

ANÁLISE DA FREQUÊNCIA DA INCIDÊNCIA DE QUEIMADAS NA AMÉRICA DO SUL PARA O PERÍODO DE 2000 A 2012

ANALYSIS OF FIRES INCIDENCE IN SOUTH AMERICA FOR THE PERIOD BETWEEN 2000 AND 2012

Paula Resende Santos

Universidade Federal de São João del Rei - UFSJ - Departamento de Geociências - DEGEO
paularesendesantos@gmail.com

Ana Cláudia de Mello Silvério

Universidade Federal de São João del Rei - UFSJ - Departamento de Geociências - DEGEO
kadiaa@hotmail.com

Gabriel Pereira

Universidade Federal de São João del Rei - UFSJ - Departamento de Geociências - DEGEO
pereira@ufs.edu.br

Leonardo Cristian Rocha

Universidade Federal de São João del Rei - UFSJ - Departamento de Geociências - DEGEO
rochageo@ufs.edu.br

Francielle da Silva Cardozo

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE - Divisão de Sensoriamento Remoto - DSR
cardozo@dss.inpe.br

Resumo

A queimada é um problema comum no globo, uma vez que atualmente esta atividade é utilizada para a expansão agrícola e conversão de usos do solo. O continente Sul Americano contribui significativamente para o total de focos detectados no mundo, principalmente pela falta de políticas públicas para o controle e prevenção de incêndios e pela estação seca bem definida no interior da bacia amazônica. Neste contexto, o uso de ferramentas de processamento digital de imagens (PDI) constitui um método eficaz e barato para quantificar e analisar a distribuição espacial

dos focos, principalmente em escala continental. Desta forma, este trabalho tem como objetivo principal analisar a incidência de áreas queimadas na América do Sul no período compreendido entre 2000 e 2012, assim como, relacionar ao total de focos detectado no Globo e na América do Sul. Os resultados indicam que, no período estudado, a América do Sul corresponde por aproximadamente 16% dos focos ocorridos em todo o Globo, sendo que o maior número de incêndios na América do sul foi identificado no ano de 2007, influenciado principalmente pela pluviosidade atípica da Amazônia (anomalia negativa). Notou-se que a maior incidência dos focos é recorrente à região central do Continente, sendo a floresta tropical e o cerrado Brasileiro as áreas mais atingidas pelos incêndios na América do Sul.

Palavras-chave: Queimadas, MODIS, Sensoriamento Remoto.

Abstract

Biomass Burning is a common problem in the globe, since this activity is currently used for agricultural expansion and land use conversion. The South American continent contributes significantly to the total number of fires detected in the world, mainly by the lack of public policies for the control and prevention of these phenomena and by well-defined precipitation pattern in the Amazon Basin. In this context, the use of digital image processing (DIP) tools is an effective and low-cost method to quantify and analyze the spatial distribution of fires, especially in continental domain. Thus, this study aims to analyze the incidence of fires in South America in the period between 2000 and 2012, as well as to relate with the total fires detected in the Globe and South America. The first results indicate that, for study period, South America corresponds to approximately 16% of MODIS detected fires in the globe. Also, the highest number of fires in South America was identified in 2007, influenced mainly by the atypical rainfall in Amazonia (negative anomaly). It was noted that the higher incidence of recurrent fires are located in the central region of the continent, being the Amazon Rainforest and Savanna areas most affected by the fires in South America.

Keywords: Biomass Burning, MODIS, Remote Sensing.

Introdução

O fogo é uma técnica antiga de manejo das pastagens, utilizada para o controle de pragas, renovação e expansão das áreas agrícolas, e ainda hoje, é uma prática usual que em curto prazo é eficiente e barata. Entretanto, a recorrência de queimadas provoca a retirada da cobertura vegetal que, resultam na degradação do solo, aumentando os processos de lixiviação dos nutrientes e erosão do solo, na

alteração no regime hidrológico local, em riscos a biodiversidade e adinâmica dos ecossistemas, além de causar prejuízos sociais como mortes e doenças respiratórias causadas pela inalação de poluentes resultantes do processo de combustão (EMBRAPA, 2000; Cochrane, 2009).

Os impactos provocados pelas queimadas não se restringem apenas às áreas atingidas pelo fogo. Os efeitos podem ser visualizados em áreas próximas, no qual os solos, mais susceptíveis a erosão, são transportados para as redes de drenagens assoreando os canais (ALEGRE et al., 2010). As queimadas também estão relacionadas com as emissões significativas de gases traços e partículas de aerossóis para a atmosfera que trazem implicações em nível local, regional e global. A emissão de CO₂ (dióxido de carbono), CH₄ (Metano) e N₂O (óxido nitroso), gases que contribuem para o “efeito estufa”, dentre outros gases emitidos pelas queimadas, podem ser transportados para regiões distantes da fonte emissora através do padrão de circulação atmosférico, afetando as propriedades físicas e químicas da atmosfera na América do Sul em virtude da alteração no seu balanço radioativo (ARTAXO et al., 2005; FREITAS et al., 2005).

A propagação e manutenção do fogo estão associadas à disponibilidade de combustível, composta pela biomassa. Além do tipo e quantidade de biomassa, que sustentará a combustão e a propagação do fogo, o clima local e o regime do fogo também são agentes que favorecem a ocorrência de incêndios (Cochrane, 2009). Estima-se que a área queimada anualmente no Globo ultrapasse 3 milhões de quilômetros quadrados, sendo necessário a quantificação das áreas queimadas para compreender e modelar os seus efeitos sobre a superfície terrestre (Cardozo, 2013). Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo principal analisar a incidência e distribuição espacial dos focos de queimada detectados pelo sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo dos satélites Aqua e Terra para o período compreendido entre 2000 e 2012 para a América do Sul e relacionar o número de focos com o total detectado para o Globo.

Área de estudo

De acordo com a classificação de Köppen-Geiger (1928) o continente Sul-Americano possui dois principais domínios climáticos: Tropical e Temperado. A região norte da América do Sul encontra-se no domínio do Clima Tropical, abrangendo os três tipos climáticos deste domínio. O clima tropical equatorial, com a ausência de uma estação seca definida, que se caracteriza por possuir um clima úmido, ocorrendo precipitação em todos os meses do ano, ocorre na região oeste da Amazônia brasileira, na divisa com a Colômbia e o Peru. A maior parte da região Amazônica

compreende o Clima Tropical de Monções, com precipitações no período chuvoso superiores a 1500 mm, e na época seca estas são inferiores a 60 mm. Já a região do cerrado brasileiro corresponde ao clima tropical de savana, com estação seca no inverno, favorecendo as queimadas neste período. A porção sul da América do Sul, abaixo do trópico de Capricórnio, abrange os climas temperados, apresentando clima mesotérmico e estações bem definidas. A região leste da América do Sul, próximo ao Chile encontra-se em clima árido, desértico-frio.

As circulações atmosféricas na América do Sul são influenciadas pelas massas Equatorial Continental (mEc), Equatorial Atlântica (mEa), Tropical Atlântica (mTa), Tropical Continental (mTc) e Polar Atlântica (mPa). Estas massas são responsáveis pelo transporte dos gases traços e aerossóis oriundos das queimadas para regiões distantes da fonte emissora. Estudos realizados por Freitas (2005) mostram que o transporte dos gases traços e aerossóis emitidos pelas queimadas são influenciados, no período seco, pela zona de alta pressão na região central do Brasil. Neste período a convecção na bacia Amazônica está direcionada para a parte noroeste da América do Sul e associadas com o deslocamento para noroeste da Alta Subtropical do Atlântico Sul e com o direcionamento para norte da Zona de convergência Intertropical.

As massas de ar oriundas do Oceano Atlântico, na região nordeste, transportam os poluentes emitidos pelas queimadas para oeste, que encontram a barreira topográfica da Cordilheira dos Andes, e são forçadas a deslocar a movimentação destas massas para a região sul e sudoeste, direcionando a fumaça para a Bolívia, Paraguai e Argentina, voltando-se para a direção do Oceano Atlântico na região sul e sudeste do Brasil. As correntes frias oriundas da região sul e sudoeste do continente fazem com que a massa de ar poluído retorne para região norte, passando pelas regiões mais populosas do Brasil. O caminho percorrido pela fumaça da região norte do Brasil para a região sul da América do Sul traz grandes implicações a população residente nestas áreas, pois estes gases somam-se a poluentes oriundos das atividades humanas e contribuem para as mudanças climáticas em diferentes escalas.

Metodologia

Processamento dos dados MODIS

Neste trabalho os focos de queimada foram adquiridos a partir dos produtos MOD14 e MYD14, com resolução espacial de 1000 metros, estimados pelo sensor MODIS a bordo dos satélites Terra e Aqua, respectivamente. Para determinar e especializar os dados de focos de queimadas, os dados, em formato *Hierarchical Data Format* (HDF) foram transformados em *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII)

e contabilizados a partir de um programa em Fortran. Ainda, utilizou-se a linguagem Interface Description Language (IDL) para converter os dados para a projeção UTM/WGS84, que foram inseridos no aplicativo SPRING 5.2. Devido à data de lançamento destes satélites, de 2000 a 2002 utilizaram-se apenas os dados do Satélite Terra, com duas aquisições por dia, a partir desta data, com dados do sensor Aqua foram analisadas 4 aquisições diárias, fornecendo maior detalhamento na detecção de focos de queimada e anomalias termais.

Extração da Precipitação do Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

Os dados do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM, **Figura 1**) foram utilizados neste trabalho para avaliar a quantidade de chuva ocorrida durante o período analisado (2002 a 2012). O satélite TRMM é uma parceria entre a agência espacial japonesa JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*) e a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Os dados de precipitação estimados a partir deste instrumento caracterizam aproximadamente 66% do regime hidrológico associado às chuvas, a partir de um algoritmo que combina múltiplos sensores orbitais (Huffman et al., 2007). Os dados utilizados neste trabalho foram extraídos do produto 3B43 versão 7 (3B43_V7), composto por estimativas diárias da precipitação, cobertura geográfica entre 50°S a 15°N e resolução espacial de 0,25° x 0,25°. Para o cálculo da extração das normais climatológicas, a precipitação ocorrida em toda a área de estudo foi somada e comparada com as médias adquiridas entre os anos de 1998-2012.

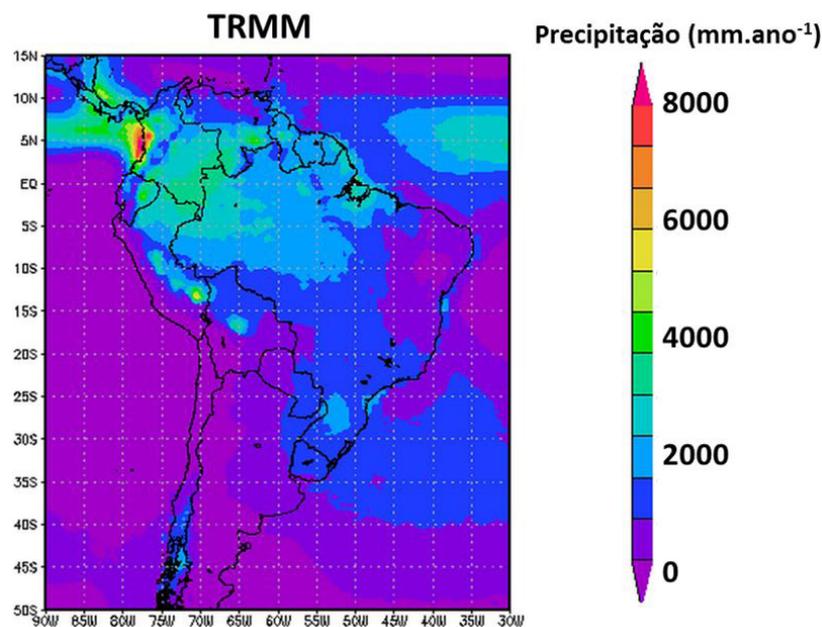


Figura 1. Precipitação anual média (1998-2012) para a América do Sul.

Processo de clusterização dos focos de queimada

Após o processamento e conversão dos focos de queimada estimados pelos produtos MOD14 e MYD14, originou-se uma grade composta pelos focos detectados por ambos os sensores (Aqua e Terra). Nesta etapa, definiu-se o tamanho da matriz que percorreu a grade e agrupou todos os focos detectados. Ressalta-se que nesta etapa, todos os focos com confiabilidade menor que 30% foram retirados da análise. Conseqüentemente, a convolução de uma máscara $Y(v, \vartheta)$, de tamanho $c \times l$ (colunas \times linhas), sobre a grade com os focos estimados pelos diferentes sensores (lon, lat), resultou na grade ($F_{Queimada_{grid}}$) contendo o agrupamento de todos os focos de queimadas para um determinado local.

$$F_{Queimada_{grid}} = \sum_{v=-\alpha}^{\alpha} \sum_{\vartheta=-\beta}^{\beta} Y(v, \vartheta) \tau(lon+v, lat+\vartheta) \quad (1)$$

Em que a grade resultante é definida para todos os pontos na qual a máscara de tamanho $c \times l$ sobrepõem completamente a imagem ($lon \in [\alpha, c-\alpha]$, $lat \in [\beta, l-\beta]$). Ressalta-se que neste trabalho o algoritmo desenvolvido percorre a matriz em grades de 400 km² (20 km \times 20 km).

Resultados

Durante o período estudado, a média mensal dos focos de incêndio da América do Sul corresponde a aproximadamente 16% do total do mundo (**Figura 2**), porém, no período seco neste continente, normalmente entre os meses de julho a outubro, ocorre maior parte das detecções de incêndios na região central, principalmente na Amazônia, a maior floresta tropical do mundo. No período estudado, exceto nos anos de 2000 a 2002, com dados apenas do Satélite Terra, o ano de 2007 pode ser apontado como o ano com o maior volume de incêndios no mundo, dos quais aproximadamente 46% ocorreram na América do Sul, influenciados principalmente pela pluviosidade atípica da Amazônia para este ano, que na época das chuvas, entre outubro e abril, registrou uma média de aproximadamente 272mm e no período seco 75 mm, sendo que para esta mesma época a média das normais climatológicas são, respectivamente, 285 mm e 104 mm. O uso antrópico do solo na Amazônia está associado ao uso do fogo, que pode acarretar grandes mudanças ao ecossistema das florestas tropicais (Cochrane, 2009).

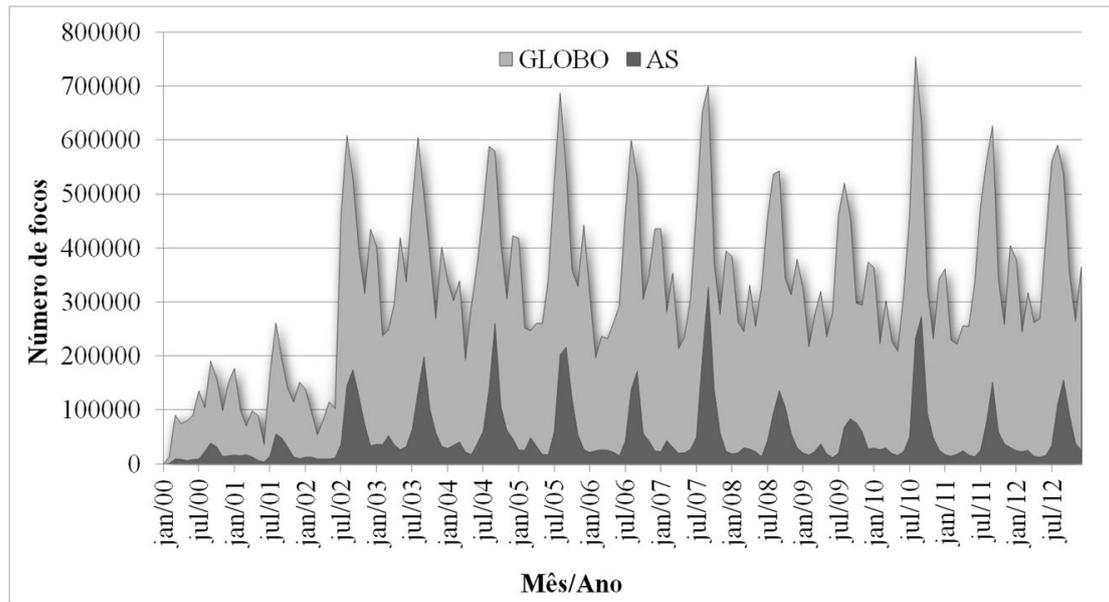


Figura 2. Número de focos detectados pelo sensor MODIS, abordo dos satélites Aqua e Terra, para o Globo e para a América do Sul (AS), período compreendido entre janeiro de 2000 e dezembro de 2012.

A espacialização da quantidade de focos de queimadas na América do Sul (**Figuras 3 e 4**) evidencia, para o período estudado, o deslocamento dos maiores números de focos da região Amazônica para o Cerrado, na região central do Brasil. Nos primeiros anos do estudo, as maiores quantidades de focos de queimadas estiveram associadas à região amazônica, na qual a sua floresta não é adaptada ao fogo, resultando em uma mortalidade de espécies arbóreas logo na primeira queimada, tornando as queimadas subsequentes mais impactantes, favorecendo o desmatamento para fins agrícolas e para a pecuária. Além da finalidade de desmatamento, o fogo nesta região também é utilizado para o corte seletivo de madeira (FEARNSIDE, 2005).

Na **Figura 3** é possível constatar que os anos de 2002 e 2003 foram os anos que apresentaram um grande número de focos de queimadas, recorrentes principalmente na região centro-oeste do Brasil, nos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Na Amazônia Legal, principalmente no estado do Pará, é possível visualizar um grande número de incêndios nestes anos. Na fronteira da Venezuela com a Colômbia queimou-se mais em 2003 comparado a 2002.

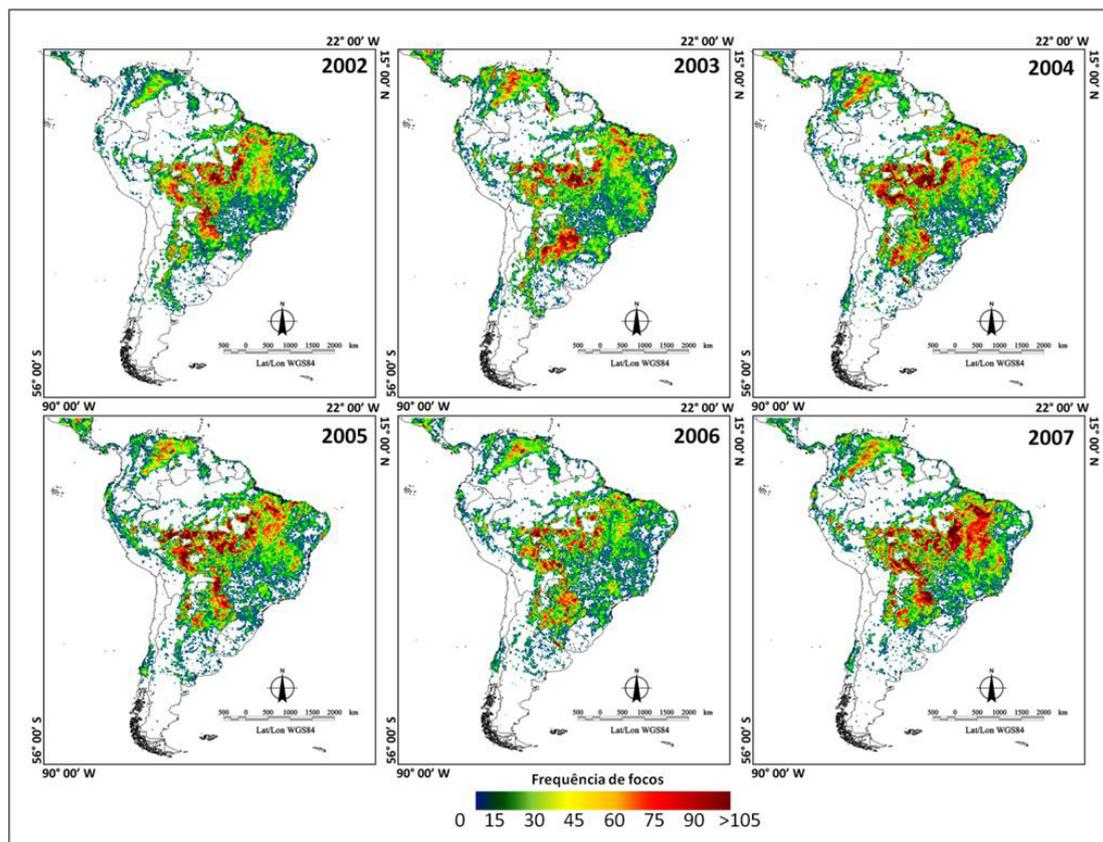


Figura 3. Distribuição espacial dos focos de queimada detectados pelos sensores MODIS (Aqua e Terra) para a América do Sul (2002 a 2007).

Para os anos de 2004 a 2005 houve uma reincidência dos locais atingidos pelas queimadas, porém, a Amazônia Legal, nos estados do Pará, Mato Grosso, Rondônia e Mato Grosso do Sul na fronteira com o Paraguai foram os mais atingidos. O cerrado brasileiro também foi muito atingido nestes anos principalmente porque as maiores quantidades de focos estão associadas à sua transição com o Bioma Amazônia nos estados do Maranhão, Tocantins, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

Em 2005, as maiores quantidades de focos de incêndios foram associadas, novamente, ao Centro Oeste brasileiro e aos estados na qual é possível verificar transições entre o bioma Amazônia e Cerrado. Os estados brasileiros mais atingidos pelas queimadas deste ano foram Rondônia, Mato Grosso e o sul do Pará, e como observado nos anos anteriores, manteve-se um avanço da incidência dos focos em Tocantins, na região da divisa com a Bahia, e no Norte de Minas, mas não ultrapassaram 60 focos a cada 400km².

No ano de 2006 houve uma diminuição no número de incêndios em relação aos primeiros anos estudados, porém, foi recorrente queimadas na região da Amazônia Legal que faz fronteira com o Cerrado brasileiro.

Apartir de 2007 observou-se a associação dos maiores números de focos ao Cerrado Brasileiro, com destaque para o ano de 2010 (**Figura 4**). Uma hipótese para justificar

esta tendência é que, no Brasil, o fogo ainda é muito empregado para a expansão agrícola e as limitações geradas por políticas públicas no controle de desmatamento no bioma Amazônia, aliadas à evolução científica do campo, permitiram que os problemas de acidez e baixa fertilidade natural do solo do Cerrado fossem corrigidas, tornando mais rentável o uso destas terras para atender as necessidades humanas (REZENDE, 2002). O Cerrado Brasileiro é uma fronteira para o desenvolvimento da agricultura no Brasil, porém, o desenvolvimento sobre áreas cobertas por matas implica no desmatamento (Cochrane, 2009).

Durante o período estudado, com quatro aquisições diárias, o ano de 2008, 2009 e 2011 foram os anos em que ocorreu o menor número de incêndios na América do Sul, porém, em 2010 e 2012, novamente a região central do continente, nos estados brasileiros do Pará, Maranhão, Tocantins, Goiás, Mato Grosso, Rondônia, Mato Grosso do Sul e o Paraguai foram os mais atingidos pelas queimadas.

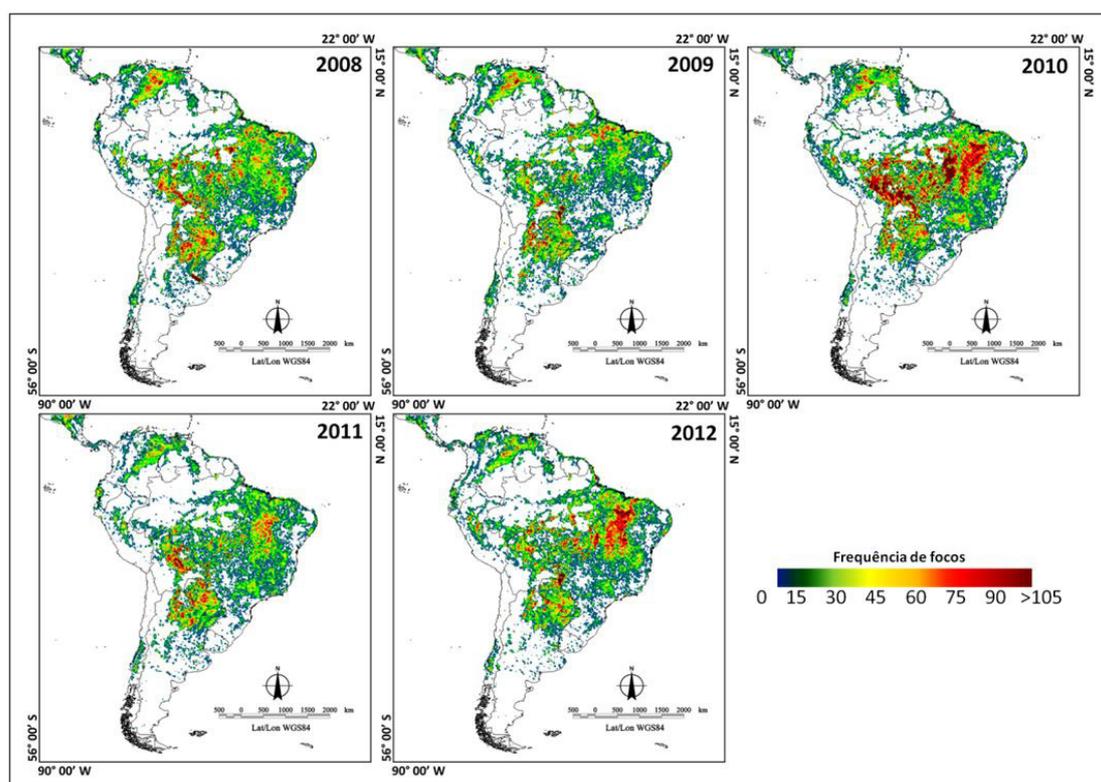


Figura 4. Distribuição espacial dos focos de queimada detectados pelos sensores MODIS (Aqua e Terra) para a América do Sul (2008 a 2012).

Com menor intensidade que as demais regiões, na região sul e sudeste do Brasil a incidência de queimadas é recorrente, principalmente no estado de São Paulo, no qual o fogo é utilizado para queimar a palha da cana-de-açúcar para facilitar a colheita.

As maiores quantidades de focos estão associadas ao território brasileiro, mas em território venezuelano e colombiano, no norte da América do Sul, também há uma quantidade significativa de queimadas no período estudado. Na Venezuela a

queimada está associada a formas primitivas de agricultura, praticadas principalmente nos estados do Amazonas e Bolívar na fronteira com o Brasil (GUERRERO, 2003). No Paraguai, país limítrofe na região Centro Oeste e Sul do Brasil, e no norte da Argentina, percebe-se um grande número de queimadas, periódicas em todos os anos analisados, sendo que 2003 foi ano em que as queimadas foram mais intensas nestes países.

Conclusão

Em geral, a análise preliminar dos dados aponta que o ciclo de queimadas global é influenciado significativamente pelo ciclo de queimadas da América do Sul. Entre os anos analisados, principalmente em 2003, 2004, 2005, 2007 e 2010, a América do Sul contribuiu com uma quantidade significativa de registros de queimadas, ressaltando a sua importância no contexto global e na emissão de gases traços e aerossóis. Apesar de condições naturais estarem associadas à propagação e manutenção do fogo, o início dos incêndios está associado a ações antrópicas, voltadas para o desmatamento, avanço da fronteira agrícola e manutenção de pastagem, tornando necessária a intervenção de políticas públicas. Os países da América do Sul possuem uma grande extensão territorial, principalmente o Brasil, dificultando a prevenção e o combate dos incêndios florestais, fazendo com que o uso de ferramentas de SIG sejam eficazes e baratas para a quantificação e o monitoramento de áreas suscetíveis às queimadas.

Referências

ALEGRE, S.P.; BAUTISTA, S.; BUGALHO, M.; et. al. **Ecologia do fogo: Gestão de áreas áridas**. Lisboa: IsaPress, 2010. 327 p.

ARTAXO, P.; GATTI, L.V.; LEAL, A.M.C.; LONGO, K.M.; FREITAS, S.R.; LARA, L.L.; PAULIQUEVIS, T.M.; PROCÓPIO, A.S.; RIZZO, L.V. **Química atmosférica na Amazônia: A floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica**. ACTA Amazônia: VOL. 35(2) 2005: 185 – 196.

CARDOZO, F.S.; PEREIRA, G.; SHIMABUKURO, Y.E.; MORAES, E.C. **Análise das áreas queimadas no Estado do Acre nos anos de 2010 e 2011**. In: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1278.pdf>. Acesso em: 03 set. 2013.

COCHRANE, M.A. **Tropical Fire Ecology: Climate change, Land use and Ecosystem Dynamics**. PraxisPublishingLtd, Chichester, UK, 2009.

Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuarias. **EMBRAPA: Recomendações Tecnológicas**, 2000. Disponível em: <http://www.preveqmd.cnpm.embrapa.br/cartilha.htm>. Acesso em: 03 set. 2013.

FEARNSIDE, P.M. **Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e conseqüências**. Megadiversidade, Volume 1 Nº 1. 2005. Disponível em: http://www.conservation.org.br/publicacoes/files/16_Fearnside.pdf

FREITAS, S.R.; LONGO, K.M.; DIAS, M.A.F.; DIAS, P.L.S. **Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul**. Estudos avançados, v. 19, n. 53, 2005

GUERRERO, J.A.S. **Implementação na internet de um sistema de monitoramento e risco de queimadas por satélites para Venezuela utilizando o sistema de informação geográfica Spring-web**. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05 -10 abril 2003, INPE, p. 475-478. Disponível em: http://martesid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.18.11.03/doc/04_386.pdf

HUFFMAN, G. J.; ADLER, R. F.; BOLVIN, D. T.; GU, G.; NELKIN, E. J.; BOWMAN, K. P.; HONG, Y.; STOCKER, E. F.; WOLFF, D. B. The TRMM Multi-satellite

Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor
Precipitation Estimates at Fine Scale. **Journal of Hydrometeorology**, v. 8, p. 38-55,
2007.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.
Wall-map 150cmx200cm.

REZENDE, G.C. Ocupação Agrícola e Estrutura Agrária no Cerrado: O Papel do
Preço da Terra, dos Recursos Naturais e da Tecnologia. Setembro, 2002. Disponível
em: http://www22.sede.embrapa.br/unidades/uc/sge/ocupacao_agraria.pdf. Acesso
em: 20 nov. 2013.

Trabalho enviado em 16/09/2014

Trabalho aceito em 30/09/2014