

Análise da distribuição de injeção de plumas de queimadas na atmosfera na América do Sul

Gustavo Domingos Zanin
Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ
Francielle da Silva Cardozo
Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ
Gabriel André Mendes Oliveira
Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ
Gabriel Pereira
Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ
Leonardo Cristian Rocha
Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ
Múcio do Amaral Figueiredo
Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ
Paulo Ricardo Rufino
Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ
Shayene Bernardo Dutra
Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ
Viviane Valéria da Silva
Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ

Resumo

As queimadas liberam gases traços e aerossóis para a atmosfera, fatores estes que modificam os ciclos biogeoquímicos, bem como o balanço de energia da mesma, levando a alterações locais e regionais do clima, decorrentes, por exemplo, do desmatamento da vegetação natural para a abertura de áreas destinadas à pecuária e agricultura. Partindo deste fato, para determinar as alturas de injeção das fumaças provenientes da queima de biomassa sobre a América do Sul para o ano de 2016 e com o objetivo de avaliar os impactos no transporte de longo alcance desses poluentes, foram analisadas as imagens do sensor Multiangle Imaging Spectro Radiometer (MISR) a bordo do Satélite TERRA, com resolução de 275 m em nove ângulos, variando de 0° nadir a 70° fora do nadir. Com o software MISR Interactive eXplorer (MINX) foram processadas as alturas, permitindo a criação de mosaicos multitemporais. Posteriormente, a partir de um programa originado em IDL/ENVI obteve-se os dados de interesse, como a localização, a potência radiativa do fogo e a altura de injeção de cada pluma. Após o processamento inicial, sucedeu a conversão dos dados e a inserção em Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Neste contexto, foi constatado que na região da América do Sul a maior fonte de emissões de poluentes são as queimadas que ocorrem sazonalmente na região Amazônica. Logo, esta capacidade de investigar a geometria e dinâmica da pluma está se tornando cada vez mais importante para os estudos de clima e qualidade do ar, onde exigem maior conhecimento das injeções de aerossóis e a sua localização dentro da atmosfera.

Palavras-Chave: Atmosfera. Sensor MODIS. Plumias.

Abstract

Burning releases trace gases and aerosols into the atmosphere, factors that modify biogeochemical cycles, as well as their energy balance, leading to local and regional climate changes, resulting, for example, from deforestation of natural vegetation for the opening of areas intended for livestock and agriculture. Based on this fact, to determine the injection heights of these biomass burning plumes over South America for 2016 and to evaluate the impacts on long range transport of these pollutants, the images of the Multiangle Imaging Spectro Radiometer (MISR) sensor were analyzed. aboard the TERRA Satellite, with a resolution of 275 m at nine angles, ranging from 0° nadir to 70° outside nadir. With the MISR Interactive eXplorer (MINX) software, the plumes heights were processed, allowing the creation of multitemporal files. Subsequently, from a program originated in IDL/ENVI, the data of interest was obtained, such as the location, the fire radiative power and the injection height of each plume. After the initial processing, was performed the data conversion and insertion into Geographic Information Systems (GIS). In this context, it was found that in the South American region the major source of pollutant emissions is the seasonal burning in the Amazon region. Thus, this ability to investigate feather geometry and dynamics is becoming increasingly important for climate and air quality studies, where they require greater knowledge of aerosol injections and their location within the atmosphere.

Keywords: Atmosphere Sensor. MODIS. Burning Smoke

zanin@ufs.br
franciellecardozo@ufs.br
pereira@ufs.br
rochageo@ufs.br
muciofigueiredo@ufs.br
paulorufino@ufs.br
shayened@yahoo.com
viviane.silva.ufsj@gmail.com

Introdução

As queimadas são consideradas como um dos principais mecanismos de conversão da vegetação natural em áreas antropogênicas, sendo a principal técnica de manejo envolvendo a conversão do Uso e Cobertura da Terra (UCT) na superfície. Sua utilização ocorre principalmente em conjunto com o desmatamento da vegetação natural com o objetivo de inserção e manutenção de áreas destinadas à agropecuária, além de ser utilizada na limpeza de áreas e no controle de pestes (MARENGO et al., 2010; CARDOZO et al., 2014; HERRERA, 2016; PURNOMO et al., 2017). As queimadas são utilizadas principalmente na época seca de cada região para facilitar o processo de combustão e propagação do fogo, que são facilitados pela baixa taxa de precipitação e umidade, e nas últimas décadas essa técnica tem sido largamente utilizada na América do Sul (VAN DER VERF et al., 2006; KIM et al., 2016).

Ainda, a queima da biomassa libera gases traço e aerossóis para a atmosfera, fatores que modificam os ciclos biogeoquímicos e o balanço de energia da atmosfera, levando a alterações locais e regionais do clima (BOWMAN et al., 2009). Nas áreas tropicais, os gases e aerossóis podem ser carreados pelo processo de transporte atmosférico, fator que pode auxiliar em modificações climáticas que influenciam globalmente, e como a América do Sul possui ainda uma grande quantidade de florestas tropicais, este fato a torna como um dos locais de grande potencial futuro de emissões associados ao UCT (ICHOKU e KAUFMAN et al., 2005; FEARNSTIDE et al., 2009; RANDERSON et al., 2015).

A energia do fogo e as condições meteorológicas locais presentes na hora da ocorrência irão influenciar na distribuição vertical das emissões próximas à fonte, denominada como altura de injeção (Val MARTIN et al., 2010; PAUGAM et al., 2016). As plumas de fumaça geralmente são aprisionadas dentro da camada limite, porém, este limite pode ser ultrapassado em áreas com a presença de grandes queimadas que podem produzir energia suficiente para injetar os gases traços e aerossóis em altitudes mais altas (RANDERSON et al., 2015).

Segundo Lavoue et al. (2000), as alturas das plumas são diretamente proporcionais à energia liberada ao longo da frente das chamas, que podem alcançar até 13 km de altura. Os gases traço e aerossóis emitidos que ultrapassam este limite possuem vida útil mais longa e podem ser transportados para longas distâncias, fator que pode afetar a qualidade do ar em áreas distantes das fontes emissoras e a favor do vento. Modelos de transporte químico regionais e globais têm sido utilizados para estudar o impacto das emissões na composição atmosférica e na qualidade do ar, porém, a distribuição vertical das emissões das queimadas nesses modelos atualmente ainda não é bem representada devido à falta de dados para testar as parametrizações. Desta forma, torna-se fundamental o uso de dados referentes à altura das injeções para a obtenção da simulação do caminho dos transportes e da evolução química das plumas de fumaça.

Neste contexto, a proposta teve como objetivo principal obter a altura da injeção das plumas de fumaça para a América do Sul para o ano de 2016 a partir do uso do sensor *Multiangle Imaging Spectro Radiometer* (MISR) a bordo do Satélite TERRA. A importância para obter essa injeção da pluma é em detrimento das mudanças atmosféricas em diferentes escalas que podem ocorrer pela grande quantidade de material particulado que é injetado na atmosfera com o transporte

alcançando longas distâncias e, além disso, também pela emissão de material carbonáceo e carbono grafitico podendo alterar o balanço radioativo da atmosfera (ARTAXO e SETZER, 1992).

Área de estudo

A área de estudo (**Figura 1**) compreende a América do Sul (AS), continente que se destaca pelas diferenças econômicas, culturais e pela grande biodiversidade distribuída em múltiplos ecossistemas naturais, compondo-se em terras de baixas e médias altitudes, possuindo uma morfologia diversa, com presença de regiões montanhosas extensas, como o caso da Cordilheira dos Andes, áreas de superfícies aquáticas grandiosas, como os rios da Amazônia, regiões com extrema aridez, como o deserto do Atacama, e florestas com grande diversidade biológica, como a floresta Amazônica (REIBOTA et al., 2010). Sua dimensão espacial tal, como a área do projeto, localiza-se entre as coordenadas geográficas com latitudes entre 12°N e 55°S e longitudes entre 90°W e 40°E.

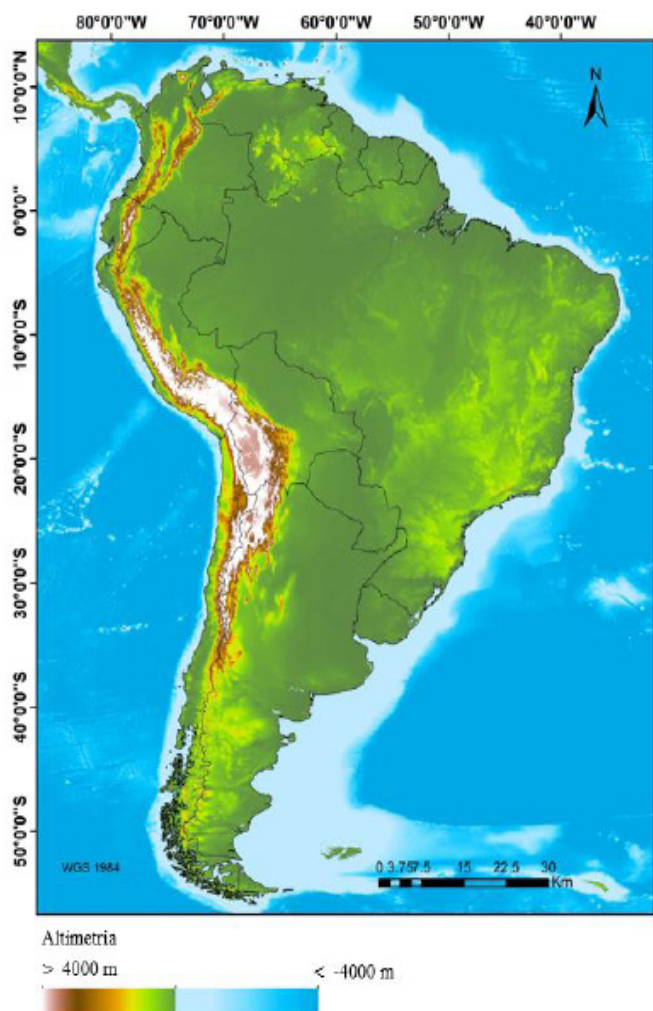


Figura 1: Dimensão da área de estudo. América do Sul

O continente apresenta diversos padrões climáticos devido a sua extensão, padrões estes causados por diferentes sistemas atmosféricos que contribuem para a heterogeneidade climática desta região, influenciando no padrão da circulação local e regional no qual define o clima e tempo (REBOITA

et al., 2010).

A intensa atividade dos movimentos de convecção desloca os gases traços, as partículas de aerossóis e também o vapor d'água a grandes altitudes podendo estes serem transportados a longas distâncias tendo efeito sobre a dinâmica climática e até mesmo na microfísica das nuvens (ANDREAE et al., 2001). Num contexto global, a América do Sul fica em segundo lugar como a região de maior emissão de queimadas, perdendo apenas para o continente Africano (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2007). A maior frequência de queimadas ocorrem no período seco, entre os meses de junho a novembro (FREITAS et al., 2005).

Materiais e métodos

Inicialmente, para investigar a altura de injeção das plumas de fumaça provenientes das queimadas na América do Sul para o ano de 2016, foram utilizadas imagens do sensor *Multi-angle Imaging Spectro Radiometer* (MISR) a bordo do Satélite Terra, voltado para monitorar as propriedades ópticas dos aerossóis. Este sensor possui 9 câmeras em diferentes ângulos de visada, abrangendo os canais do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético, com resolução espacial de 1,1 km, sendo 275 m no nadir e resolução temporal que varia de 2 a 9 dias dependendo da latitude.

Para a recuperação das plumas foram necessários à utilização de 3 produtos MISR, produto de Radiância (GRP_Terrain), o produto referente à parâmetros geométricos (MIB2GEOP) e o produto contendo dados geográficos como elevação digital e máscara de tipo de superfície (MIANCAGP) (MAZZONI et al., 2007).

Os dados com a localização dos focos de queimada foram obtidos a partir do produto MOD14 derivado do satélite Terra com 1 km de resolução espacial, que contém as informações sobre os focos de queimada e o *Fire Radiative Power* (FRP), metodologia proposta por Kaufman et al. (1996).

Procedimentos metodológicos

Para a geração da altura das plumas de fumaça provenientes das queimadas, foi utilizado o software MISR *INteractive sXplorer* (MINX). O MINX é um pacote de software independente desenvolvido no *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) na *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e distribuído através da *Open Channel Foundation*. Neste software, as plumas de fumaça são digitalizadas nas imagens do sensor MISR, fornecendo aos usuários a capacidade de recuperar localmente alturas e ventos para estudos detalhados de fumaça, poeira e cinzas vulcânicas, bem como nuvens, em resolução espacial mais alta e com maior precisão possível.

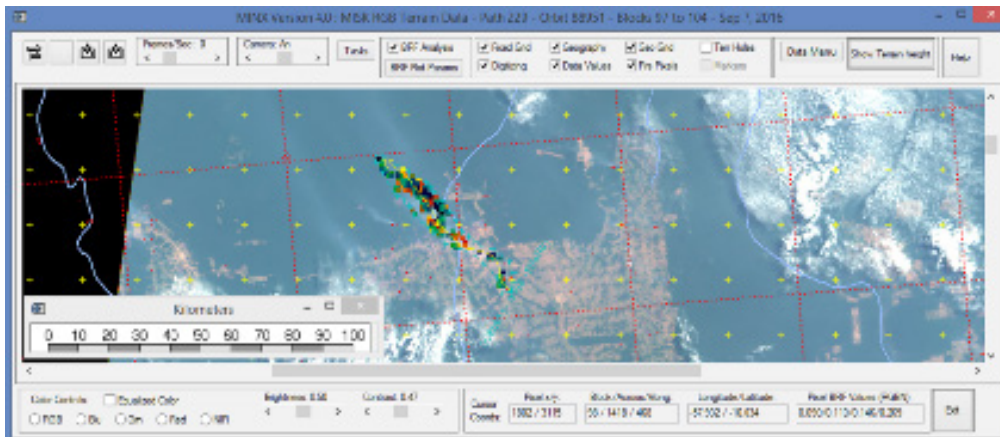


Figura 2: Pannel de trabalho do software MINX com um bloco de dados carregados. Os contornos tracejados do polígono da pluma em azul e a indicação da orientação do vento em amarelo

Os resultados do MINX proporcionam recuperações de altura ao longo do comprimento pluma, o que permite a geração de perfis de dados (**Figura 3**) que auxiliam na interpretação de dispersão dinâmica da pluma e as influências externas que afetam sua dispersão. Ambos os perfis compartilham um eixo de distância definido em relação ao ponto inicial digitalizado. (a) Perfis de altura: alturas de vento zero em km são coloridas em vermelho, as alturas corrigidas pelo vento são azuis e as alturas do terreno são verdes. (b) Perfis de vento: a velocidade do vento em metros por segundo é representada pela cor verde claro e a velocidade do vento ao longo da faixa é magenta.

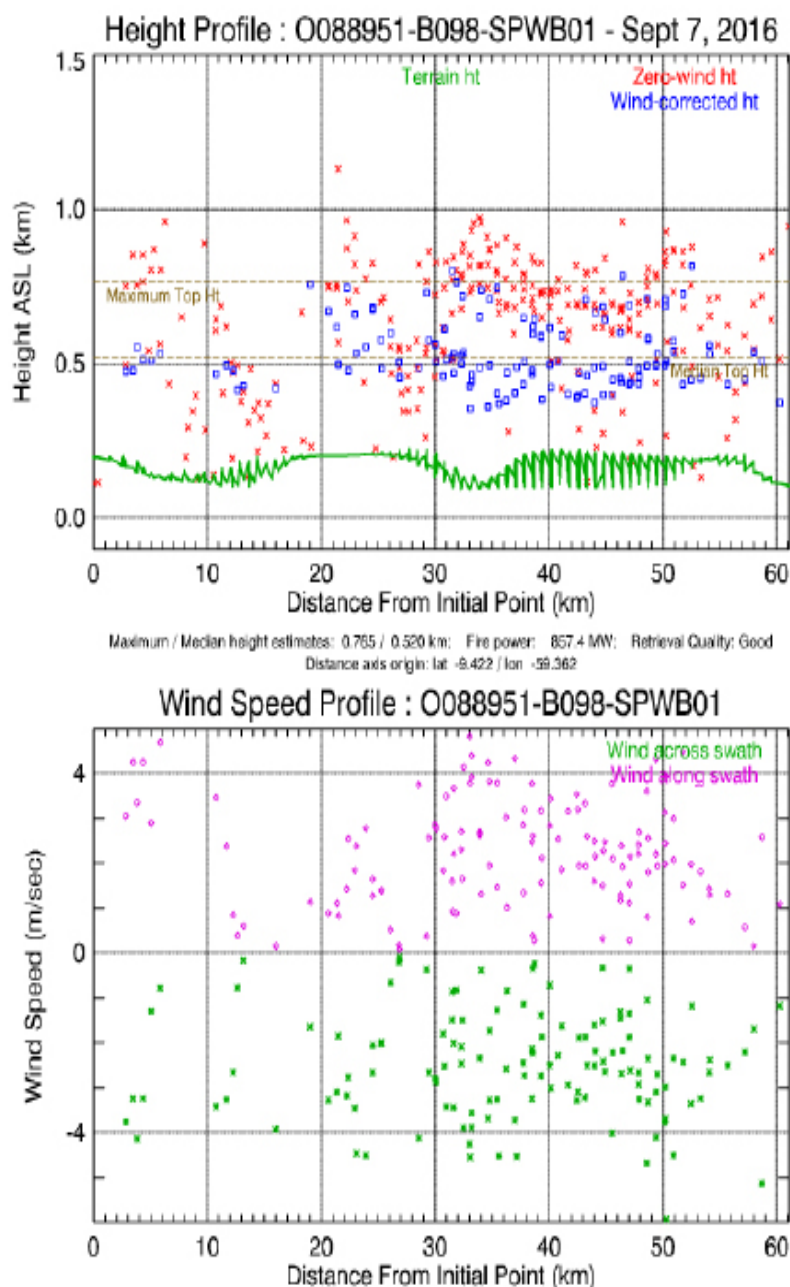


Figura 3: Perfis de dados produzidos no MINX para o polígono da pluma digitalizado na Figura 1

Ainda, o MINX incorpora recursos que permitem aos usuários personalizar suas recuperações em gráficos para obter ótimos resultados sob diferentes condições de aerossol e superfície subjacente e como resultado são obtidos dados contendo diversas informações onde, posteriormente, a partir de um programa originado em IDL/ENVI foram filtrados e selecionados, como a localização, a FRP e a altura de injeção de cada pluma.

Resultados e discussões

Durante o período analisado, compreendido entre os meses de julho a outubro de 2016, foram recuperadas 792 colunas de plumas para toda a América

do Sul com altura média de 962 m. A escala temporal escolhida para análise, entre o inverno e primavera (a partir do dia Juliano 183 até o dia 305), é justificada por conta da grande concentração de queimadas no continente (COUTINHO *et al.* 2002). Para espacializar a altura das plumas de queimadas no continente sul-americano, foram gerados mapas com a soma dos resultados obtidos pelas imagens do sensor MISR.

As **Figuras 4, 5, 6 e 7** apresentam as distribuições das alturas das plumas no continente para todo o período analisado. A espacialização é importante para localizar as áreas onde houveram recorrência de focos de queimadas. A variação do tamanho e das cores dos focos determina a altura em metros das plumas, e de acordo com a legenda, variam de 255 metros chegando a ultrapassar os 5000m acima do terreno em certas regiões.

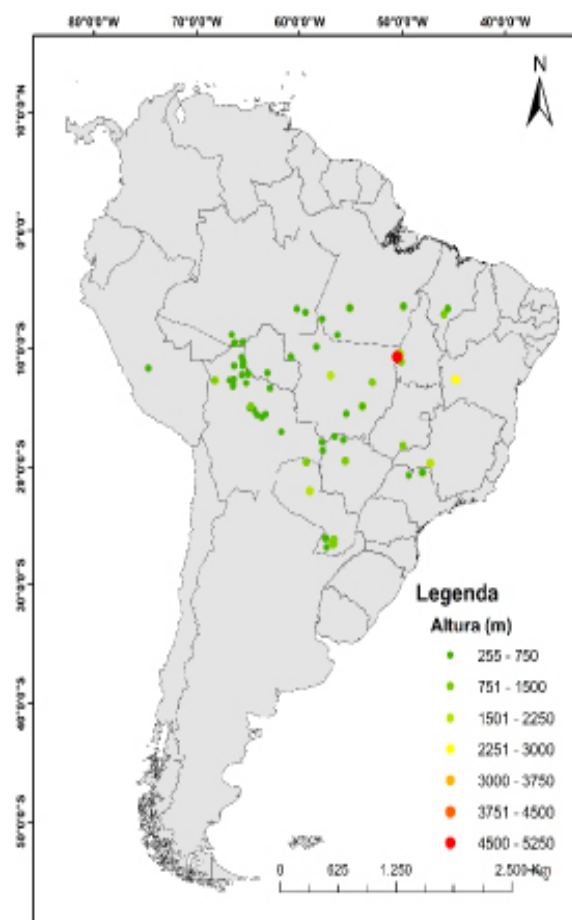


Figura 4: Distribuição espacial dos locais de emissões das plumas por região no mês de julho de 2016

Para julho foram recuperadas 109 colunas de plumas de fumaça, vistas em alturas distintas, desde a superfície até 5 km. As maiores incidências de emissão de plumas foram registradas na Bolívia. O recorde de altura de pluma registrada foi de 4705 metros para o mês, onde o foco ocorreu entre a divisa dos estados de Tocantins e Mato Grosso.

A **figura 5** mostra o mapa da altura das plumas de queimadas detectadas para o mês de agosto.

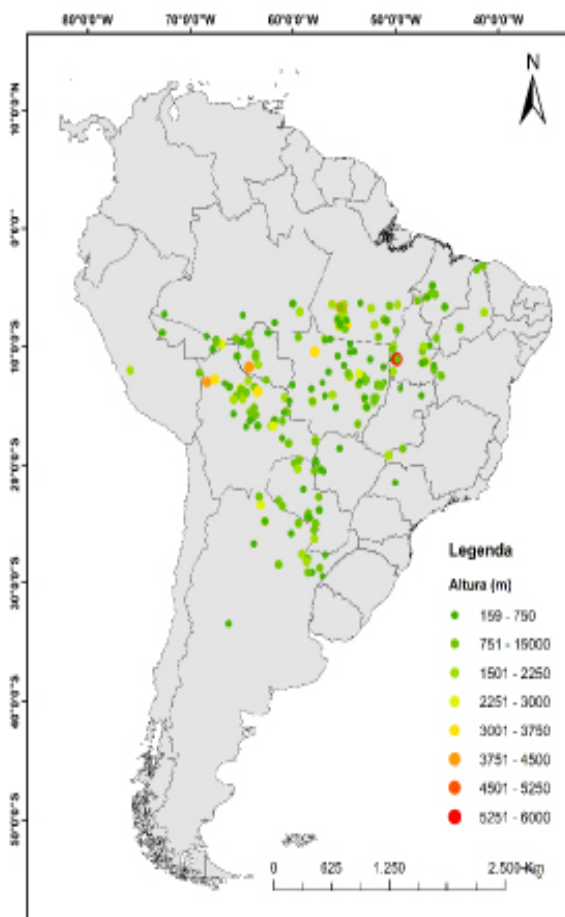


Figura 5: Distribuição espacial dos locais de emissões das plumas para agosto de 2016

Agosto foi o mês que registrou o maior número de focos, totalizando 371 alturas de plumas recuperadas, com os maiores focos ocorridos entre Rondônia, Mato Grosso e Bolívia. Ainda, foi o mês em que foram registadas as maiores alturas de plumas obtidas pelo sensor MISR, sendo observada uma pluma com altura de 5779 metros para a microrregião de Rio Formoso.

Em relação ao mês de setembro, foram recuperadas 220 colunas de plumas. Este mês registrou as maiores recorrências de alturas de plumas acima dos 5 mil metros, com maior incidência no estado do Mato Grosso.

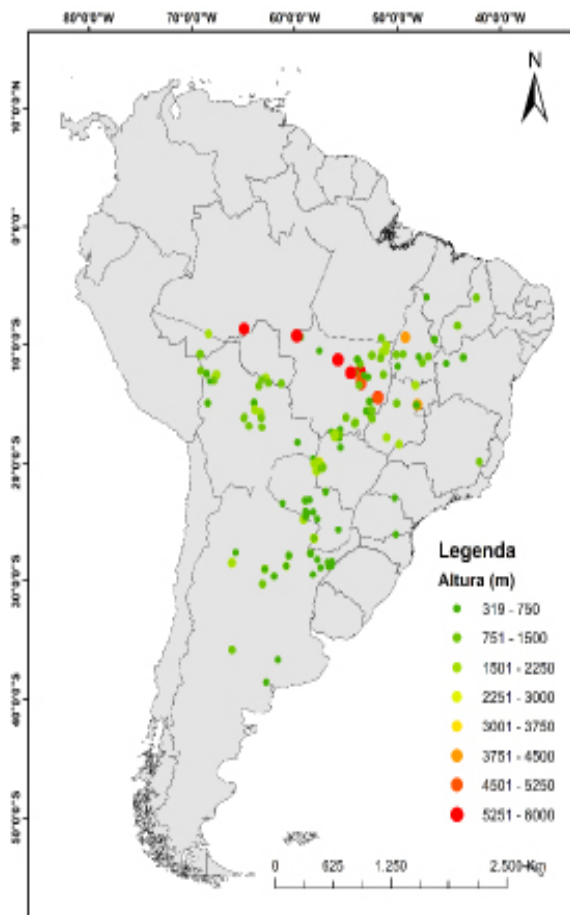


Figura 6: Distribuição espacial dos locais de emissões das plumas para setembro de 2016

O maior registro de coluna de pluma recuperado para o mês de outubro no continente foi de 4994 metros de altura, localizado no sul do Estado do Tocantins.

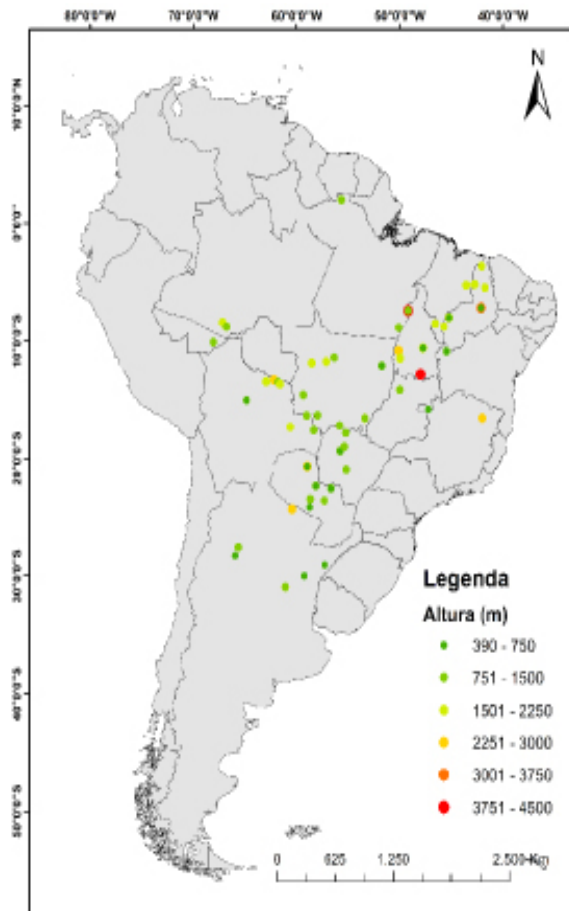


Figura 7: Distribuição espacial dos locais de emissões das plumas para outubro de 2016

Embora as espacializações dos focos tenham apresentado uma notória variação entre os meses da pesquisa, a região do leste e sul do Pará em direção oeste, Mato Grosso, Rondônia e Acre, apresentou incidência elevada no número de focos. Essa concentração dos focos justifica-se pela grande quantidade de queimadas que ocorrem associados com a expansão agropecuária nessa região (MARENGO et al., 2010; CARDOZO et al., 2014). Sendo assim, esses resultados permitem pontuar os eventos, observar a dinâmica das queimadas, estimar as consequências e possibilitam elaboração de estratégias emergenciais e mitigatórias.

Em suma, o Brasil foi o país que registrou o número mais expressivo de ocorrências, sendo a região Norte e Centro-Oeste brasileira as áreas mais ativas, onde as maiores médias de alturas ocorreram durante o mês de agosto (1056 m), enquanto que no centro-oeste do Brasil e na borda da região Amazônica ocorrem no mês de setembro (748,5 m). A fim de comparar a distribuição mensal das alturas das plumas foi construindo, no *software R*, o seguinte gráfico *boxplot*:

Distribuições das altitudes individuais das plumas de fumaça entre os meses de julho a outubro de 2016

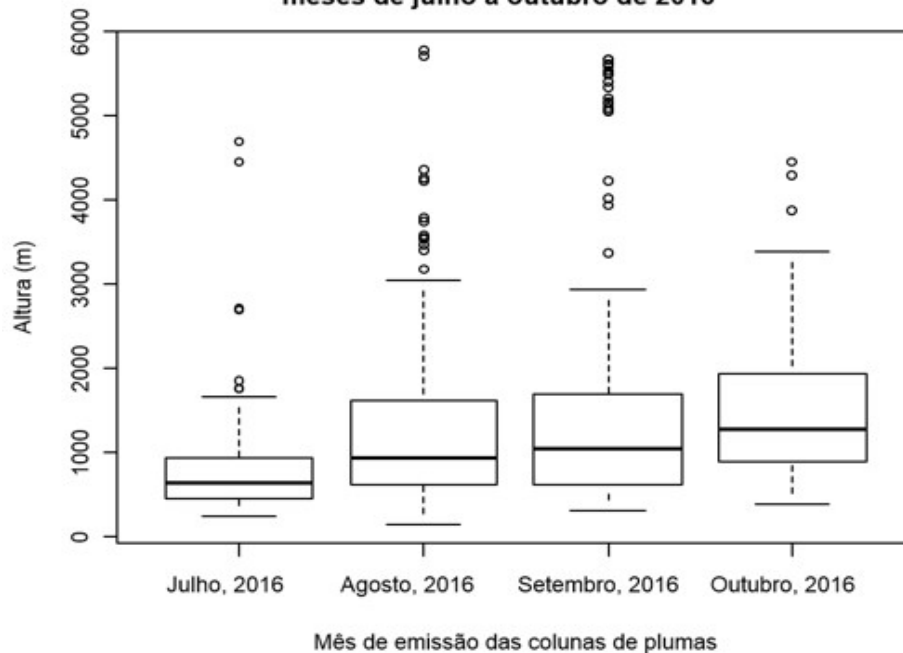


Figura 8: Distribuição da altura máxima acima do terreno das plumas de fumaça para o período analisado

Verifica-se que as alturas das plumas foram altamente variáveis em relação ao período analisado. Os maiores registros obtidos após a filtragem dos dados para cada mês foram: 4705 m para julho; 5779 m em agosto; 5205 m para setembro; e 4994 m para outubro. Analisando o número de ocorrências, os maiores registros de injeção de pluma na atmosfera aconteceram no mês de agosto (371), seguido de setembro (220), julho (109) e outubro (92) com o menor registro entre os meses analisados, período em que as queimadas começam a diminuir, principalmente na região Amazônica.

Considerações finais

O objetivo com esse trabalho foi de identificar o período e as principais áreas afetadas por entradas de plumas de aerossóis de queimada na atmosfera na América do Sul. Compreender a dinâmica da injeção de plumas é um aspecto importante para quantificar melhor o impacto climático dos aerossóis emitidos por fogo. Vários são os estudos que destacam a necessidade de melhorar nossa capacidade de quantificar o impacto das plumas nos orçamentos de radiação atmosférica e de superfície da região.

Ressalta-se que as geotecnologias têm sido imprescindíveis, uma vez que permitem a visualização e a distribuição de fenômenos, auxiliando na tomada de decisões. Assim, a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto tem se mostrado fundamental, na medida em que os bancos de dados gerados através do uso de satélites correspondem a uma importante fonte de informações sobre os diversos fenômenos que ocorrem na superfície terrestre.

Logo, esta capacidade de investigar a geometria e dinâmica da pluma

está se tornando cada vez mais importante para os estudos de clima e qualidade do ar, onde exigem maior conhecimento das injeções de aerossóis e a sua localização dentro da atmosfera.

Referências bibliográficas

ANDREAE, M. O.; ARTAXO, P.; FISCHER, H.; FREITAS, S. R. Transport of biomass burning smoke to the upper troposphere by deep convection in the equatorial region. *Geophysical Research Letters*, v.28, n.6, p.951-954, 2001.

ARANTES, A.E.; FERREIRA, L.G.; COE, M.T. The seasonal carbon and water balances of the Cerrado environment of Brazil: Past, present, and future influences of land cover and land use. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 117, p. 66-78, 2016. ISSN 0924-2716, <http://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.02.008>.

ARTAXO, P.; SETZER, A. Emissões de material particulado de queimadas na Floresta Amazônica e no Cerrado. *Subsidio Técnico ao Documento Básico do I Seminário sobre Incêndios Florestais e Queimadas*. Brasília: IBAMA, abril de 1992. 23p.

CARDOZO, F. S.; PEREIRA, G.; SHIMABUKURO, Y. E.; MORAES, E. C. Analysis and Assessment of the Spatial and Temporal Distribution of Burned Areas in the Amazon Forest. *Remote Sensing*, v. 6, p. 8002-8025, 2014.

COCHRANE, M. A. *Fire and fire ecology: Concepts and Principles*. In: *Tropical Fire Ecology, Climate Change, Land Use and Ecosystem Dynamics*, Springer: Chichester, UK, pp. 60-97, 2009.

COUTINHO, L.M. et al. O Bioma do Cerrado e o Fogo. *Revista do Instituto de Estudos Avançados da USP*, 50 pp., 2002.

FEARNSIDE, P. M.; RIGHI, C. A.; GRACA, P. M. L. A.; KEIZER, E. W. H.; CERRI, C. C.; NOGUEIRA, E. M.; BARBOÇA, 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*, n. 258, p. 1968-1978, 2009.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *State of the World's Forests*. Rome: 2007, 2007.

FREITAS, S. R. et al. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. *Estudos Avançados*, v. 19, n. 53, p. 167-185, 2005.

ICHOKU, C.; KAUFMAN, Y. J. A method to derive smoke emission rates from MODIS fire radiative energy measurements. *IEEE Trans. on Geosc. & Rem. Sens.*, v. 43, n. 11, p. 2636-2649, 2005.

KAUFMAN, Y.J.; REMER, L.; OTTMAR, R.; WARD, D.; RONG-R, L.; KLEIDMAN, R.; FRASER, R.; FLYNN, L.; MCDUGAL, D.; SHELTON, G. Relationship between remotely sensed fire intensity and rate of emission of smoke: SCAR-C experiment. In: Levine, J. (Ed.). *Global biomass burning*. Maryland: MIT Press, 1996. p. 685-696.

KIM, B.M.; SEO, J.; YOUNG KIM, J.; LEE, J.; KIM, Y. Transported vs. local contributions from secondary and biomass burning sources to PM_{2.5}. *Atmospheric Environment*, v. 144, p. 24-36, 2016. ISSN 1352-2310, <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.08.072>.

HERRERA, G.V. Mexican forest fires and their decadal variations. *Advances in Space Research*, v. 58 (10), p. 2104-2115, 2016. ISSN 0273-1177, <http://doi.org/10.1016/j.asr.2016.08.030>.

LAVOUE, D.; LIOUSSE, C.; CACHIER, H.; STOCKS, B.J.; GOLDAMMER, J.G. Modeling of carbonaceous particles emitted by boreal and temperate wildfires at northern latitudes. *J. Geophys. Res.*, v. 1035, p. 26871-26890, 2000.

MARENGO, J.A.; NOBRE, C.; SALAZAR, L.F. *Regional climate change scenarios in South America in the late XXI century: Projections and expected impacts*. *Nova Acta Leopold*, v. 112, p. 251-265, 2010.

- MAZZONI, D.; LOGAN, J.A.; DINER, D.; KAHN, R.; TONG, L.; LI, Q. A data-mining approach to associating MISR smoke plume heights with MODIS fire measurements. *Remote Sensing of Environment*, v. 107 (1-2), p. 138-148, 2007.
- OLIVEIRA, A. M. DE; MARIANO, G. L. Identificação De Entrada De Plumas Queimada E Principais Áreas Afetadas Na Região Sul Do Brasil. *Ciência e Natura*, v. 36, n. 2, p. 241-249, 2014.
- PAUGAM, R.; WOOSTER, M.; FREITAS, S. A review of approaches to estimate wildfire plume injection height within large-scale atmospheric chemical transport models. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 16 (2), p. 907-925, 2016. ISSN 1680-7316.
- PEREIRA, G.; FREITAS, S.R.; MORAES, E.C.; FERREIRA, N.J.; SHIMABUKURO, Y.E.; RAO, V.B.; LONGO, K.M. Estimating trace gas and aerosol emissions over South America: Relationship between fire radiative energy released and aerosol optical depth observations. *Atmospheric Environment*, v. 43, p. 6388-6397, 2009.
- PRINS, E.M.; MENZEL, W.P. Geostationary satellite detection of biomass burning in South America. *International Journal of Remote Sensing*, v. 13, n. 15, p. 2783-2799, 1992.
- PURNOMO, H.; SHANTIKO, B.; SITORUS, S.; GUNAWAN, H.; ACHDIAWAN, R.; KARTODIHARDJO, H.; DEWAYANI, A.A. Fire economy and actor network of forest and land fires in Indonesia. *Forest Policy and Economics*, v. 78, p. 21-31, 2017. ISSN 1389-9341, <http://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.01.001>.
- RANDERSON, J.T.; VAN DER WERF, G.R.; GIGLIO, L.; COLLATZ, G.J.; KASIBHATLA, P.S. Global Fire Emissions Database, Version 4, (GFEDv4). ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. <http://dx.doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1293>, 2015.
- ROBERTS, G.; WOOSTER, M. J.; PERRY, G. L. W.; DRAKE, N.; REBELO, L.-M.; DIPOTSO, F. Retrieval of biomass combustion rates and totals from fire radiative power observations: Application to southern Africa using geostationary SEVIRI imagery. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 110, n. D21, 2005.
- Val MARTIN, M.; LOGAN, J.A.; KAHN, R.A.; LEUNG, F.-Y.; NELSON, D.L.; DINER, D.J. Smoke injection heights from fires in North America: analysis of 5 years of satellite observations. *Atmos. Chem. Phys.*, v. 10, p. 1491-1510, 2010.
- VAN DER WERF, G. R.; RANDERSON, J. T.; GIGLIO, L.; COLLATZ, G. J.; KASIBHATLA, P. S.; ARELLANO JR., A. F. Interannual variability in global biomass burning emissions from 1997 to 2004. *Atmospheric Chemistry and Physics*, n. 6, p. 3423-3441, 2006.
- WOOSTER, M.J.; ROBERTS, G.; PERRY, G.; KAUFMAN, Y.J. Retrieval of biomass combustion rates and totals from fire radiative power observations: calibration relationships between biomass consumption and fire radiative energy release. *Journal of Geophysical Research*, v. 110, n. D21111, 2005.
- XU, W.; WOOSTER, M.; ROBERTS, G.; FREEBORN, P. New GOES imager algorithms for cloud and active fire detection and fire radiative power assessment across North, South and Central America. *Remote Sensing of Environment*, v. 114, n. 9, p. 1876-1895, 2010.