

## Contribuição de produtos de área queimada na Amazônia Maranhense: proposta de avaliações combinadas

Paulo Henrique A. Leão<sup>1</sup>, Liana O. Anderson<sup>1</sup>, Ana Larissa R. de Freitas<sup>1</sup>, João Bosco Coura dos Reis<sup>1</sup>, Swanni T. Alvarado<sup>2,3</sup>, Celso Henrique L. Silva-Junior<sup>4</sup>, Tiago Massi Ferraz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), São José dos Campos - SP - Brazil

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Naturales. Universidad del Rosario - Bogotá - Colombia

<sup>3</sup> Programa de Pós-graduação em Agricultura e Ambiente, Universidade Estadual do Maranhão, Praça Gonçalves Dias, CEP 65800-000, Balsas, Maranhão, Brazil

<sup>4</sup>University of California, Los Angeles - CA - Estados Unidos

henri.leaos@gmail.com, liana.anderson@gmail.com,  
alarisig@gmail.com, joaodosreis89@gmail.com, swanni\_ta@yahoo.es,  
celsohlshj@gmail.com, ferraztm@gmail.com

**Abstract.** *The fusion of fire products can significantly refine the identification of burned areas, and based on that, we evaluated the possibility of using three products, MCD64A1, GABAM and Fire\_CCI, for the years 2012 to 2019 in the Maranhão Amazon region. We succeeded in increasing the identification of the burned area of 24%, reaching up to 50% more than the MCD64A1, a product that would have the best coverage result for the region.*

**Resumo.** *A fusão de produtos de fogo podem refinar significativamente a identificação de áreas queimadas, e partindo disso avaliamos a possibilidade de uso de três produtos, MCD64A1, GABAM e Fire\_CCI, para os anos de 2012 a 2019 na Amazônia maranhense. Conseguimos trazer aumentos na identificação da área queimada de 24% podendo chegar até 50% a mais que o MCD64A1, produto que teria o melhor resultado de cobertura para a região.*

### 1. Introdução

A floresta amazônica é a maior floresta tropical do mundo, cobrindo quase 7 milhões km<sup>2</sup> e se estendendo por nove países da América do Sul. Destes nove, o Brasil detém a maior área contínua de floresta na região, cerca de 60% da bacia amazônica distribuída em nove estados federativos [RAISG, 2015].

O Maranhão originalmente tinha uma cobertura florestal de 110.400 km<sup>2</sup> (cerca de 33% do estado) [Silva-Junior *et al.*, 2022]. Porém, desde meados da década de 60, o desmatamento em grande escala voltado principalmente para destinar áreas para agricultura e pecuária, além da ocorrência de queimadas e incêndios florestais intensificados devido à fragmentação florestal [Silva-Junior *et al.*, 2018], resultou na perda significativa da cobertura original da floresta amazônica maranhense: para 25% (24.700 km<sup>2</sup>) em 2016 e de 24 % (23.967 km<sup>2</sup>) em 2019 [Silva-Junior *et al.*, 2020].

Além disso, visto que o fogo gerado de forma natural é raro no bioma amazônico, quase todos os incêndios florestais atuais são provocados por queimadas deliberadas, acidentais ou intencionais, que saem do controle e se tornam um incêndio florestal [Bush 2008]. Esses incêndios florestais contribuem significativamente para a mudança climática global, consumindo biomassa vegetal e transferindo parte do estoque de carbono (C) associado para a atmosfera [Pessoa *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2020].

Pontuados na preocupação de identificar e quantificar áreas queimadas, diversas abordagens metodológicas têm sido desenvolvidas utilizando aplicações de sensoriamento remoto para detecção e monitoramento de queimadas e incêndios florestais. A diversidade de metodologias, aliada à disponibilidade de múltiplos sensores, e o rápido desenvolvimento de novas tecnologias reflete o elevado número de produtos de área queimada [Pessôa *et al.*, 2020].

Pessôa *et al.* (2020) demonstra que produtos globais com uma resolução mais grossa e conservadora usados em conjunto com produtos em escala regional ou produtos com uma menor resolução espacial, podem refinar significativamente a identificação de áreas queimadas e, conseqüentemente, o cálculo das emissões de carbono provenientes do fogo. O processo de escolha pode envolver a fusão de mais de um produto para otimizar suas vantagens e produzir dados mais consistentes para as necessidades do usuário, aproximando-se da verdadeira área total queimada e sua distribuição regional [Pessôa *et al.* 2020].

Partindo dessa premissa, foi avaliado neste trabalho a possibilidade de uso de três produtos de área queimada, MCD64A1, GABAM e Fire\_CCI, para os anos de 2012 a 2019 na amazônia maranhense. O intuito foi de entender as diferenças e ganhos de informações para a formulação de uma única informação de área queimada mais consistente.

## 2. Área de estudo

O estado do Maranhão está localizado na região nordeste do Brasil, e dentro do estado possui 3 biomas: Amazônia, Cerrado e Caatinga. A área de estudo do trabalho corresponde à floresta amazônica do estado do Maranhão. Da cobertura florestal remanescente (23.967 km<sup>2</sup>) na região em 2019, mais de 70% estão contidas dentro de Unidades de Conservação (UC) e Terras Indígenas (TI), como as TI Caru, Alto Turiaçu, Araribóia e Awá ou a Reserva Biológica do Gurupi [Silva-Junior *et al.*, 2022].

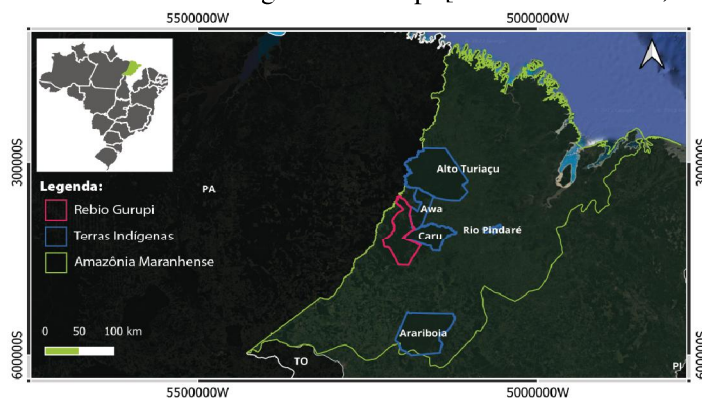


Figura 1. Amazônia Maranhense.

## 3. Metodologia

Três produtos globais amplamente citados na literatura foram utilizados para o recorte da Amazônia Maranhense nesta pesquisa (Tabela 1), para o período de 2012 a 2019, conforme a disponibilidade de dados. A partir dessas informações, foi analisado a distribuição espacial e as sobreposições dos dados, identificados como: MCD64A1; MCD64A1 + Fire\_CCI; Fire\_CCI; Fire\_CCI + GABAM; GABAM; GABAM + MCD64A1 e Todos os produtos [Pessôa *et al.*, 2020].

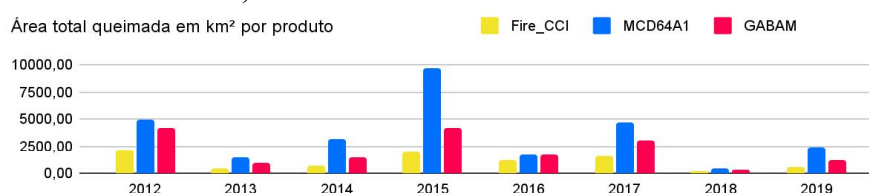
**Tabela 1. Produtos de área queimada selecionados.**

Produto	Satélite	Resolução espacial	Fonte
MCD64A1	MODIS	500m	NASA
Fire_CCI	MODIS	250m	ESA
GABAM	Landsat 8	30m	Long T. (2019)

Para verificar a abrangência da área queimada, foram utilizados os dados de focos de calor do Programa Queimadas - INPE [INPE, 2022], para quantificá-los dentro das classes apresentadas e em seu entorno. A avaliação permite confirmar a existência de fogo em um elemento de resolução da imagem (pixel). Assim, a adição de novos produtos para compor uma área queimada pode abranger uma maior distribuição frente à ocorrência de fogo, do que um único produto poderia identificar [Freitas, 2021].

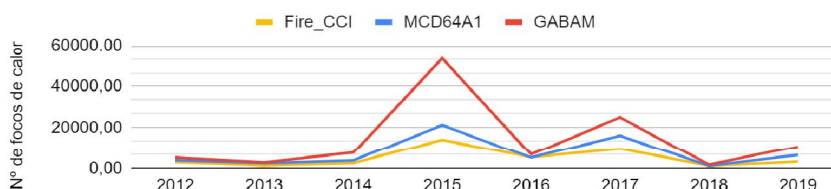
#### 4. Discussão e Resultados

Inicialmente foram avaliadas as diferenças de área queimada entre os produtos, para um entendimento melhor sobre as possíveis contribuições de cada um. Ao mesmo tempo em que foi possível entender o comportamento das ocorrências de áreas queimadas ao longo do tempo. Os anos de 2012, 2015 e 2017 foram os anos de maior área queimada para os três produtos. Contudo, os produtos diferem no total de área queimada mapeada, como explícito na Figura 2. O produto MCD64A1 mapeou os maiores valores de área queimada em todos os anos da série temporal (entre 446km<sup>2</sup> em 2018 e 9.738 km<sup>2</sup> em 2015). Seguido pelo GABAM que identificou entre 281km<sup>2</sup> em 2018 e 4.237 km<sup>2</sup> em 2015. O produto que identificou as menores áreas foi o Fire\_CCI (entre 260km<sup>2</sup> em 2018 e 2.202 km<sup>2</sup> em 2012).



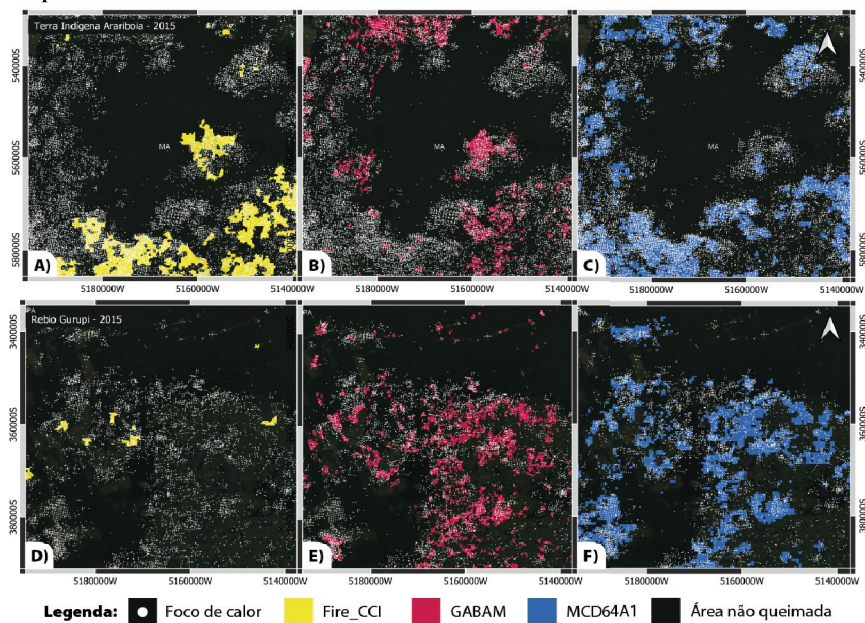
**Figura 2. Tamanho de áreas queimada em Km<sup>2</sup> dos produtos Fire\_CCI, Gabam e MCD64A1 para a amazônia maranhense no período de 2012 a 2019.**

As diferenças entre os produtos ainda são constatadas quando relacionados aos dados de focos de calor contidos dentro da área de queima de cada produto. Na Figura 3 é possível perceber que mesmo o produto GABAM não sendo aquele que identificou as maiores taxas de área queimada, ainda sim é o produto que mais conseguiu identificar áreas com focos de calor. Como citado por Pessôa (2020), o produto GABAM apresenta muitas manchas de áreas queimadas, o que reflete o maior número de células com baixa proporção de queima. Então mesmo com menos áreas queimadas, o produto consegue alcançar com um trato mais fino áreas menores não identificadas por outros produtos com maior resolução espacial.



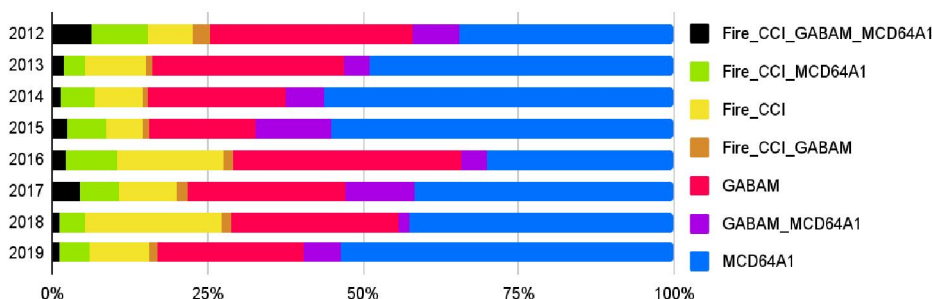
**Figura 3. Relação entre o número de focos de calor/produto de área queimada.**

Essa informação fica evidente na Figura 4, os pontos de focos de calor identificam possíveis áreas queimadas que não foram identificadas em cada produto separado. Mas essas informações podem ser somadas para complementar umas às outras, de forma a obter um mapeamento de área queimada com maior representação das áreas queimadas e mais condizente com a realidade.



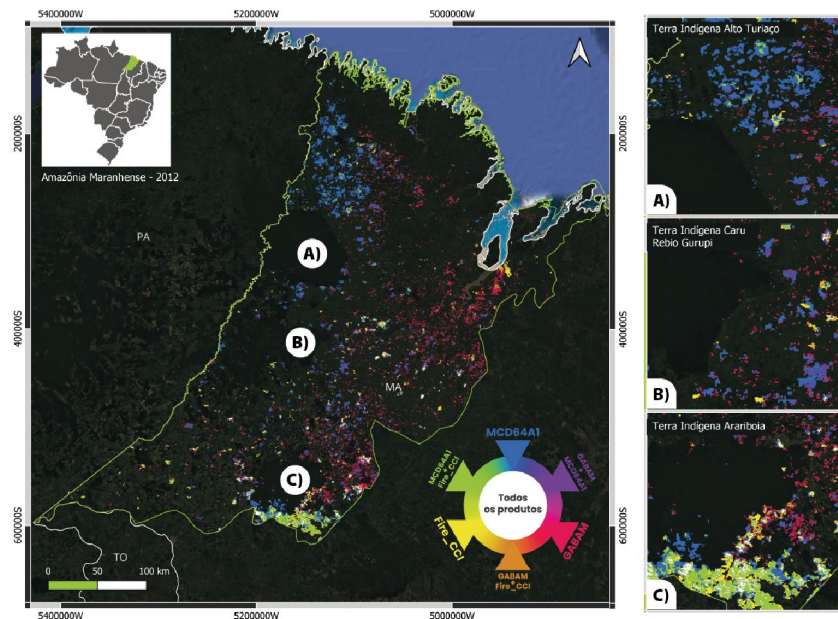
**Figura 4. Diferenças nos resultados dos produtos nas áreas de terra indígena Araribóia (A, B e C) e na Reserva Biológica do Gurupi (D, E e F) em comparação com o pontos de foco de calor do Programa Queimadas.**

O mesmo comportamento é encontrado em todos os anos analisados (Figura 5). O produto que mais contribuiu com pontuação única no produto final foi o MCD64A1, com valores que variam de 30% a 56% durante o período selecionado. Seguido do GABAM com contribuições únicas que variam entre 17% a 32% e por último o Fire\_CCI, com as menores contribuições para área final que variam entre 7% a 22% (este último sendo um evento muito fora da média de porcentagens anuais que é de 11%). Em média, comparando os tamanhos de área queimada dos produtos com o produto final, ele adicionou 75% mais informação de área queimada que o Fire\_CCI (entre 79 a 84% durante os anos), 39% mais informação que o MCD64A1 (entre 24 a 50% entre os anos) e 62% mais informação que o GABAM (entre 50 a 69% entre os anos).



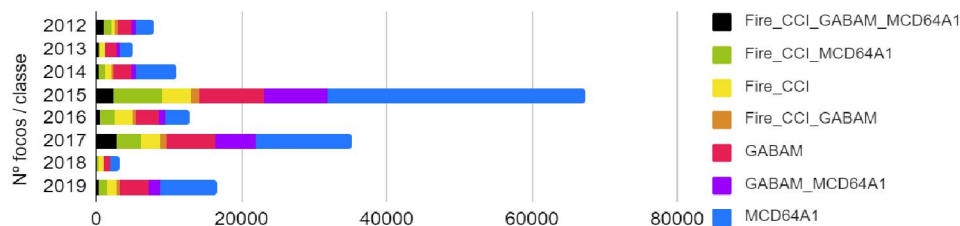
**Figura 5. Classes de contribuição para o produto final de área queimada.**

Essas contribuições ficam mais evidentes quando visualizadas espacialmente, para entender como as classes se comportam ao mesclar produtos diferentes para a mesma área (Figura 6). É possível perceber as contribuições únicas de cada produto, como a concentração de áreas do Fire\_CCI mais ao sul (Figura 6C), próximo a TI Araribóia. Também fica perceptível a concentração do MCD64A1 mais ao norte (Figura 6A) e GABAM no centro do estado (Figura 6B). Esses agrupamentos são uma possível resposta ao gradiente de diferentes vegetações do estado e as mudanças das ecorregiões ali presentes. Se faz necessário mais estudos para um melhor entendimento.



**Figura 6. Representação espacial e classificada do produto final de área queimada para o ano de 2012. Enfoque nas Ti Alto Turiaço, Caru e Araribóia (A, B e C) e na Rebio Gurupi (B).**

A contagem de focos na Figura 7 também evidencia e valida a existência de uma queimada nas classes definidas e confirmam os comportamentos para 2015 e 2017. A exceção foi em 2012, já que 2014 e 2019 apresentaram mais focos de calor, porém com menos áreas queimadas identificadas em todos os produtos.



**Figura 7. Número de focos dentro das classes.**

Dentro do produto final desenvolvido, a classe que apresentou maior número de focos de calor sobrepostos foi a de MCD64A1 com uma contagem máxima de 35.606 ocorrências, seguido pela classe GABAM com 8873 focos e a classe de interseção GABAM\_MCD64A1 com 8804 focos, todos para o ano de 2017. Um ponto interessante foi perceber a classe que compõe a concatenação entre todos os produtos, que é uma das

menores em cada ano, tanto em quantidade de focos de calor (Figura 7), quanto em tamanho de área de contribuição (Figura 5), enfatizando que os produtos abrangem locais diferentes entre si, e poucas foram mapeadas por todos os produtos.

## 7. Conclusão

A partir das análises realizadas neste trabalho, pode-se inferir que a combinação de diferentes produtos de área queimada, podem de fato trazer uma melhor identificação destas áreas, no que diz respeito a amazônia maranhense. Houve um aumento na identificação da área queimada de 24%, podendo chegar até 50% a mais que no produto que mais identificou áreas queimadas para a região, o MCD64A1. Esses dados correlacionados com os focos de calor de cada ano, demonstram que a área queimada identificada no produto final condiz com os focos de calor observados pelos diferentes sensores no período selecionado.

## Agradecimentos

Ao Projeto MAP-Fire Maranhão (FAPEMA/FAPESP processos n° 2020/16457-3 e N° CACD 02989/20) e pela bolsa FAPEMA processo n° 2022/06158-4.

## Referencias

- Bush, M., *et al.* (2008) . “Fogo, mudanças climáticas e biodiversidade na Amazônia: uma perspectiva do Holoceno Tardio”. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci*, 363.
- Freitas, A. L. R. Exposição a incêndios florestais em unidades de conservação de uso sustentável na Amazônia. 2021. 134 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - INPE, São José dos Campos, 2021.
- INPE, (2022). “Programa Queimadas - Perguntas frequentes”. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas/portal/informacoes/perguntas-frequentes>.
- Pessôa, A.C.M., *et al.* (2020) “Intercomparison of Burned Area Products and Its Implication for Carbon Emission Estimations in the Amazon”. *Remote Sens.* 2020.
- RAISG - Rede Amazônica de Informações Socioambientais Georreferenciadas Desmatamento na Amazônia (1970–2013). Disponível online: <https://www.amazoniasocioambiental.org/> ( 29/08/2022).
- Silva-Junior C.H.L., *et al.* (2018). “Drought-induced Amazonian wildfires instigate a decadal-scale disruption of forest carbon dynamics”. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2018, 373 20180043.
- Silva-Junior C.H.L., *et al.* (2020). “Amazon forest on the edge of collapse in the Maranhão State, Brazil”. *Land Use Policy*, Volume 97.
- Silva-Junior C.H.L., *et al.* (2022). “Forest Fragmentation and Fires in the Eastern Brazilian Amazon-Maranhão State, Brazil”. *Fire*, 5, 77.
- Silva C.V.J., *et al.* (2020). “Estimating the multi-decadal carbon deficit of burned Amazonian forests”. *Environmental Research Letters*, 15 114023.
- Long, T., *et al.* (2019). “30 m Resolution Global Annual Burned Area Mapping Based on Landsat Images and Google Earth Engine”. *Remote Sens.*, 11, 489.