

## RELAÇÃO ESPACIAL ENTRE AS FONTES DE IGNIÇÃO EM DIFERENTES COBERTURAS DA TERRA E INCÊNDIOS FLORESTAIS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

Thales Vaz Penha<sup>1</sup>, Celso Henrique Leite Silva Junior<sup>1</sup>, Mikhaela Aloísia Jéssie Santos Pletsch<sup>1</sup>, Ana Carolina Moreira Pessôa<sup>1</sup>, Marisa Gesteira Fonseca<sup>1</sup>, Luiz Eduardo Oliveira e Cruz de Aragão<sup>1</sup> e Liana O. Anderson<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas, 1758, Jardim da Granja, São José dos Campos -SP, Brasil E-mail: {thales.penha; celso.junior; mikhaela.pletsch; ana.pessoa; marisa.fonseca; luiz.aragao}@inpe.br;

<sup>2</sup>Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN. Estrada Doutor Altino Bondensan, 500 - Parque Tecnológico de São José dos Campos, São José dos Campos - SP, Brasil, 12247-016. E-mail: liana.anderson@cemaden.gov.br

### ABSTRACT

*Forest fires are a key challenge for reducing the carbon emissions and ecosystem services preservation in the Brazilian Amazon. The analysis of the spatial location and land-use associated with each fire ignition is important to guide policies aiming the mitigation of forest fires. In this study, we assessed the spatial relationship between the ignition location and the land use and land cover (LULC) in the Brazilian Amazon during 2010. Our results show that the largest land use contribution of fires and forest fires in 2010 was Pasture. Moreover, in the shortest distances (<2km) the contribution of Deforestation, Secondary Vegetation and Agriculture is representative.*

**Key words** — Forest Fires, FireAtlas, Ignition Source, LULC, Tropical Forest.

### 1. INTRODUÇÃO

A Amazônia é a maior floresta tropical do mundo e possui papel central na redução das emissões de carbono nos trópicos e na preservação de serviços ecossistêmicos [1,2]. Diversos são os esforços científicos que visam contribuir para a identificação e o monitoramento dos fenômenos que transformam a cobertura da terra na região para diferentes propósitos, como as queimadas e os incêndios florestais [3,4].

As queimadas naturais na Amazônia são consideradas raras, porém, o número de episódios de queimadas e incêndios florestais têm aumentado, em especial em anos de secas [5]. Segundo Aragão et al. [6] as queimadas na Amazônia Brasileira ocorrem de três formas básicas: (i) em áreas que foram desmatadas e queimaram no mesmo ano; (ii) em áreas que foram desmatadas em anos anteriores e queimaram nos anos subsequentes; e (iii) em áreas de vegetação natural ou outras áreas não florestadas. Independentemente do tipo, estas queimadas são resultado das atividades humanas que de forma induzida, utilizam o fogo principalmente para a manutenção de pastos e agricultura [3,6]. No entanto, essas práticas podem ocasionar incêndios florestais, os quais são difíceis de mapear devido principalmente à cobertura de nuvens na região amazônica e a detecção de fogo de sub-bosque influenciando a

quantificação das estimativas totais de áreas impactadas pelo fogo [7].

Nesta perspectiva, o sensoriamento remoto fornece uma gama de dados e produtos que subsidiam a detecção e monitoramento das queimadas. Em escala global, destacam-se os produtos de fogo ativo e área queimada derivados principalmente de imagens MODIS/AQUA-TERRA, como, por exemplo, o produto *Fire Atlas* desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) [8]. Este produto apresenta informações úteis que permitem compreender melhor aspectos e características de áreas queimadas, tais como: fonte de ignição, tamanho, duração, expansão diária, velocidade, perímetro e direção [8].

A localização espacial da ignição inicial e o uso da terra associado são de suma importância tanto para nortear desde ações de campo para a prevenção de ocorrência destes eventos quanto para a gestão de políticas públicas e tomada de decisão, posto que a caracterização deste processo ainda é incipiente. Nesse sentido, os dados do projeto TerraClass desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pode contribuir nesta avaliação ao disponibilizar classificações periódicas de uso e cobertura da terra com refinamento de 30m de resolução espacial a cada dois anos [9]. Ademais, a disponibilidade deste tipo de informação pode contribuir na identificação da origem dos incêndios florestais na Amazônia.

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a relação espacial entre os diferentes usos e cobertura da terra com os pontos iniciais de ignição de áreas queimadas na Amazônia brasileira, a partir dos dados *Fire Atlas* e TerraClass, para o ano de 2010.

### 2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde aos limites do Arco de Desflorestamento (AD), situada ao longo da extensão sul e leste da Amazônia brasileira (Figura 1). Essa região recobre parte de sete estados brasileiros: Acre, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia e Tocantins. A área é ainda considerada uma fronteira ativa de mudanças do uso da terra no mundo em termos de perda florestal, intensa prática do fogo e atividades econômicas [10].

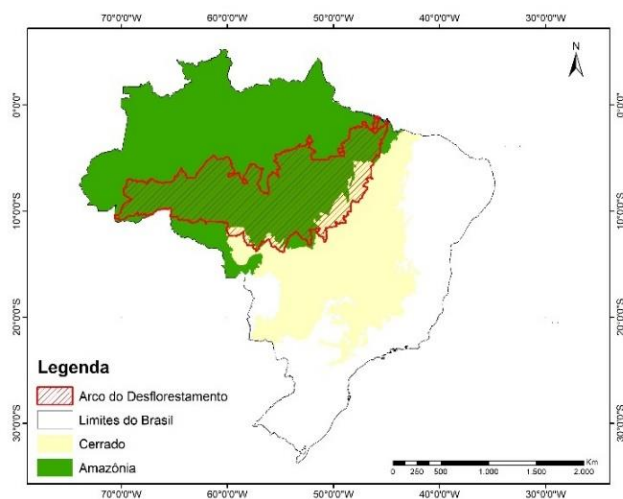


Figure 1. Localização da área de estudo.

Em 2014, a área de estudo era predominantemente coberta por florestas (64,5%), pastagens (13,6%) e Cerrado (12,2%) [9]. Na Amazônia brasileira, as queimadas tendem a se intensificar durante a estação seca, entre Junho e Outubro, com pico em Setembro [6]. Além disso, elas concentram-se ao longo do AD, onde as atividades antrópicas geram fontes de ignição e estão diretamente relacionadas ao uso do fogo para a manutenção de pastagens e o manejo agrícola que, por vezes, escapa para áreas de florestas, gerando incêndios florestais [6].

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Base da dados

O conjunto de dados relacionado as queimadas para o ano de 2010 derivam do produto global *Fire Atlas* – NASA, disponível gratuitamente em: <<http://www.globalfiredata.org/fireatlas.html>>. Estes dados são disponibilizados tanto em formato matricial quanto vetorial, anualmente (2003-2016) e com resolução espacial de 500m. Os produtos vetoriais que se referem aos pontos iniciais de ignição e correspondem ao pixel do produto MCD64A1 com a data inicial da área queimada. O limiar que define o ponto candidato ao ponto inicial de ignição é baseado no “*local minima*” dentro de cada polígono de área queimada, ou seja, o local cuja grade simples de células ou grupo de células adjacentes com a mesma data de queima é cercado por outra grade de células com datas de queimas posteriores [8].

O dado referente ao mapeamento de uso e cobertura da terra para o ano de 2010 foi obtido do projeto TerraClass-INPE [9]. Todo conjunto de dados foi passado para a projeção *Conical Equivalent of Albers e datum South American Datum 1969* (SAD 69).

### 2.2. Métodos

A metodologia deste estudo baseou-se na sobreposição espacial dos pontos de ignição derivados do *Fire Atlas* para o

ano de 2010 com as classes de cobertura da terra do TerraClass. Primeiramente, as 14 classes temáticas do TerraClass foram reagrupadas em uma nova legenda, composta por 5 classes: Floresta, Pastagem, Agricultura, Vegetação Secundária e Desmatamento Recente. Em seguida, o dado TerraClass e *FireAtlas* foram recortados para a área de estudo.

Utilizando uma estrutura de células com resolução espacial de 500m (resolução original do dado *Fire Atlas*) foi identificada a classe de uso e cobertura da terra majoritária utilizando o script “Preenchimento celular da classe majoritária em R” [11] implementado no software R. Por fim, as células preenchidas foram sobrepostas aos pontos de ignição que em seguida foram quantificados por classe de uso e cobertura da terra. Neste estudo, incêndio florestal é considerado o fogo que ocorre em floresta; e o fogo que ocorre em outras coberturas da terra é denominado queimada.

Para analisar os potenciais usos da terra que se tornaram incêndios florestais, foram extraídos os polígonos de área queimada do produto *Fire Atlas* que ocorreram em áreas de Floresta e, em seguida, foram calculadas as distâncias euclidianas às fontes de ignição, por classes de uso e cobertura da terra, que se tornaram incêndios florestais. Estas distâncias foram categorizadas em cinco distâncias: 1km, 2km, 3km, 4km, 5km e >5km, conforme sugere [12]. Por fim, para verificar estatisticamente se a proximidade das ignições às áreas Florestais, por usos da terra, possuía distribuição de populações diferentes, a análise de *boxplot* e o teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis* foram utilizados.

## 3. RESULTADOS

Quase 50% do total do número de ignições encontradas ocorreram na classe de uso e cobertura da terra dominada por pastagens, representando mais de 4000 ignições (Figura 2). Floresta foi a segunda classe mais proeminente, com cerca de 40% do total do número de ignições, enquanto que Agricultura não chegou a 10%. Por fim, Vegetação Secundária e Desmatamento não apresentaram juntos 2% do valor final.

Além do próprio uso e cobertura da terra predominantes nos pontos de ignição, outro fator importante que deve ser mencionado é a distância (km) destes pontos até as áreas queimadas em Floresta. Os resultados indicam que independentemente da distância (1 ou mais km), as principais fontes de ignição estão presentes em pastagens (Figura 3). Acima de 2km de distância, a classe de Agricultura apresenta a segunda maior contribuição nestas fontes de ignição. Entretanto, a 1 km de distância das áreas queimadas em Floresta, que indica a ocorrência de incêndios florestais, a Vegetação Secundária apresenta a porcentagem de fontes de ignição superior ao da agricultura. Ainda com relação à Vegetação Secundária, esta classe apresentou o terceiro maior percentual de fontes de ignição entre 2km ou mais das Florestas.

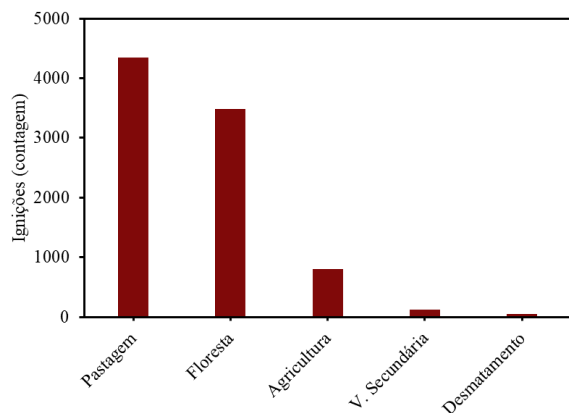


Figura 2. Usos e coberturas da terra predominantes nos pontos de ignição.

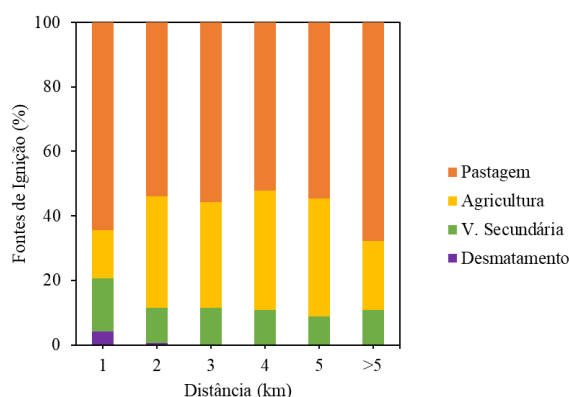


Figura 3. Percentual de fontes de ignição por distâncias das áreas queimadas em floresta (km).

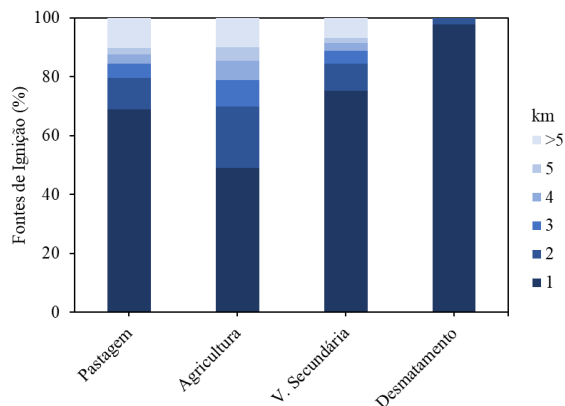


Figura 4. Percentual de fontes de ignição por uso e cobertura da terra, considerando a proximidade às áreas de incêndios florestais (km).

A classe Desmatamento só foi relevante a 1km de distância. De maneira geral, pode-se afirmar que a 1km de distância das áreas queimadas em relação as áreas de floresta está a maior percentagem de fontes de ignição nas quatro classes mencionadas (Figura 4).

Por fim, as medianas de distância entre cada classe de uso e cobertura e incêndios florestais são estatisticamente diferentes, sendo que as ignições iniciadas em áreas

predominantemente da classe Agricultura apresentaram maior variabilidade em relação à distância dos incêndios florestais (Figura 5). De acordo com o teste de Kruskal-Wallis ( $KW = 556,15$ ;  $p\text{-valor} < 0,001$ ), as ignições iniciadas na classe de Desmatamento estão mais próximas das áreas de incêndios florestais, seguido pelas classes de Vegetação Secundária e Pastagem. Nesse mesmo sentido, as ignições da classe de Agricultura apresentaram a maior distância dos incêndios.

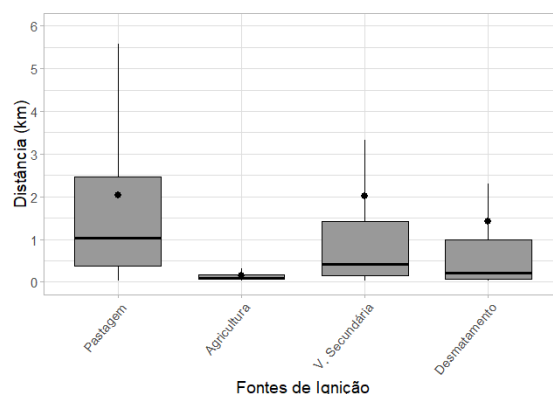


Figura 5. Boxplot com a distância das áreas queimadas em áreas de floresta em relação aos usos da terra.

#### 4. DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo mostram que há o predomínio das fontes de queimadas em Pastagem. Segundo Cano-Crespo et al. [12], o fogo utilizado no manejo de pastagens escapa para as florestas vizinhas e contribuem, em grande parte, para os incêndios florestais. Este processo é responsável por até 52% das bordas de áreas queimadas adjacentes às pastagens [12].

Além disso, 40% das fontes de ignição são provenientes de áreas de Floresta, o que pode indicar três processos: (i) estão queimando diretamente a floresta para depois desmata-la; (ii) o fogo escapou, pois perdeu-se o controle; (iii) devido à diferença de resolução espacial dos produtos, acaba-se atribuindo a ignição à floresta. O primeiro ponto vai de encontro às observações de Aragão et al. [6], na qual o fogo relacionado ao desmatamento na Amazônia é praticado para limpeza destas áreas para posterior uso econômico. Já o fogo que escapa do manejo de áreas agrícolas e pastagem, pela perda do controle, pode ocasionar incêndios florestais. Esta prática geralmente é realizada próximo às florestas como um meio econômico para limpeza e gestão da terra, tanto para fertilização quanto para o controle de pragas [12].

Desta forma, quanto menor a distância entre o uso da terra e a floresta, maior a probabilidade de ocorrência de incêndios florestais (Figura 3). Sendo a contribuição do Desmatamento e da V. Secundária majoritária na menor distância (<1km) (Figura 4), o que leva ao questionamento: estas áreas que estão sendo queimadas serão desmatadas no futuro? Segundo Morton et al. [10], entre os anos de 1997-2002, em média cerca de 50% das áreas de florestas que queimam são desmatadas em seguida na Amazônia brasileira.



Por outro lado, independentemente da distância, a principal fonte de ignição no arco do desflorestamento em 2010 foi a Pastagem. Além disso, conforme aumenta a distância dos pontos de ignição à Floresta, maior é a contribuição da Agricultura. Embora estatisticamente esta última apresente as maiores distâncias dos incêndios e possua maior variabilidade nas distâncias. Nossa análise indica não apenas que a maioria dos incêndios florestais se concentra ao longo das bordas da floresta, mas também que a maioria deles é encontrada nas proximidades de terras pastoris [12].

Por fim, outro aspecto fundamental está relacionado a diferença de resolução espacial dos produtos e às limitações metodológicas, principalmente do produto *Fire Atlas*. Andela et al. [8] salientam que devido à cobertura de nuvens na região amazônica, as incertezas associadas à estimativa de data das áreas queimadas podem influenciar na determinação e precisão da localização dos pontos de ignição, mesmo com a aplicação de três procedimentos de filtragem para o refinamento deste dado [8].

## 5. CONCLUSÕES

O presente estudo buscou avaliar a relação espacial dos pontos de ignição de áreas queimadas com os diferentes usos e coberturas da terra no AD. Concluímos que a maior contribuição das queimadas em 2010 foi originária das pastagens, seguido das ignições em floresta. Além disso, em relação as distâncias dos usos da terra que mais contribuem para ocorrência dos incêndios florestais, verificamos que novamente as pastagens são as principais fontes de ignição para os incêndios florestais. Contudo, nas menores distâncias (<1km e <2km) a contribuição do Desmatamento, da Vegetação Secundária e da Agricultura é maior. Portanto, a maioria das florestas queimadas está localizada ao longo dos limites da borda da floresta e próxima aos usos da terra com uso direto do fogo. Para as maiores distâncias (>2km em diante), a perda do controle no manejo do fogo é a causa mais provável, visto que as maiores contribuições são das pastagens e agricultura. Como trabalhos futuros, propõe-se avaliar a origem das fontes de ignições na Amazônia, tanto para anos normais quanto para os associados às secas, contribuindo para a caracterização deste processo em uma perspectiva espaço-temporal.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processos 140377/2018-2, 305054/2016-3, 309247/2016-0. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e bolsa de Pós-doutorado para M. G. Fonseca.

## 7. REFERÊNCIAS

[1] Nepstad, D.; Soares-Filho, B. S.; Merry, F.; Lima, A.; Moutinho, P.; Carter, J.; Bowman, M.; Cattaneo, A.; Rodrigues, H.;

Schwartzman, S.; McGrath, D. G.; Stickler, C. M.; Lubowski, R.; Piris-Cabezas, P.; Rivero, S.; Alencar, A.; Almeida, O.; Stella, O. "The End of Deforestation in the Brazilian Amazon", *Science*, v. 326, n. 5958, pp. 1350–1351, 2009.

[2] Aragão, L. E. O. C.; Poulter, B.; Barlow, J. B.; Anderson, L. O.; Malhi, Y.; Saatchi, S.; Phillips, O. L.; Gloor, E. Environmental change and the carbon balance of Amazonian forests. *Biological Reviews*, vol. 89, p.p. 913–931, 2014.

[3] Fearnside, P. M. "Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences", *Conservation Biology*, v.19, n.4, pp. 680–688, 2005.

[4] van der Werf, G. R.; Randerson, J. T.; Giglio, L.; Collatz, G. J.; Mu, M.; Kasibhatla, P. S.; Morton, D. C.; Defries, R. S.; Jin, Y.; Van Leeuwen, T. T. Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009). *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 10, p.p. 11707–11735, 2010.

[5] Aragão, L. E. O. C.; Anderson, L. O.; Fonseca, M. G. et al. (18 autores). 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nature Communications*, vol. 9, n. 536, 2018.

[6] Aragão, L. E. O.; Malhi, Y.; Barbier, N.; Lima, A.; Shimabukuro, Y.; Anderson, L.; Saatchi, S. Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, vol. 363, p.p. 1779–1785, 2008.

[7] Anderson, L. O.; Aragão, L. E. O. C.; Gloor, M.; Arai, E.; Adami, M.; Saatchi, S. S.; Malhi, Y.; Shimabukuro, Y. E.; Barlow, J.; Berenguer, E.; Duarte, V. Disentangling the contribution of multiple land covers to fire-mediated carbon emissions in Amazonia during the 2010 drought. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 29, p.p. 1739–1753, 2015.

[8] Andela, N.; Morton, D. C.; Giglio, L.; Paugam, R.; Chen, Y.; Hantson, S.; van der Werf, G. R.; Randerson, J. T. The Global Fire Atlas of individual fire size, duration, speed, and direction. *Earth Syst. Sci. Data Discuss (no prelo)*, 2018. <https://doi.org/10.5194/essd-2018-89>

[9] Almeida, C. A.; Coutinho, A. C.; Esquerdo, J. C. D. M.; Adami, M.; Venturieri, A.; Diniz, C. G.; Dessay, N.; Durieux, L.; Gomes, A. R. "High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and

[10] Morton, D. C.; DeFries, R. S.; Nagol, J.; Souza, C. M.; Kasischke, E. S.; Hurtt, G. C.; Dubayah, R. Mapping canopy damage from understory fires in Amazon forests using annual time series of Landsat and MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, vol. 115, no. 7, pp. 1706–1720, 2011.

[11] Silva Junior, C. H. L. et al. "Preenchimento celular da classe majoritária em R". Zenodo. doi:10.5281/zenodo.1442879.

[12] Cano-Crespo, A.; Oliveira, P. J. C.; Boit, A.; Cardoso, M.; and Thonicke, K., "Forest edge burning in the Brazilian Amazon promoted by escaping fires from managed pastures," *J. Geophys. Res. Biogeosciences*, vol. 120, no. 10, pp. 2095–2107, Oct. 2015.

[13] Bonfatti, S. et al. Nonparametric Hypothesis Testing. Wiley Series in Probability and Statistics; John Wiley & Sons: Chichester, UK, 2014.