



ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS FOCOS DE QUEIMADA NO ESTADO DE MINAS GERAIS ENTRE 2009 E 2012

Guilherme Augusto Verola Mataveli¹
Michel Eustáquio Dantas Chaves²

¹mataveli@dsr.inpe.br
²micheldchaves@gmail.com

1657

¹Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, INPE
²Pós-graduação em Engenharia Agrícola, UFLA

Resumo: As queimadas atingem grande parte da superfície terrestre vegetada e são uma importante variável no clima local e regional, devido ao transporte das emissões de gases e aerossóis associadas a esse fenômeno, assim como uma importante fonte de mudanças no uso e cobertura da terra. Durante muito tempo, para se estudar as queimadas eram realizados experimentos e medições *in situ*, porém esse tipo de abordagem é limitado quando se considera um fenômeno tão dinâmico. Como alternativa para o estudo das queimadas surgiu o sensoriamento remoto, devido a sua possibilidade de aquisição de dados de forma global e sistêmica, estando atualmente disponíveis de forma gratuita produtos de fogo derivados de sensores orbitais, como o MODIS. Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo analisar a distribuição espacial dos focos de queimada derivados dos produtos de fogo MOD14 e MYD14 no Estado de Minas Gerais entre 2009 e 2012. Foi possível perceber as maiores concentrações de focos de queimada na região Norte do Estado e as menores concentrações no Sul e Leste de Minas Gerais, geralmente em áreas pertencentes ao bioma Mata Atlântica, com o menor número total de focos encontrado em 2009 e o maior total em 2010, sendo que a grande maioria dos focos em todos os anos estava associada ao bioma Cerrado.

Abstract: Fires reach most of vegetated land surface of the planet and are an important variable in local and regional climate, due to transport of emissions associated with this phenomenon, as well as an important source of land use and land cover changes. For a long time, fires study were performed using small scale combustion experiments and field measurements, however this approach is limited when considering such a dynamic phenomenon. As an alternative to the study fires, remote sensing emerged due to its ability to acquire data in a global and systematic way, being currently available for free fire products derived from orbital sensors, such as MODIS. In this direction, the present study aimed to analyze the spatial distribution of fires in Minas Gerais State between 2009 and 2012 using MOD14 and MYD14 fire products. It was possible to notice the highest concentrations of fires in the North of the State, and the lowest concentrations were found in South and East of Minas Gerais, usually in areas belonging to the Mata Atlântica biome; lowest total number of fires were found in 2009 and the highest total in 2010, with the great majority of fires associated with the Cerrado biome.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Queimadas; MODIS; Minas Gerais.

Keywords: Remote Sensing; Fires; MODIS; Minas Gerais.

EIXO 13 - Sensoriamento remoto e mudanças da paisagem

1. Introdução

As queimadas são um fenômeno recorrente em grande parte da superfície vegetada do planeta e possuem um importante papel no sistema terrestre, através da emissão de gases traços e aerossóis para a atmosfera, e contribuindo, assim, para o clima local e regional (KAISER et al., 2012) e por serem um importante agente modelador dos ecossistemas e fonte de mudanças no uso e cobertura da terra (ECKMAN et al., 2008; ICHOKU et al., 2008). Em uma escala global, cerca de 90% das queimadas são de origem antrópica, com os 10% restantes relacionados a acidentes ou causas naturais, como raios (ANDREAE e MERLET, 2001), e estima-se que entre 3547 e 3938 teragramas de biomassa seca são consumidas anualmente por queimadas antrópicas (LAUK e ERB, 2009).

Na região tropical, a atividade humana é a causa mais comum das queimadas, pois o fogo é utilizado principalmente na agropecuária com a finalidade de expansão da fronteira agropecuária, limpeza de áreas e rotação de culturas agrícolas, controle de pragas, remoção de vegetação seca e restos do cultivo e aumento e manutenção de pastagens (LAUK e ERB, 2009). No Brasil, a queima de biomassa também está relacionada principalmente às áreas de expansão agropecuária, como o arco do desmatamento (Bioma Amazônia) e a porção Leste do Nordeste (Bioma Cerrado), e áreas de manejo de pastagem para a criação de gado (PIROMAL et al., 2008). Além destas áreas de expansão agropecuária e manejo de pastagens, a queima da palhada da cana-de-açúcar para a colheita desta cultura na Região Centro-Sul contribui ativamente para a queima de biomassa em escala nacional (FRANÇA et al., 2012), também merecendo destaque a queimada pré-colheita na Região Nordeste.

Os estudos relacionados às queimadas foram realizados durante muitas décadas a partir de experimentos e medições *in situ*, porém a cobertura espacial e temporal desse tipo de abordagem é limitada devido ao dinamismo desse fenômeno (ANDREAE e MERLET, 2001). Nos últimos anos, com o avanço do sensoriamento remoto orbital, as dificuldades impostas por essas limitações diminuíram, possibilitando a aquisição de informações em nível global de forma sistemática (ICHOKU et al., 2012), tornando os dados provenientes de sensores orbitais a principal fonte de dados para estudar as queimadas (ICHOKU et al., 2008; HANTSON et al., 2013).

2. Objetivo

Dentro do contexto apresentado anteriormente, este estudo tem por objetivo avaliar a distribuição espacial dos focos de queimada detectados pelos produtos de fogo derivados do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) no Estado de Minas Gerais entre 2009 e 2012.

3. Área de Estudo

A área escolhida para o estudo foi o Estado de Minas Gerais (**Figura 1**), um dos quatro Estados integrantes da região Sudeste do Brasil, com destacado papel econômico e político no cenário nacional (IBGE, 2014).

1659

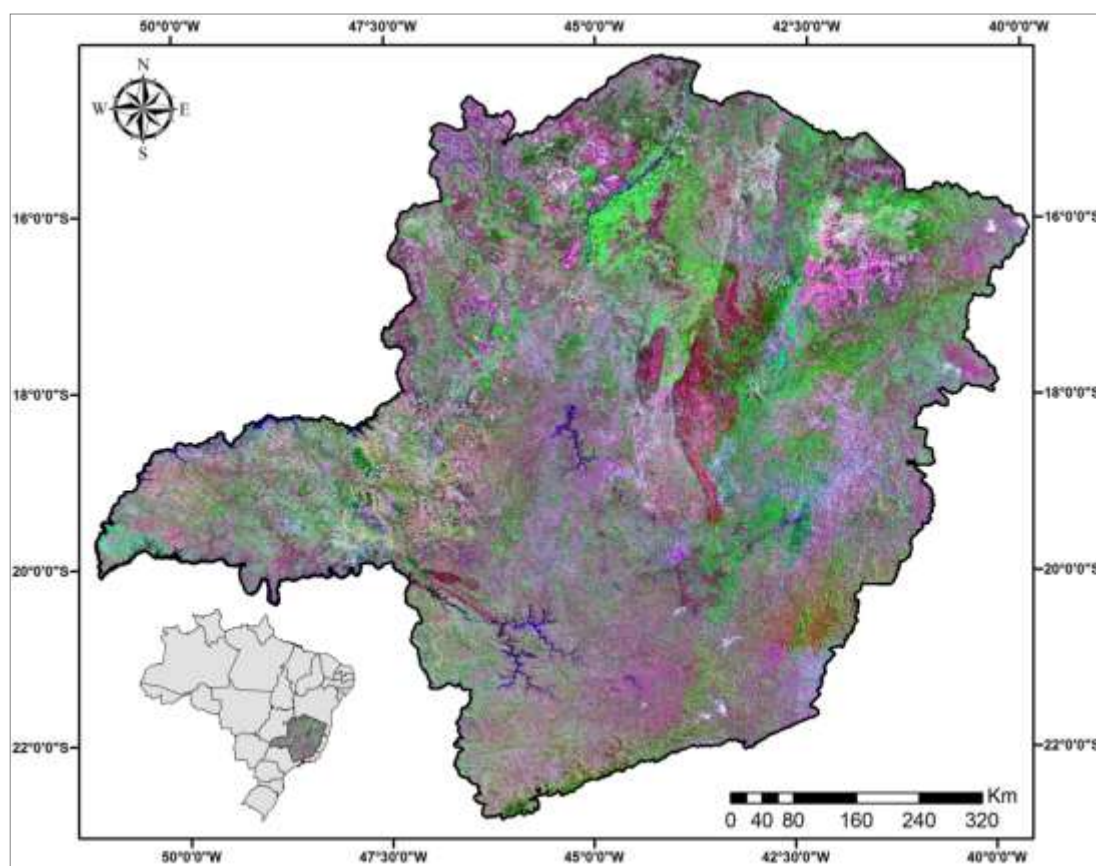


Figura 1. Localização da área de estudo, o Estado de Minas Gerais. Mosaico de imagens *Thematic Mapper* (TM)/Landsat-5, composição colorida R5G4B3.

A escolha da área de estudo justifica-se pela grande incidência de focos de queimada em Minas Gerais (INPE, 2014), bem como pela relevância ecológica da região, que abrange três dos principais biomas brasileiros: Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica (IBGE, 2014) (**Figura 2**) e contempla diversas Unidades de Conservação (UCs).

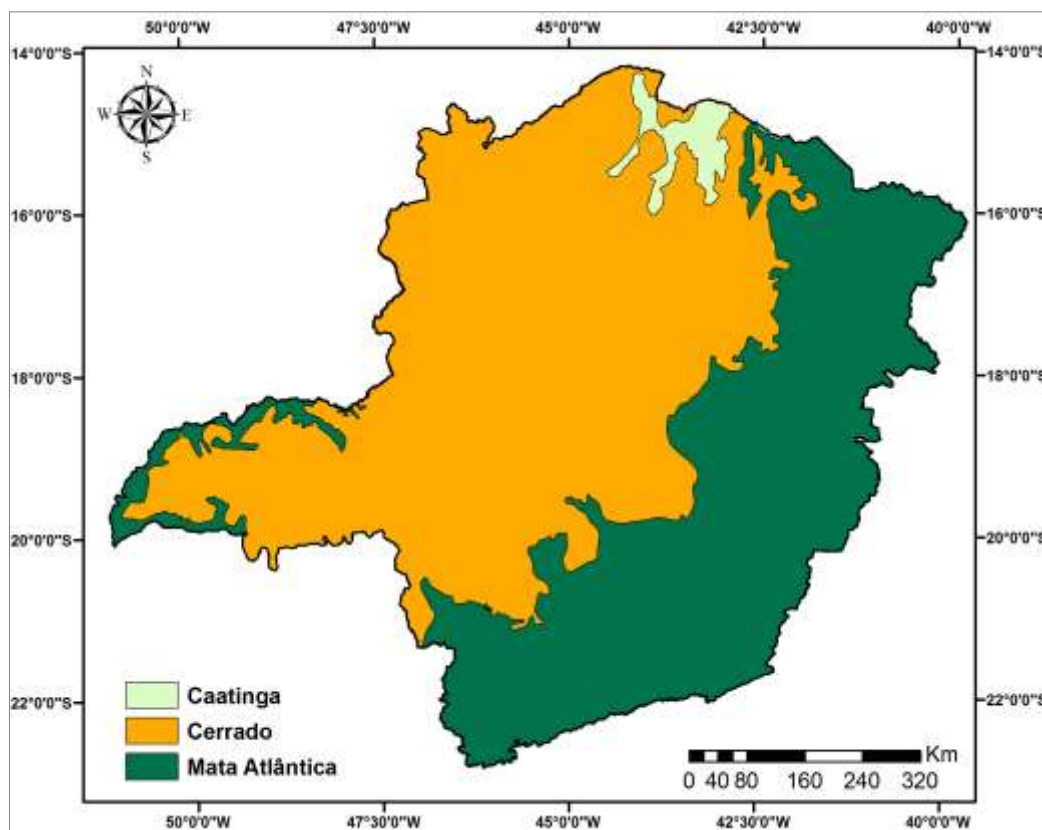


Figura 2. Distribuição dos biomas presentes no Estado de Minas Gerais. Fonte: IBGE (2014).

4. Materiais e Métodos

4.1 MODIS/Terra e Aqua

Atualmente, estão disponíveis de forma gratuita produtos de fogo derivados de sensores como o MODIS, que trazem, entre outras estimativas, a localização espacial dos focos de queimada detectados. O sensor MODIS está a bordo dos satélites Terra e Aqua, de órbita polar a uma altitude de 700 km, e possui uma resolução radiométrica de 12 bits, operando em 36 canais espectrais em comprimentos de onda que variam de 0,4µm a 14,4µm com uma resolução espacial de 250 metros, 500 metros ou 1000 metros dependendo do produto em questão e resolução temporal de 1 a 2 dias. Esse sensor foi configurado para fornecer dados sobre a dinâmica da biosfera terrestre visando a compreensão dos processos que ocorrem na superfície da terra, nos oceanos e na atmosfera inferior, causadas por atividades antrópicas ou pela própria natureza (JUSTICE et al., 2002).

O horário de passagem do MODIS sobre um ponto da superfície terrestre varia de acordo com a plataforma: enquanto a plataforma Terra (produtos designados com a

sigla MOD) cruza o Equador em sua órbita descendente às 10h30min e 22h30min, a plataforma Aqua, (produtos designados com a sigla MYD), em sua órbita ascendente, cruza o Equador às 13h30min e 01h30min, possibilitando, desta forma, 4 imageamentos diários de um ponto da superfície terrestre (GIGLIO, 2005).

Os produtos de fogo do MODIS (MOD14 e MYD14), disponibilizados pelo banco de dados *Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System* (LAADS Web), fornecem a localização de focos de queimada e outras variáveis, como a potência radiativa do fogo (FRP) baseando-se na emissão dos alvos nos comprimentos de onda centrados em 4 μ m e 11 μ m a uma resolução espacial nominal de 1 km (ICHOKU et al., 2012), sendo que seu algoritmo de detecção utiliza uma árvore de decisão baseado nestas duas faixas espectrais e gera interpretações com vários níveis de confiança, de acordo com os ângulos de incidência da fonte e de observação do sensor (PIROMAL et al., 2008).

4.2 Metodologia

As etapas aplicadas durante a metodologia são apresentadas na **Figura 3**. Para o MOD14 e o MYD14, realiza-se um pré-processamento que consiste na conversão do seu formato original *Hierarchical Data Format* versão 4 (HDF4) no formato padrão *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII), sendo que os arquivos resultantes da conversão contêm as mesmas variáveis dos produtos originais. Para essa conversão, é necessária a aplicação de programas em *Interactive Data Language* (IDL) no do *software* ENVI 4.8 (RSI, 2008).

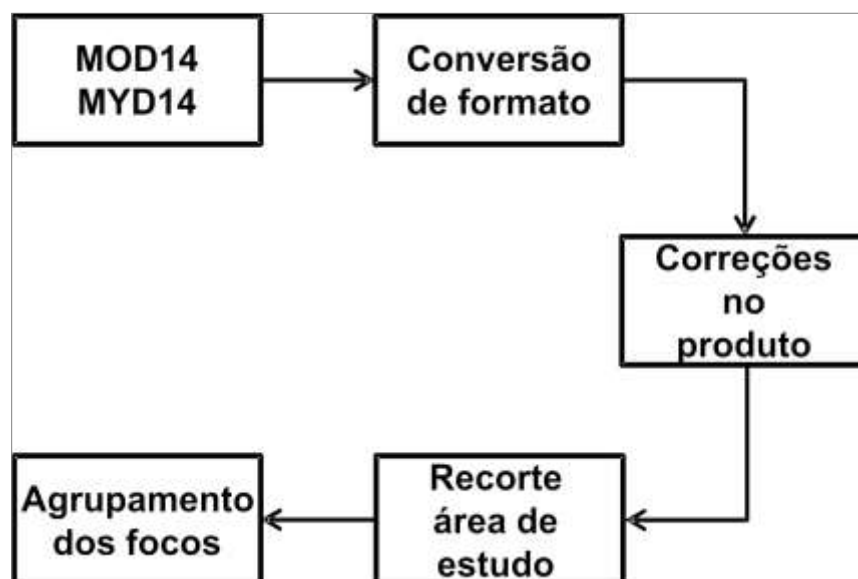


Figura 3. Fluxograma da metodologia aplicada durante o estudo.

Ainda, são feitas algumas correções a fim de se obter melhores estimativas no resultado final. Em um primeiro momento, os *pixels* detectados com queimada e com baixa confiabilidade (menor que 30%) são eliminados, já que existem incertezas em relação à real existência de focos de queimada nesses *pixels* (JESUS et al., 2011).

Considerando as características geométricas do MODIS, que pode operar com um ângulo de imageamento de até $\pm 55^\circ$, tem-se o efeito *bow-tie*, que consiste na sobreposição da área que formará um determinado *pixel* devido ao aumento do ângulo de visada, com a principal influência do efeito *bow-tie* a repetição de um mesmo foco em *pixels* adjacentes (PEREIRA, 2013). Em *pixels* mais afastados do nadir (bordas da imagem, com ângulo de visada maior que 40°) um foco de queimada detectado pode ser representado por dois ou até mesmo três *pixels* adjacentes (FREEBORN et al., 2011). O efeito *bow-tie* foi corrigido a partir da metodologia proposta por Kaiser et al. (2012), em que o MOD14 e o MYD14 são ponderados a partir do ângulo de visada no momento da aquisição dos dados.

Ao final dos processamentos descritos acima, foi gerado um arquivo em formato ASCII contendo a latitude e longitude dos focos de queimada detectados pelo MODIS para cada um dos arquivos processados.

Como o MOD14 e o MYD14 são produtos globais, foi realizado, em sequência, o recorte dos focos de queimada para a área de estudo, a fim de determinar somente os focos de queimada ocorridos no Estado de Minas Gerais entre 2009 e 2012. Por fim, os focos de queimada foram agrupados em uma grade regular de 20 km para cada ano analisado como uma forma de melhor representar sua distribuição ao longo da área de estudo.

5. Resultados

A **Figura 4** apresenta a distribuição espacial dos focos de queimada detectados pelo sensor MODIS no Estado de Minas Gerais entre 2009 e 2012. Em cada ano, os focos de queimada foram agrupados em uma grade regular de 20 km e divididos em 7 classes de acordo com a análise dos histogramas, com a última classe variando de 54 focos até o número máximo de focos encontrado em um ponto da grade regular para cada ano. O número máximo de focos detectado anualmente para um ponto da grade regular foi 130, 161, 90 e 183 de 2009 a 2012, respectivamente.

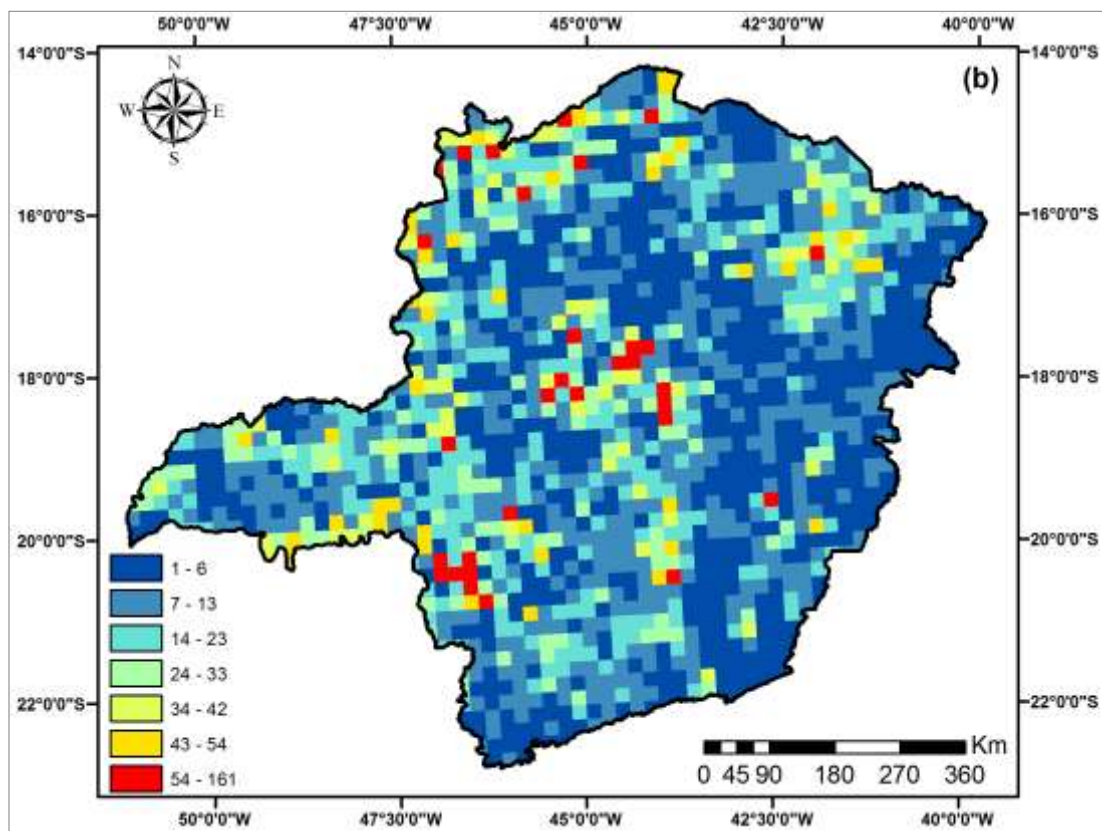
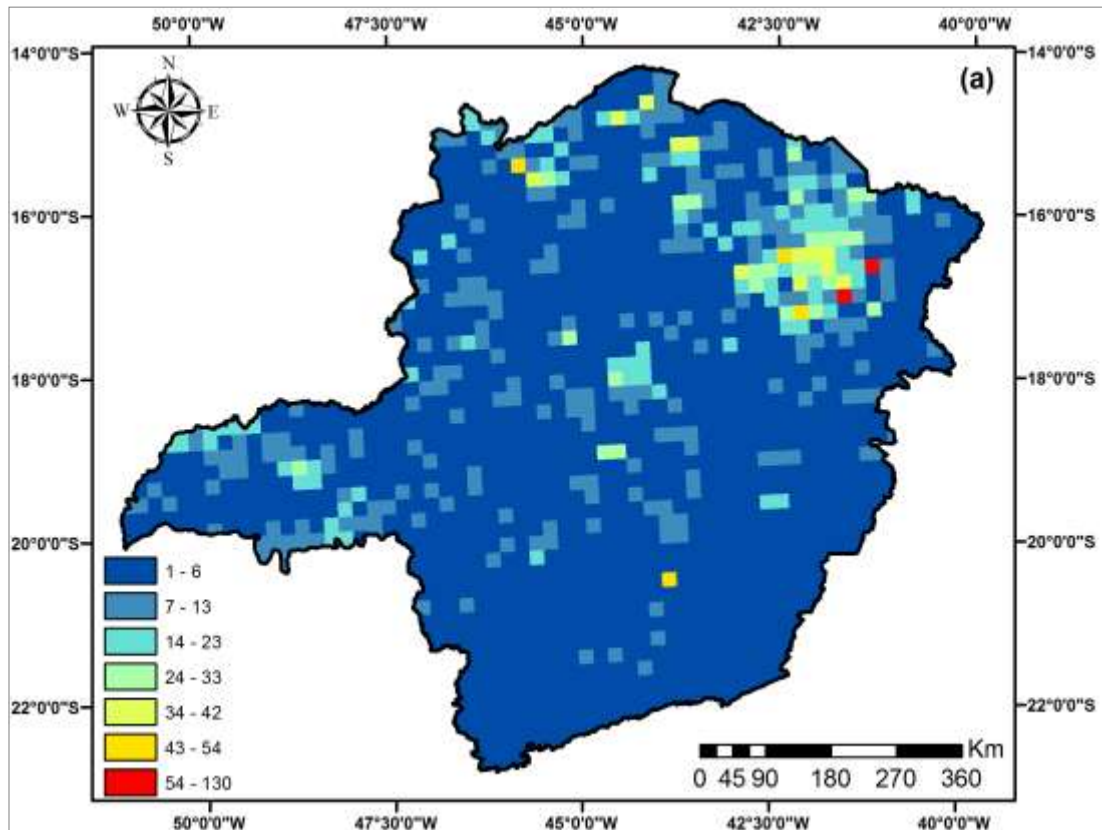


Figura 4. Focos de queimada detectados pelo sensor MODIS no Estado de Minas Gerais nos anos de 2009 (a), 2010 (b), 2011 (c) e 2012 (d). (Continua)

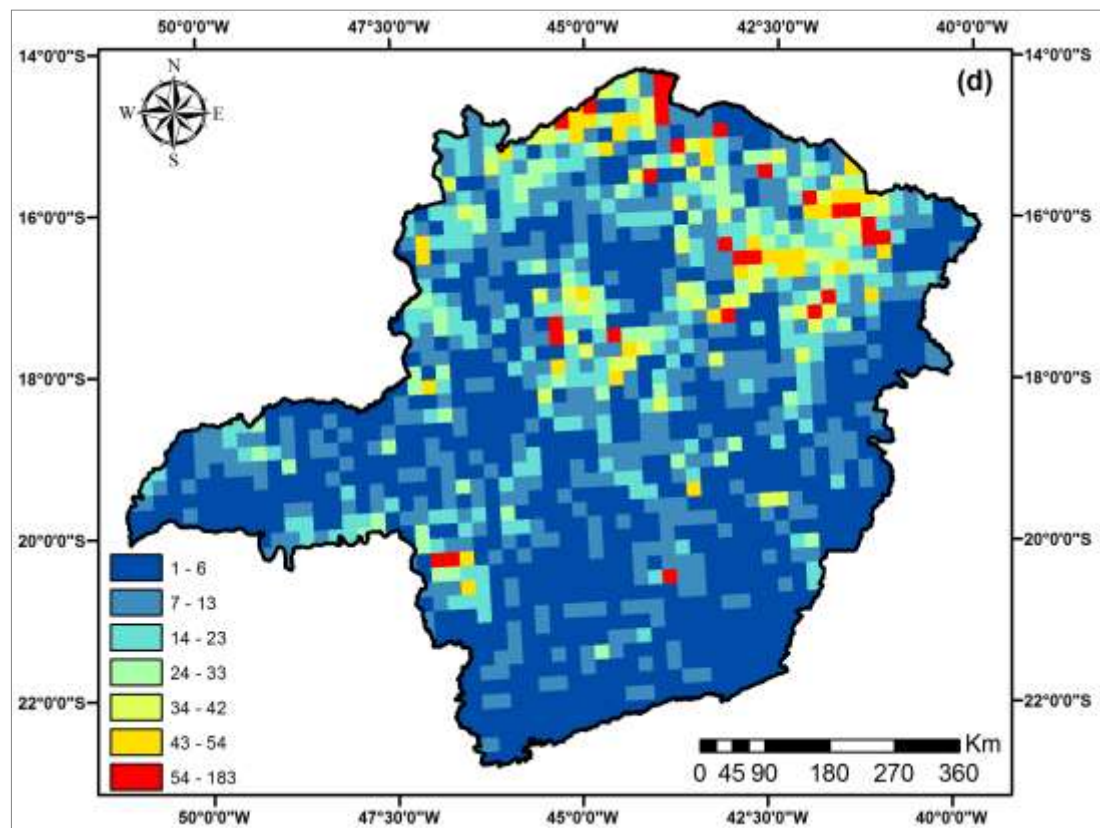
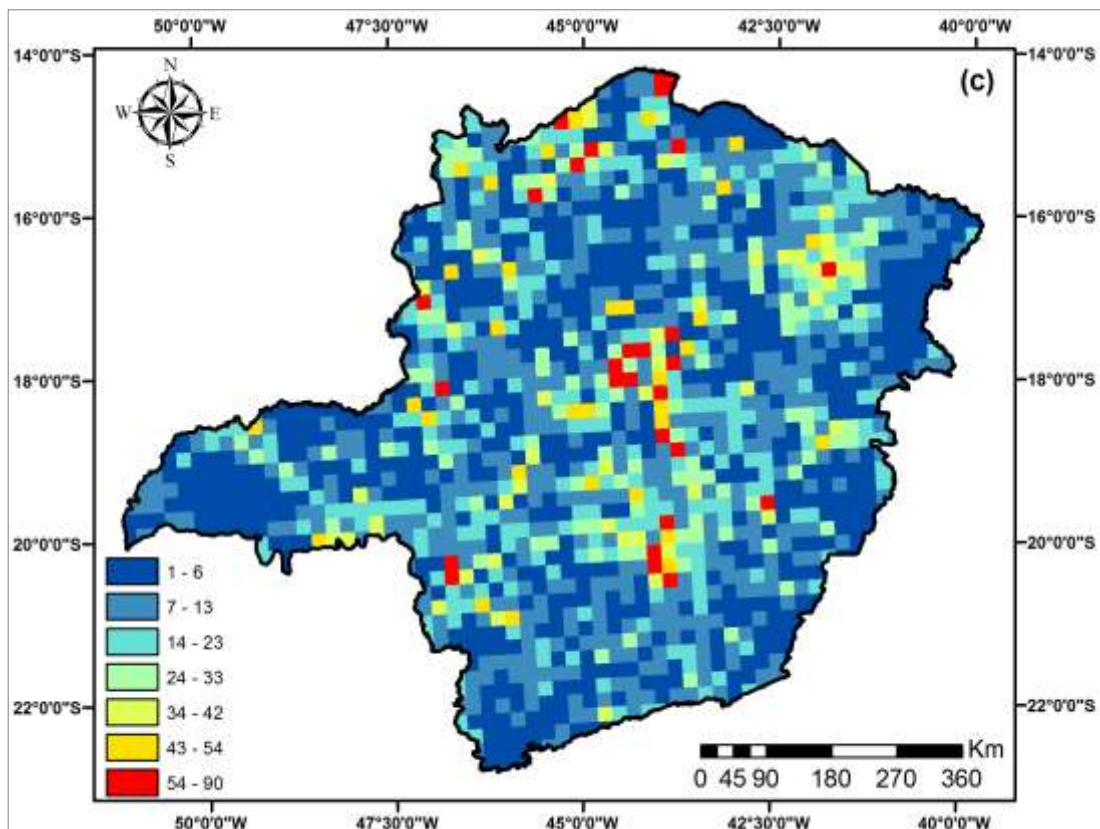


Figura 4. Conclusão.

Analisando a **Figura 4**, é possível notar um padrão na distribuição espacial dos focos de queimada, com o maior número de focos concentrado na região Norte do Estado de Minas Gerais. Essa área de maior concentração de focos está localizada em uma transição de biomas, com predomínio do Cerrado e suas variações e apresenta várias UCs (PEREIRA et al., 2013). Ainda, merecem destaque em relação à maior concentração de focos de queimada a região Central do Estado e o Triângulo Mineiro, uma importante área de expansão da fronteira agropecuária sobre o Cerrado. Já às menores concentrações foram identificadas nas regiões Sul e Leste de Minas Gerais, geralmente em áreas pertencentes ao bioma Mata Atlântica.

Nota-se um menor número de focos de queimadas para o ano de 2009 em relação aos demais (7.019 focos), como se percebe com mais detalhes na **Figura 5**. Esse fato está relacionado à precipitação mais elevada em 2009 (INPE, 2014), que diminui a incidência de queimadas. Em 2010, foi detectado o maior número de focos de queimada, com um total de 21.386 focos, o que também se deve às condições climáticas, já que 2010 foi um ano de seca em Minas Gerais e em toda a região Sudeste. A seca torna a vegetação mais vulnerável ao fogo, devido a fatores como baixa umidade e ausência de chuvas (COUTINHO, 1990).

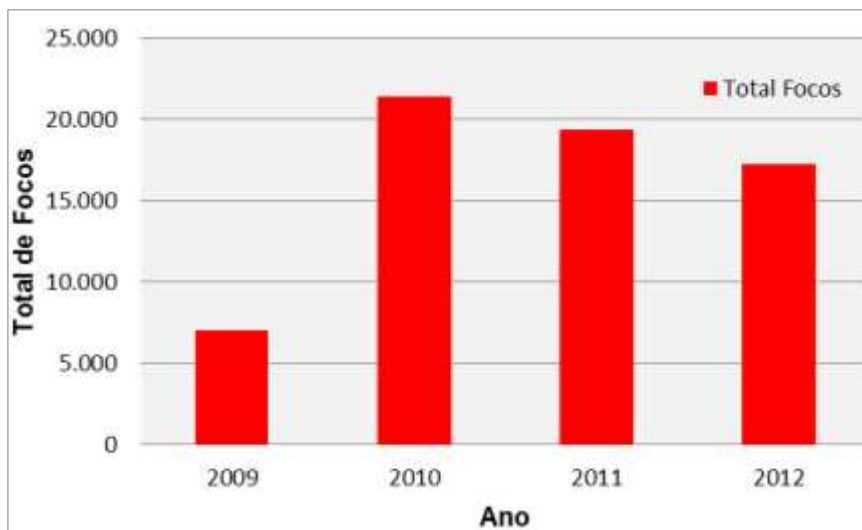


Figura 5. Total anual de focos de queimada detectados pelo sensor MODIS em Minas Gerais entre 2009 e 2012.

Também, nota-se uma diminuição dos focos a partir de 2010, o que pode ser um reflexo das pressões governamentais e populares sobre o fim das queimadas devido aos seus impactos sobre o solo, como o aumento a susceptibilidade à erosão (SANTOS et al., 1992); sobre o clima e a atmosfera, uma vez que os gases traços e os aerossóis liberados pela queima de biomassa interagem com a radiação

eletromagnética e ocasionam a absorção e espalhamento da mesma provocando alterações significativas no balanço de radiação e nos fluxos de calor latente e sensível (KAUFMAN et al., 1990); e sobre a saúde, principalmente com o aumento da incidência de casos de doenças respiratórias, como a asma (RIBEIRO, 2008).

Contudo, deve-se considerar que não se detecta todas as queimadas que acontecem, seja com o uso de sensor MODIS ou qualquer outro sensor orbital, devido a fatores como o horário divergente entre a queimada e a passagem do satélite, a presença de nuvens no momento do imageamento, a ocorrência de queimadas de pequeno porte que não são detectáveis e, muitas vezes, a fumaça densa originada das próprias queimadas, impedindo a identificação dos focos sobre elas (FRANÇA, 2004). Com isso, uma alternativa interessante para detectar o maior número de focos de queimada possível é combinar o uso de sensores em órbita polar, como o MODIS, com sensores em órbita geoestacionária, como o *Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager* (SEVIRI), que tem por característica uma menor resolução temporal e, assim, mais passagens sobre um mesmo ponto da superfície ao longo de um dia.

Para os biomas do Estado de Minas Gerais, em todos os anos foi encontrado o maior número de focos de queimada no Cerrado (**Figura 6**), com os menores valores associados à Caatinga, devido a sua menor área em relação aos demais biomas.

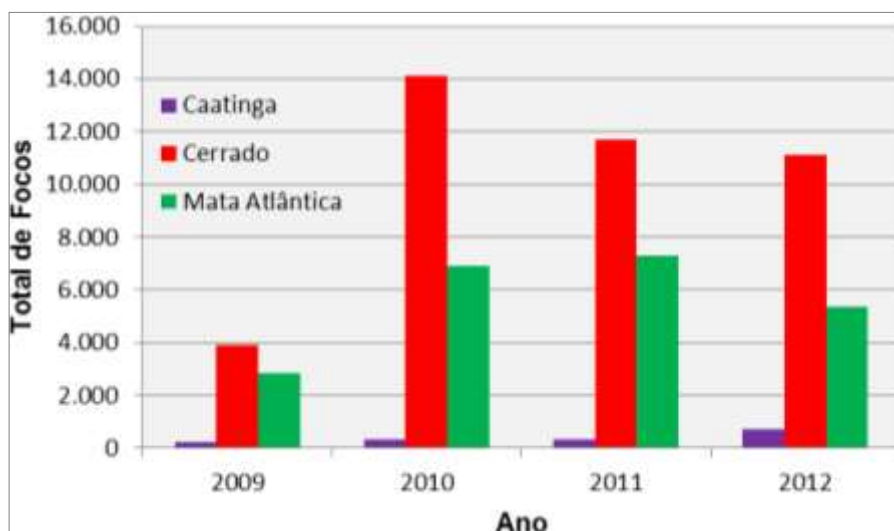


Figura 6. Total anual de focos de queimada detectados pelo sensor MODIS para os biomas de Minas Gerais entre 2009 e 2012.

Em áreas de floresta densa, como a Mata Atlântica, as características da vegetação e do ecossistema, como árvores de grande porte e clima úmido, dificultam o início e a propagação das queimadas quando comparado a áreas de vegetação rasteira e mais seca, como o Cerrado, pois a queimada varia muito em termos de

tamanho, intensidade, processo de ignição, taxa de propagação, duração, sazonalidade, recorrência e características de emissão de acordo com o tipo de ecossistema, localização, clima predominante e as características do combustível (ICHOKU et al., 2012).

6. Conclusões

De uma maneira geral, foi possível compreender a distribuição espacial dos focos de queimada no Estado de Minas Gerais por meio dos produtos de fogos do MODIS, porém devem-se considerar as limitações presentes nos produtos de fogo quanto à detecção dos focos de queimada. Novas metodologias aplicadas ao monitoramento de queimadas podem ser desenvolvidas integrando-se dados de sensores a bordo de satélites de órbita geoestacionária (maior repetitividade) com dados sensores a bordo de satélites de órbita polar (resolução espacial mais fina), o que parece ser o caminho mais correto para detecção de focos de queimada. As vantagens de cada tipo de sistema sensor devem ser aproveitadas, criando-se um sistema de monitoramento de focos de queimada mais preciso.

Ainda, detectou-se o maior número de focos de queimada no bioma Cerrado em todos os anos analisados, como era esperado. Porém, para estudos mais profundos é necessário determinar o uso e cobertura da terra na área de ocorrência dos focos de queimada a fim de se obter mais informações relacionadas aos focos e entender esse fenômeno por completo.

Por fim, espera-se no futuro empregar os produtos MOD14 e MYD14 para estimar as emissões de gases do efeito estufa associadas aos focos de queimada detectados no Estado de Minas Gerais.

7. Referências Bibliográficas

- ANDREAE, M. O.; MERLET, P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning, **Global Biogeochemical Cycles**, n. 15, v.4, p. 955-966, 10.1029/2000GB001382, 2001.
- COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: Goldammer, J.G. (Ed.) **Fire in the tropical biota**. New York: Springer-Verlag, 1990. Cap. 6, p. 82-105.
- ECKMAN, T. C.; ROBERTS, D. A.; STILL, C. J. Using multiple endmember spectral mixture analysis to retrieve subpixel fire properties from MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v.112, n.10, p. 3773-3783, 2008.
- FRANÇA, H. Identificação e mapeamento de cicatrizes de queimadas com imagens AVHRR/NOAA. In: FERREIRA, N. J. (coord.). **Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. p. 57-78.
- FRANÇA, D. A.; LONGO, K. M.; NETO, T. G. S.; SANTOS, J. C.; FREITAS, S. R.; RUDORFF, B. F. T.; CORTEZ, E. V.; ANSELMO, E.; CARVALHO JUNIOR, J. A. Pre-harvest sugarcane

burning: determination of emission factors through laboratory measurements. **Atmosphere**, v. 3, n. 1, p. 164-180, 2012.

FREEBORN, P. H.; WOOSTER, M. J.; ROBERTS, G. Addressing the spatiotemporal sampling design of MODIS to provide estimates of the fire radiative energy emitted from Africa. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, p. 475–498, 2011.

GIGLIO, L. **MODIS collection 4 active fire product user's guide**. Version 2.2, 2005. Disponível em: <maps.geog.umd.edu/products/MODIS_Fire_Users_Guide_2.2.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2014.

HANTSON, S.; PADILLA, M.; CORTI, D.; CHUVIECO, E. Strengths and weaknesses of MODIS hotspots to characterize global fire occurrence. **Remote Sensing of Environment**, v.131, n.1, p. 152-159, 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geociências: Mapas Temáticos**. Disponível em: <http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>. Acesso em: 03 mar. 2014.

ICHOKU, C.; GIGLIO, L.; WOOSTER, M.; REMER, L. Global characterization of biomass-burning patterns using satellite measurements of fire radiative energy. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 6, p. 2950-2962, 2008.

ICHOKU, C.; KAHN, R.; CHIN, M. Satellite contributions to the quantitative characterization of biomass burning for climate modeling. **Atmospheric Research**, v.111, p. 1-28, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE).. **BD Queimadas - Banco de queimadas**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas>>. Acesso em: 22 mar. 2014.

JESUS, S. C.; SETZER, A. W.; MORELLI, F. Validação de focos de queimadas no Cerrado em imagens TM/Landsat-5. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Curitiba, PR, 2011. **Anais...**, São José dos Campos: Inpe, 2009. 8 p.

JUSTICE, C. O.; GIGLIO, L.; KORONTZI, S.; OWENS, J.; MORISETTE, J. T.; ROY, D. The MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 2, p. 244–262, 2002.

KAISER, J. W.; HEIL, A.; ANDREAE, M. O.; BENEDETTI, A.; CHUBAROVA, N.; JONES, L.; MORCRETTE, J. J.; RAZINGER, M.; SCHULTZ, M. G.; SUTTIE, M.; VAN DER WERF, G. R. Biomass burning emissions estimated with a global fire assimilation system based on observed fire radiative power. **Biogeosciences**, v.9, n.1, p. 527-554, 2012.

KAUFMAN, Y. J.; TUCKER, C. J.; FUNG, I. Remote Sensing of Biomass Burning in the Tropics. **Journal of Geophysical Research**, v. 95, n. D7, p. 9927-9939, 1990.

LAUK, C.; ERB, K. H. Biomass consumed in anthropogenic vegetation fires: Global patterns and processes. **Ecological Economics**, v.69, n.2, p. 301-309, 2009.

PEREIRA, G. **Estimativa e assimilação das emissões de gases traços e aerossóis de queimadas em modelos de química atmosférica**. 2013. 124p. (sid.inpe.br/mctm19/2013/11.25.18.36-TDI).Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2013. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3F9T392>>. Acesso em: 09 jan. 2014.

PEREIRA, A. A.; BARROS, D. A.; JUNIOR, F.W. A.; PEREIRA, J. A. A.; REIS, A. A. Análise da distribuição espacial de áreas queimadas através da função K de Ripley. **Scientia Forestalis**, v. 41. n. 100, p. 445-455, 2013.

PIROMAL, R. A. S.; RIVEIRA-LOMBARDI, R. J.; SHIMABURURO, Y.E.; FORMAGGIO, A. R.; KRUG, T. Utilização de dados MODIS para a detecção de queimadas na Amazônia. **Acta Amazonica**, v.38, n.1, p. 77-84, 2008.

RIBEIRO, H. Queimadas de cana-de-açúcar no Brasil: efeitos à saúde respiratória. **Revista Saúde Pública**, v. 42, n. 2. p. 370-376, 2008.

RSI. Environment for Visualizing Images - ENVI. ver. 4.8. Boulder, CO, USA: ITT Industries. 2008.

SANTOS, D.; BAHIA, V. G.; TEIXEIRA, W. G. Queimadas e erosão do solo. *Revista Informe Agropecuário*, v. 16, n. 176, p. 72-88, 1992.