

SISTEMA DE ALERTA DE FOCOS DE QUEIMADAS EM PROPRIEDADES RURAIS PARA PREVENÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO, ACRE

João Bosco Coura dos Reis ¹, Liana Oighenstein Anderson ¹, Eymar Silva Sampaio Lopes ², Ana Carolina Moreira Pessoa ³, Vera Lúcia Reis ⁴, Irving Foster Brown ⁵

¹Centro Nacional de Monitoramento de Desastres Naturais (CEMADEN), Parque Tecnológico de São José dos Campos, Estrada Doutor Altino Bondensan, 500, São José dos Campos, São Paulo, CEP: 12247-016 {joaodosreis89@gmail.com; liana.anderson@cemaden.gov.br}

²Divisão de Processamento de Imagens (DPI), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Av. dos Astronautas, 1758, Jardim da Granja, São José dos Campos, SP, CEP: 12.227-010. {eymar.lopes@inpe.br}

³Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – *Tropical Ecosystems and Environmental Sciences lab* (TREES), Av. dos Astronautas 1758, Jardim da Granja, São José dos Campos, SP, CEP: 12.227-010 {ana.pessoa@inpe.br}

⁴Instituto de Mudanças Climáticas e Regulação dos Serviços Ambientais (IMC), Rua das Acácias, 279, Rio Branco, Acre, Brasil. CEP: 69.920-175 (vlreis.reis21@gmail.com)

⁵*Woods Hole Research Center*, Universidade Federal do Acre (AFAC), Distrito Industrial, Rio Branco, AC, CEP: 69920900 {fbrown@whrc.org }

RESUMO

Nos últimos anos a Amazônia foi atingida por eventos extremos de seca. Os grandes incêndios florestais estão em sinergia com os eventos de seca nesta região, com consequências para o meio ambiente, a economia e a saúde humana. Faltam estudos que visem reduzir o risco desse tipo de desastre na Amazônia. O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de queimadas e incêndios florestais para subsidiar o monitoramento e aplicação da lei por órgãos ambientais. A metodologia permite integrar a ocorrência de focos de queimadas/incêndios, oriunda do *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS) acoplada à identificação das propriedades rurais, proveniente do Cadastro Ambiental Rural (CAR). O desenvolvimento deste sistema permitirá gerar as informações necessárias para apoiar o planejamento, monitoramento e ações de prevenção de ocorrência de incêndios florestais.

Palavras-chave — Amazônia, queimadas, VIIRS, sistema de monitoramento, plataforma TerraMA².

ABSTRACT

In the last years, the Amazon was hit by events with records in drought extremes. The large wildfires are in synergy with extreme drought events in the Amazon, with consequences for the environment, economy and human health. There is a lack of studies that aim to reduce the risk of this type of disaster in the Amazon. It is the purpose of this work the development of a monitoring system of fires. The methodology under development integrates both the occurrence of fires, given by the Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) data, and the delimitation of private rural properties (CAR), in order to detect and identify landowners who exhibit the occurrence of some thermal anomaly in their property. This development will generate the important information to support the decision making to prevent and mitigate the probability of wildfires occurrence.

Key words — Amazon, Fires, VIIRS, monitoring system, TerraMA² platform.

1. INTRODUÇÃO

Desastres naturais podem ser descritos como resultado da combinação da exposição a um perigo, das condições de vulnerabilidade e da capacidade insuficiente para prevenir ou mitigar os potenciais danos à economia, sociedade e ao ambiente [1]. Segundo o *Annual Disaster Statistic Review* (ADSR) do *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED), desastres do tipo climatológico podem ser provocados por eventos extremos de temperatura, secas e incêndios florestais, sendo anualmente responsáveis por um grande número de pessoas afetadas em todo mundo [2].

As maiores ocorrências de queimadas e incêndios florestais estão associadas às regiões tropicais, que apresentam uma variabilidade anual no número de focos relacionada com o regime hidrológico [3]. Os frequentes registros e a elevada probabilidade de aumento da intensidade e frequência de eventos de secas extremas na Amazônia [4,5], tornam a região propensa ao aumento de ocorrência de incêndios florestais [6,7], trazendo como consequência inúmeros prejuízos socioeconômicos e ambientais [8,9].

Embora os incêndios façam parte da dinâmica natural de alguns ecossistemas, a recorrência de incêndios e queimadas na Amazônia está diretamente relacionada às mudanças de uso e cobertura da terra, como forma de limpeza e manejo da terra. Anderson et al. [10] identificaram que 39% do total de focos de calor detectados no estado do Acre estão localizados em Projetos de Assentamentos, 26% em áreas particulares e 10% em Unidades de Conservação.

Apesar do uso do fogo como técnica de manejo da vegetação não seja considerada absolutamente proibida no Brasil, o país dispõe de leis que impõe que a aplicação do fogo seja rigorosamente controlada. Em âmbito federal, o Código Florestal (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012) proíbe o uso do fogo na vegetação, mas apresenta exceções que exigem que o emprego do fogo receba a devida autorização, com a apresentação de formas de monitoramento e controle da evolução da queima, com o intuito de impedir que a prática rompa os limites

estabelecidos e evoluam para um incêndio florestal e, conseqüentemente, em um desastre. Paralelamente ao Código Florestal, em 10 de abril de 2012 foi sancionada a Lei nº 12.608, que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), que autoriza a criação de sistemas de informações e monitoramento de desastres, como forma de medidas preventivas e mitigadoras de situação de risco [11].

A criação de sistemas de detecção e monitoramento de queimadas e incêndios florestais pode ser feita por meio de dados de sensoriamento remoto, visto que as ocorrências podem ser detectadas a partir de focos de calor, que são anomalias de temperatura detectadas pelos sensores de satélites ambientais, indicando fogo ativo. Dessa forma, dados de sensores remotos permitem detectar e acompanhar a dinâmica da ocorrência de queimadas, possibilitando sua observação de forma contínua e repetitiva em vastas regiões e de difícil acesso.

É objetivo deste trabalho o desenvolvimento técnico-científico de um sistema de detecção e monitoramento de focos de queimadas e incêndios florestais em propriedades rurais (Cadastro Ambiental Rural [CAR]) do município de Rio Branco, Acre, por meio do sensoriamento remoto, visando a geração de dados para identificar a propriedade rural em que o evento está ocorrendo, assim como o tipo de uso e cobertura da terra que pode estar sendo impactado pelo fogo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O município de Rio Branco, capital do Estado do Acre, está localizado na região Norte do Brasil e segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), ocupa uma área de aproximadamente 8.834,94 km² e população estimada em 401 mil habitantes para o ano de 2018 [12]. Segundo o Projeto MapBiomas, 77% do seu território é coberto pela Floresta Amazônica, 21% de por agropecuária e o restante por corpos d'água e outras classes [13]. O clima é quente e chuvoso, sendo os meses entre novembro e abril com maior volume de chuva.

2.2. Material

2.2.1. Focos de queimadas

Foram utilizados dados de focos de queimadas detectadas por sensoriamento remoto, provenientes do sensor *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS), a bordo do satélite *Suomi National Polar-orbiting Partnership* (Suomi-NPP), com resolução espacial de 375 m [14]. A série histórica de dados para este estudo compreende o período de janeiro de 2016 à dezembro de 2017.

2.2.2. Dados do CAR

O Cadastro Ambiental Rural (CAR) é uma base de dados georreferenciados com a delimitação das propriedades rurais privadas do Brasil, contendo informações sobre as áreas dos imóveis rurais, área consolidada, reserva legal (área do imóvel rural que, coberta por vegetação natural, pode ser

explorada com o manejo florestal sustentável), vegetação nativa, APP (áreas de preservação de rios e nascentes), área de pousio (área com interrupção temporária de atividades para possibilitar a recuperação da capacidade de uso ou da estrutura física do solo), entre outros. Os dados foram divulgados em 2017 na forma de um banco de dados e encontram-se disponíveis através do site do Sistema de Cadastro Ambiental Rural (Sicar) (www.car.gov.br/publico/municipios/downloads).

2.2.3. Plataforma TerraMA²

Desde 2007 o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) tem desenvolvido a plataforma computacional TerraMA², como parte de um conjunto de geotecnologias de base tecnológica inovadora, no domínio de *softwares* abertos [15]. A plataforma busca atender uma demanda crescente de aplicações de monitoramento, análise e alerta de parâmetros ambientais. Neste campo o TerraMA² forneceu a infraestrutura computacional necessária para a criação do sistema de monitoramento e alerta de queimadas. Maiores detalhes e um manual do usuário para orientar a utilização da plataforma podem ser encontrados na página (<http://www.terrama2.dpi.inpe.br/>).

4.1. Metodologia

Primeiramente foram realizadas análises para identificar o padrão temporal e espacial das queimadas ocorridas no município de Rio Branco nos anos de 2016 e 2017, assim como para verificar o tipo de uso e ocupação da terra, informações provenientes dos dados CAR, do local de ocorrência dos focos de queimadas observadas pelos dados do sensor VIIRS.

A segunda parte do trabalho consistiu na utilização da plataforma TerraMA² para a construção do sistema de monitoramento de queimadas. Foi feita a configuração da plataforma de modo a permitir a coleta de dados ambientais dinâmicos de forma automática, no caso dados de focos de queimadas do VIIRS, e o cruzamento com dados geográficos (dados do CAR), com a finalidade de gerar alertas com as informações necessárias para tomada de decisão, além de criar um ambiente *web* para apresentação do sistema.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Baseado nos dados de focos de queimadas do sensor VIIRS, foram detectadas 5304 ocorrências no período de janeiro de 2016 à dezembro de 2017 no município de Rio Branco. A Figura 1 apresenta a distribuição temporal, na qual se observa uma maior frequência de queimadas nos meses de junho à outubro, período de menor volume pluviométrico na região.

O maior número de detecção de focos de queimada ocorre entre agosto e setembro, final da estação seca, em razão das práticas de manejo da terra, posto que a vegetação torna-se mais vulnerável ao fogo. A vulnerabilidade está associada ao clima seco, baixa umidade da vegetação e do solo e à alta temperatura do ar, por exemplo [16,17], que

possibilita o início e a manutenção da queimada para a limpeza e a preparação da terra até o início da estação chuvosa em novembro.

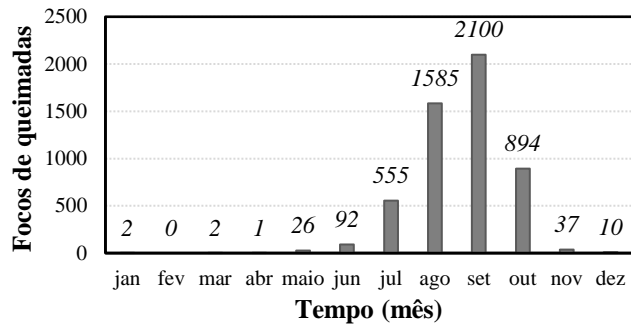


Figura 1. Distribuição temporal de ocorrência de focos de queimadas nos anos de 2016 e 2017 em Rio Branco.

A Figura 2 apresenta o mapa com a distribuição espacial dos focos de queimadas no município. A contagem de focos para cada *pixel*, com resolução espacial 2 x 2 km, durante o período analisado permitiu identificar as áreas com maior presença de ocorrências. Lima et al. [18] identificaram padrões de ocorrências de focos de queimadas para o Acre, com uma maior concentração em regiões próximas às rodovias e também ao longo da rede hidrográfica, visto sua utilização para escoamento da produção da agricultura familiar, que a torna um vetor de desmatamento e queimadas.

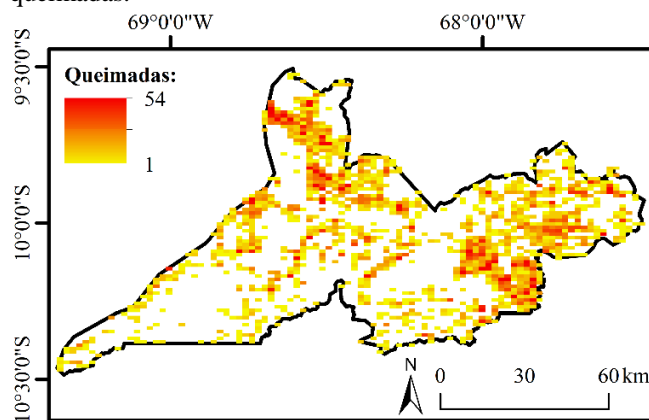


Figura 2. Mapa de frequência de queimadas no município de Rio Branco para os anos de 2016 e 2017.

Entre os 5304 focos de queimadas detectadas pelo sensor VIIRS no município de Rio Branco, 3079 (58%) das ocorrências foram registradas dentro dos imóveis rurais do município. Entre as ocorrências registradas nas propriedades rurais, constatou-se um maior predomínio de ocorrências em áreas de vegetação nativa (47,1) e em áreas consolidadas (46,9%) (Tabela 1). Enquanto identificou-se 2,4% de queimadas em APP, 0,3% em áreas de pousio e 3,3% em área de reserva legal (Tabela 1).

A maior concentração de focos de queimadas nas propriedades rurais de Rio Branco (Tabela 1) estão localizadas em áreas consolidadas, onde há atividades

agrossilvipastoris, e vegetação nativa. Este quadro sugere e comprova a dependência do uso do fogo como forma de limpeza e manejo da terra em áreas de atividades agropecuárias e sua aplicação durante o processo de conversão da cobertura florestal, ligada ao desmatamento e expansão da agropecuária [19,20].

Tabela 1. Focos de queimadas em propriedades rurais (CAR) por categoria para os anos de 2016 e 2017.

	APP	Área Consolidada	Área Pousio	Vegetação Nativa	Reserva Legal
Focos	75 (2,4%)	1444 (46,9%)	8 (0,3%)	1451 (47,1%)	101 (3,3%)

Em relação às ocorrências de focos de queimadas em áreas de vegetação nativa, pode-se indicar que o uso indevido do fogo primeiramente para o manejo da terra em áreas de atividades agrossilvipastoris, uma vez não controlado, têm avançado em direção à vegetação nativa. Segundo a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, o emprego do fogo deve receber autorização, com a apresentação de formas de monitoramento e controle da evolução da queima, para impedir que a queimada evolua para um incêndio florestal, o que sugere o não cumprimento da Lei por parte dos proprietários rurais.

Este diagnóstico sobre as ocorrências das queimadas na região justifica o emprego de um sistema de monitoramento de desastres, como forma de medida preventiva e mitigadora de situação de risco de ocorrência de incêndios florestais, posto que os locais onde o manejo com o uso do fogo é necessário, este pode ser uma fonte de ignição para grandes incêndios [21].

A Figura 3 apresenta a interface *web* disponibilizada pelo TerraMA² para o acompanhamento em tempo real do sistema de monitoramento e alerta proposto, com as análises realizadas para identificar os focos de queimadas nas propriedades rurais de Rio Branco. Os polígonos em amarelo são as propriedades rurais que não apresentam a ocorrência de queimadas; em laranja são propriedades com uma ou mais ocorrências; enquanto os polígonos em cinza correspondem a áreas queimadas; e os pontos vermelhos os focos de queimadas observadas pelo sensor VIIRS no dia 23/08/2016 (Figura 3).

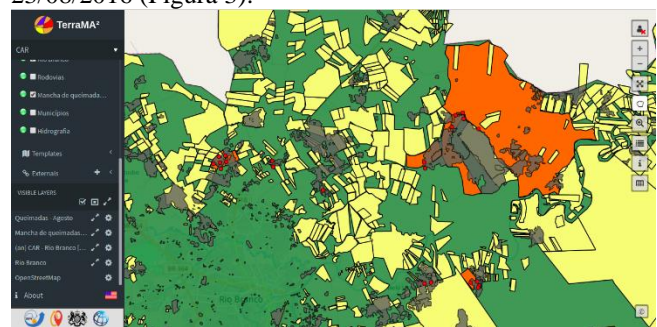


Figura 3. Exemplo da interface *web* criada pela plataforma TerraMA² com o sistema de monitoramento de queimadas nas propriedades rurais de Rio Branco.

5. CONCLUSÕES

O município de Rio Branco, no Acre, apresentou em dois anos um elevado número de focos de queimadas, com mais de 5 mil ocorrências. Com base nos focos detectados pelo sensor VIIRS, foi realizada uma análise temporal, que indicou os meses entre junho e outubro (estação seca na região da Amazônia Sul-ocidental), o período com maior número de queimadas, com destaque aos meses de agosto e setembro. A análise espacial dos dados mostrou uma maior concentração de queimadas em regiões próximas às rodovias, além de ocorrerem sobretudo em áreas de atividades agrossilvipastoris e de vegetação nativa, quando analisadas somente os focos dentro das propriedades rurais.

A recorrência de queimadas na região justificou o desenvolvimento do sistema de monitoramento para geração de alertas. Através das funcionalidades disponibilizadas pela plataforma TerraMA², foi possível criar um sistema de monitoramento completo, que integrou as fases de coleta de dados dinâmicos (focos de queimadas do VIIRS) e o cruzamento com os dados geográficos do CAR, através de um modelo de análise, capaz de gerar alertas quando detectada a ocorrência de queimada em uma propriedade rural. Os alertas gerados, que podem ser enviados tanto por e-mail, como apresentados em tempo real em uma página na internet (interface web do TerraMA²), contribuirão para nortear a tomada de decisão por parte dos órgãos competentes, de modo a minimizar os efeitos negativos das queimadas e incêndios florestais no município.

6. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da bolsa PCI [302856/2018-8]; L.O.A. agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo 309247/2016-0.

6. REFERÊNCIAS

[1] UN-ISDR - United Nations International Strategy for Disaster Risk Reduction. UNISDR “Terminology on Disaster Risk Reduction”, *ISDR – International Strategy for Disaster Reduction*, 2009. 39 p.

[2] Guha-Sapir, D.; Hoyois, P.H.; Below, R. “Annual Disaster Statistical Review 2016: The Numbers and Trends”, Brussels: *CRED*, 2016.

[3] Chen, Y.; Randerson, J.T.; Morton, D.C.; De Fries, R.S.; Collatz, G.J.; Kasibhatla, P.S.; Giglio, L.; Jin, Y.; Marlier, M.E. “Forecasting fire season severity in South America using sea-surface temperature anomalies”, *Science*, v. 334, p. 787–791, 2011.

[4] Li, W.; Fu, R.; Dickinson, R.E. “Rainfall and its seasonality over the Amazon in the 21st century as assessed by the coupled models for the IPCC AR4”. *J. Geophys. Res.*, v. 111, p. D02111, 2006.

[5] Cox, P.M.; Harris, P.P.; Huntingford, C.; Betts, R.A.; Collins, M.; Jones, C.D.; Jupp, T.E.; Marengo, J.A.; Nobre, C.A. “Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution”, *Nature*, v. 453, p. 212-215, 2008.

[6] Malhi, Y.; Roberts, J.T.; Betts, R.A.; Killeen, T.J.; Li, W.; Nobre, C.A. “Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon”, *Science*, v. 319, p. 169-172, 2008.

[7] 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”, *Biol. Rev.*, v. 89, p. 913-931, 2014.

[8] Anderson, L.O.; Trivedi, M.; Queiroz, J.; Aragão, L.E.O.C.; Marengo, J.A.; Young, C.R.F.; Meir, P. “Counting the costs of the 2005 Amazon drought: A preliminary assessment”, *Technical Report*, 2011.

[9] Brown, F. “Monitoring fires in southwestern Amazonia rain forest”, *EOS Transactions of the American Geophysical Union*, v. 87, n. 26, p. 253-264, 2006.

[10] Anderson, L.O.; Yamamoto, M.; Cunningham, C.; Fonseca, M.G.; Fernandes, L.; Pimentel, A.; Brown, F.; Silva Junior, C.H.; Lopes, E.S.S.; Moreira, D.; Salazar, N.; Andere, L.; Rosan, T.M.; Reis, V.; Aragão, L.E.O.C. “Avaliação compreensiva da utilização de focos de calor para caracterização de risco de incêndios florestais e priorização de áreas para a tomada de decisão”, *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 69, n. 1, p. 163-177, 2017.

[11] BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a política nacional de proteção e defesa civil – PNDEC. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 11 abr. 2012.

[12] IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2018. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ac/rio-branco/panorama>. Acesso em: out. 2018.

[13] Projeto MapBiomias. “Coleção 3.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil”, Disponível em: <<http://mapbiomas.org>> Acessado em: out. 2018.

[14] Schroeder, W.; Oliveira, P.; Giglio, L.; Csiszar, I.A. “The New VIIRS 375 m active fire detection data product: Algorithm description and initial assessment”, *Remote Sensing of Environment*, v. 143, n. 5, p. 85-96, 2014.

[15] INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2018. Plataforma de monitoramento, análise e alerta a extremos ambientais. Disponível em <http://www.terrama2.dpi.inpe.br/>. Acesso em: out. 2018.

[16] Freitas, S.R.; Longo, K.M.; Dias, M.A.F.S.; Dias, P.L.S.; Chatfield, R.; Prins, E.; Artaxo, P.; Grell, G.A.; Recuero, F.S. “Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America”, *Environmental Fluid Mechanics*, v. 5, p. 135-167, 2005.

[17] Fearnside, P. M.; Righi, C. A.; Graça, P. M. L. A.; Keizer, E. W. H.; Cerri, C. C.; Nogueira, E. M.; Barbosa, R. I. “Biomass and greenhouse gas emissions from land-use change in Brazil’s Amazonian “arc of deforestation”: The states of Mato Grosso and Rondônia”, *Forest Ecology and Management*, v. 258, p. 1968-1978, 2009.

[18] Lima, Y.M.S.; Mello, S.C.M.; Bezerra, D.S.; Lima, T.M.; Pimental, A.S.; Reis, V.L. “Geotecnologias aplicadas ao monitoramento de queimadas e incêndios florestais no estado do Acre, Brasil”, XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, *Anais... INPE*, p. 5507-5514, 2017.

[19] Sampaio, G.; Nobre, C.; Costa, M.H.; Satyamurty, P.; Soares-Filho, B.S.; Cardoso, M.F. “Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion”, *Geophysical Research Letters*, v. 34, p. 1-7, 2007.

[20] Cardoso, M.; Nobre, C.; Sampaio, G.; Hirota, M.; Valeriano, D.; Câmara, G. “Long-term potential for tropical-forest degradation due to deforestation and fires in the Brazilian Amazon”. *Biologia (Bratislava)*, v. 64, p. 433-437, 2009.

[21] Silva Junior, C.H.L.; Aragão, L.E.O.C.; Fonseca, M.G.; Almeida, C. T.; Vedovato, L.B.; Anderson, L.O. “Deforestation-Induced Fragmentation Increases Forest Fire Occurrence in Central Brazilian Amazonia”, *Forests*, v. 9, n. 6, 2018.