia. A análise de impactos e da severidade de queimadas ainda não recebem tanta atenção, como o monitoramento de focos de calor e áreas desmatadas. O monitoramento da severidade é importante para identificar os incêndios que foram predominantemente graves, de alta severidade, visto que essas áreas tendem a ter maiores dificuldades em regeneração da vegetação e maior perda nas qualidades do solo, podendo futuramente serem precursoras de erosões caso não sejam adotadas estratégias de manejo adequadas.

A severidade das queimadas e o monitoramento da área pós-queimada com imagens de satélite é uma ferramenta já utilizada em países como os Estados Unidos, que por meio do *Monitoring Trends in Burn Severity* (MTBS) que mapeia com imagens da série Landsat consistentemente a gravidade e extensão das queimadas em todas as terras dos Estados Unidos de 1984 até o presente, além cobrir o Alasca, Havaí e Porto Rico. O MTBS fornece dados que permitem formulações de políticas nacionais

focadas na implementação e monitoramento de estratégias nacionais de gestão de incêndios, além de ser uma ferramenta que beneficia pesquisas acadêmicas e de agências interessadas na gravidade e extensão dos incêndios. O programa é um exemplo de uso dos dados de severidade de

Conclusão

Os resultados mostraram que as queimadas ocorridas nos meses de agosto e setembro de 2020 afetaram significativamente as áreas atingidas diretamente pelo fogo e alterou a saúde da vegetação de floresta próximas as áreas queimadas. A utilização das imagens Sentinel-2 MSI para a discriminação de áreas queimadas e não-queimadas, bem como para o cálculo dos índices NBR, NDVI e suas diferenças sazonais pré-fogo e pós-fogo possibilitaram a análise das transformações ocorridas na área de estudo.

O presente estudo mostrou que é possível realizar estudos de queimadas apenas com imagens orbitais e índices espectrais. O mapeamento das áreas queimadas e o monitoramento da severidade da queimada com sensoriamento remoto permite a melhor interpretação das queimadas ocorridas da Amazônia, o que possibilita a adição de novas informações para a gestão pública ter mais embasamento para tomada de decisões.

Para se avaliar melhor a severidade da queimada, é interessante que ocorra um acompanhamento temporal da regeneração da área, dos usos que serão dados a terra, a rebrota da vegetação etc. A área de estudo se localiza em uma área de intensa atividade humana, com elevadas taxas de desmatamento e queimadas, os quais provavelmente continuarão ocorrendo nos próximos anos, porém é importante que ocorra um acompanhamento da severidade das queimadas, a fim de evitar que áreas classificadas com alta severidade passem por queimadas recorrentes, mitigando ou evitando erosões e a incapacidade de regeneração natural da área, para que continuem produtivas.

Por meio da pesquisa, pode-se amenizar as interrupções de dados de informação que atrapalham a disseminação de conhecimento, refinar e direcionar o planejamento das ações de gestão de risco causados pelas queimadas e incêndios florestais.

Conclui-se que monitoramento da severidade das queimadas é necessário para que a biodiversidade seja menos impactada. Técnicas que utilizam sensoriamento remoto, como a exposta nesse trabalho, podem ser úteis para o

queimadas que vem contribuindo para projetos de suporte operacional e de pesquisa sobre queimadas, permitindo a caracterização consistentemente dos efeitos pós-incêndios das queimadas em séries históricas (MTBS, 2021).

desenvolvimento e fortalecimento da capacidade de monitorar as queimadas. Dessa forma, a gestão pública terá mais mecanismos para a análise e interpretação dos dados, o que contribuirá com os procedimentos de tomada de decisão e atuação para prevenir e controlar queimadas, e todos os impactos dos seus efeitos. Além disso, tendo em vista as extensas dimensões do território Amazônico, as análises espaciais permitem que áreas de difícil acesso sejam monitoradas sem a necessidade imediata de ir a campo.

Agradecimentos

Agradecemos a CAPES, pelo apoio financeiro para o desenvolvimento da pesquisa, e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Estado do Pará, pela excelência na qualidade do ensino e no incentivo a pesquisa.

Referências

- Almeida, A. S., Vieira, I. C. G. 2019. Transformações antrópicas da paisagem agrícola com palma de óleo no Pará. *Novos Cadernos NAEA* 22., 9-26, ISSN 1516-6481 / 2179-7536.
- Anderson, L., Marchezini, V. 2020. Mudanças na exposição da população à fumaça gerada por incêndios florestais na Amazônia: o que dizem os dados sobre desastres e qualidade do ar?. *Saúde em Debate* [online]. 44, n. spe2 [Acessado 27 Setembro 2022], pp. 284-302. DOI: 10.1590/0103-11042020E220.
- Aragão, L. E. O. C.; Anderson, L. O.; Lima, A.; Arai, E. 2016. Fires In Amazonia. In: Nagy, L.; Artaxo, P.; Forsberg, B. R. (Eds). *Interactions between biosphere, atmosphere, and human land use in the amazon basin: an introduction*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. p.301-229.
- Aragão, L. E. O. C.; Malhi, Y.; Barbier, N.; Lima, A. A.; Shimabukuro, Y.; Anderson, L.; Saatchi, S. 2008. Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the brazilian amazonia. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, 363, 1779–85. DOI: 10.1098/rstb.2007.0026.

- Barbosa, L., Araújo, M. C., & Iquegami, L. 2020. As Forças Armadas e as queimadas na Amazônia. GEDES—Grupo de Estudos de Defesa e Segurança Internacional: Observatório Sul-Americano de Defesa e Forças Armadas. Informe Temático, (4).
- Béliveau et al. 2009. Early Hg mobility in cultivated tropical soils one year after slash-and-burn of the primary forest, in the Brazilian Amazon. *Science of The Total Environment*. V. 407. P. 4880-4489. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2009.04.012.
- Berlinck, C. N., Batista, E. Kl. 2020. Good fire, bad fire: It depends on who burns. *Flora*. V. 268.
- Chuvieco, E. et al. 2019. Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. *Remote Sensing of Environment*. 225. 45-64. DOI: 10.1016/j.rse.2019.02.013.
- Silva, M. S. A., da Costa, A. L., Oliveira, I. R. A., & Moreyra, A. K. 2022. Atuação da Fiscalização Ambiental no Controle e Prevenção de Queimadas na Cidade de Altamira, Pará. *Revista de Educação, Saúde e Ciências do Xingu*, 1(5).
- Souza, A. A., Oviedo, A., & dos Santos, T. M. 2020. Impactos na qualidade do ar e saúde humana relacionados ao desmatamento e queimadas na Amazônia Legal brasileira. *Instituto Socioambiental: São Paulo, SP, Brazil*, 21.
- Santos, G. G. 2021. Detecção e análise de focos de calor no município de Novo Progresso (PA) entre os anos de 2016 e 2019. Disponível em: <https://www.editoracientifica.org/articles/code/210504845>
- Escuin, S.; Navarro, R.; Fernández, P. 2008. Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images, *International Journal of Remote Sensing*, 29:4, 1053-1073. DOI: 10.1080/01431160701281072
- Farias et al. 2017. Current and future patterns of fire-induced forest degradation in Amazonia. *Environmental Research Letters*, 12, DOI: 10.1088/1748-9326/aa69ce.
- Fearnside, P. M. 2002. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira. *Estudos Avançados* Vol:16 (44).
- Fearnside, P. M. 2007. Brazil's Cuiabá-Santarém (BR-163) Highway: The Environmental Cost of Paving a Soybean Corridor Through the Amazon. *Environ Manage*, 39:601-614. DOI: 10.1007/s00267-006-0149-2.
- Gabardo, G., Sarzedas, C. G., & da Silva, H. L. 2021. Queimadas na Amazônia brasileira: Brasil em chamas.
- Jakimow, B. et al. 2018. Mapping pasture management in the Brazilian Amazon from dense Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*. 205, p. 453-468. DOI: 10.1016/j.rse.2017.10.009.
- Key, C. H.; Benson, N. C. 2006. Landscape Assessment: sampling and analysis methods. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. Rocky Mountain Research Station General Technical Report RMRS-GTR-164-CD.
- Laris, P. 2013. Integrating Land Change Science and Savanna Fire Models in West Africa. *Land*. 2(4):609-636. DOI: 10.3390/land2040609.
- Lasaponara, R., et al. 2020. On the Mapping of Burned Areas and Burn Severity Using Self Organizing Map and Sentinel-2 Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 17, no. 5, pp. 854-858. DOI: 10.1109/LGRS.2019.2934503.
- Leal, F. A. et al. 2019. Utilização do NDVI na análise da vegetação após ocorrência de incêndio. *Nativa*, Sinop, 7., 226-231, mar/abr. DOI: 10.31413/nativa.v7i2.6664.
- Lima, T. A. et al. 2019. Comparing Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI Imagery for Monitoring Selective Logging in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing*. Remote Sensing, 11, 961, 2019. DOI:10.3390/rs11080961.
- Mesquita et al. 2015. Amazon rain forest succession: stochasticity or land-use legacy? *Bioscience*, 65 (9). 849-861. DOI: 10.1093/biosci/biv108.
- Miller, J. D.; Thode, A. E. 2007. Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote Sensing of Environment*. 109. 66-80. DOI: 10.1016/j.rse.2006.12.006.
- MTBS. 2020. Monitoring Trends in Burn Severity. Project Overview. Disponível em: <https://www.mtbs.gov/index.php/project-overview>. Acesso em: 3 de junho de 2021.
- Penha, T. V. 2018. Detecção de áreas queimadas na Amazônia utilizando imagens de média resolução espacial, técnicas de GEOBIA e mineração de dados. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- Penha, T. V. et al. 2020. Burned Area Detection in the Brazilian Amazon using Spectral Indices and GEOBIA. *Revista Brasileira de Cartografia*. 72.
- Pereira, et al. 1999. Spectral characterization and discrimination of burnt areas. E.Chuvieco (Ed.),

- Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin, Springer-Verlag, pp. 123-138. Berlin.
- Reichert et al. 2014. Mechanized land preparation in eastern Amazon in fire-free forest-based fallow systems as alternatives to slash-and-burn practices: Hydraulic and mechanical soil properties. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 192. 47-67. DOI: 10.1016/j.agee.2014.03.046.
- Rodrigues, R. R. de L. 2019. Análise da dinâmica de focos de calor na Reserva Biológica Nascente da Serra do Cachimbo - Sudoeste do Estado do Pará. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal. Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém. Disponível em: <http://bdta.ufra.edu.br>. Acesso em: 15 de maio de 2021.
- Roteta et al. 2019. Development of a Sentinel-2 burned area algorithm: Generation of a small fire database for sub-Saharan Africa. *Remote Sensing of Environment*. 222. 1-17. DOI: 10.1016/j.rse.2018.12.011.
- Santana, N. C. 2016. Monitoramento de queimadas no sudoeste do Pará, a partir de séries temporais do sensor MODIS, 63 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de Brasília.
- Santos, T. et al. 2017. Os impactos do desmatamento e queimadas de origem antrópica sobre o clima da Amazônia Brasileira: um estudo de revisão. *Revista Geográfica Acadêmica*. 11, 157-181.
- Silva, S. L.; Baptista, G. M. M. 2015. Análise do Grau de Severidade de Áreas Queimadas na Estação Ecológica de Águas Emendadas por Meio de Dados do Landsat 8. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 08, 431-438.
- Silva, I. M. S. et al. 2021. Response of central Amazon rainforest soil seed banks to climate change - Simulation of global warming. *Forest Ecology and Management*, Volume 493. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119224.
- Teobaldo, D., Baptista, G. M. M. 2016. Quantificação da severidade das queimadas e da perda de sequestro florestal de carbono em unidades de conservação do Distrito Federal. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 09, P. 250-264.
- Teixeira, A. L. S. 2020. Correlação entre índices espectrais de verdor, umidade e senescência e ocorrências de queimadas no Parque Nacional de Brasília. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Aplicadas) – Universidade de Brasília.
- Veraverbeke, S. et al. 2018. Hyperspectral remote sensing of fire: State-of-the-art and future perspectives. *Remote Sensing of Environment*. 216., 105-121. DOI: 10.1016/j.rse.2018.06.020.