

UTILIZAÇÃO DE DADOS ORBITAIS DE FOCOS DE CALOR PARA CARACTERIZAÇÃO DE RISCOS DE INCÊNDIOS FLORESTAIS E PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA A TOMADA DE DECISÃO

Using Fire Pixels Orbital Data for Forest Fire Risk Characterization and Areas Prioritization for Supporting Decision Making

Liana Oighenstein Anderson^{1,2}, Missae Yamamoto¹, Christopher Cunningham¹, Marisa Gesteira Fonseca², Leticia Kirsten Fernandes², Alan Pimentel³, Foster Brown^{4,5}, Celso Henrique Leite Silva Junior², Eymar Silva Sampaio Lopes⁶, Demerval Soares Moreira⁷, Natalia Salazar², Luaê Andere², Thais Michele Rosan², Vera Reis³ & Luiz E.O.C. Aragão²

**¹Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN
Coordenação-Geral de Pesquisa e Desenvolvimento**

Parque Tecnológico de São José dos Campos, Estrada Doutor Altino Bondensan, 500, São José dos Campos - São Paulo, CEP: 12247-016, Brasil

{liana.anderson, missae.yamamoto, christopher.castro}@cemaden.gov.br

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Divisão de Sensoriamento Remoto – DSR / Tropical Ecosystems and Environmental Sciences Laboratory - TREES

Av dos Astronautas, 1.751. Jd. Da Granja, São José dos Campos, São Paulo, 12227-010, Brasil

leticia.kirstenf@gmail.com, marisa_fonseca@yahoo.com.br, celso.junior@inpe.br, laragao@dsr.inpe.br

³Instituto de Mudanças Climáticas e Regulação dos Serviços Ambientais – IMC

R. Rui Barbosa, 751, Rio Branco – Acre, Brasil

alan.geopimentel@gmail.com, vlreis.ac@uol.com.br

⁴Woods Hole Research Center

149 Woods Hole Road, Falmouth, MA 02540-1644, Estados Unidos

fbrown@whrc.org

⁵Universidade Federal do Acre – UFAC

Pos-graduacao em Ecologia e Manejo Florestal

Campus Universitário - BR 364, Km 04 - Distrito industrial - Rio Branco – Acre, CEP: 69.920-900, Brasil

⁶Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Divisão de Processamento de Imagem

Av dos Astronautas, 1.751. Jd. Da Granja, São José dos Campos, São Paulo, 12227-010, Brazil

eymar@dpi.inpe.br

⁷Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC

Rodovia Presidente Dutra, Km 40, SP-RJ, Cachoeira Paulista, SP, CEP: 12630-000, Brazil

demerval.moreira@cptec.inpe.br

Recebido em 25 de Janeiro, 2016/ Aceito em 28 de Outubro, 2016
Received on January 25, 2016/ Accepted on October 28, 2016

RESUMO

A Amazônia vem sofrendo o aumento de intensidade e de ocorrência de eventos climáticos extremos. A ocorrência de secas nesta região aumenta a susceptibilidade das florestas a incêndios florestais, com diversas consequências para o meio ambiente, economia e saúde da população. O objetivo deste estudo foi fornecer uma análise espaço-temporal do uso do fogo no Estado do Acre, e assim auxiliar a Sala de Situação do Estado na tomada de decisão para priorizar o monitoramento de áreas com risco de incêndios. Para isso, foram utilizados dados de focos de calor oriundos de múltiplos satélites, dados de unidades fundiárias e análises estatísticas para gerar um ordenamento de áreas prioritárias para monitoramento de incêndios. O satélite AQUA, desde o início de sua operação em 2002, foi responsável por 40% a 75% dos totais de detecção de focos. Com o lançamento do satélite S-NPP em 2013, este vem sendo responsável pela maioria das detecções de focos de calor devido melhores em suas resoluções espaciais e radiométricas. Trinta e nove por cento do total de focos de calor detectados, foram localizados em projetos de assentamentos, 26% em áreas particulares, 10% em unidades de conservação e menos de 2% em terras indígenas. Um mapa de risco de incêndios baseado em análises de tendência e número de ocorrências de focos de calor foi proposto para auxiliar a definição de áreas prioritárias para monitoramento e fiscalização. Conclui-se que as informações geradas com base nos dados históricos de focos de calor podem ser incorporadas aos modelos de risco de incêndios que operam com dados puramente climáticos de forma a melhorar a espacialização do risco e assim apoiar o planejamento e a tomada de decisão.

Palavras chaves: Risco de Incêndios, Sistema Operacional, Modelagem, Amazônia, Acre, Monitoramento.

ABSTRACT

The Amazon has been experiencing the increase in the intensity and occurrence of extreme weather events. The occurrence of droughts in this region increases the forest susceptibility to fires, with consequences for the environment, economy and human health. The objective of this study was to provide a spatio-temporal analysis of fire use in Acre State and thus subsidize the State situation room on decision making for prioritizing areas under fire risk. For achieving this objective, fire pixels from multiple satellites were used in addition to land category and statistical analysis to generate a ranking of priority areas for fire risk monitoring. AQUA satellite, since 2002, was responsible for 40% to 75% of the total fire pixel detections. With the launching of the S-NPP satellite in 2013, this has been the satellite with higher number of fire pixel detections due to its improved spatial and radiometric characteristics. Thirty nine per cent of the fire pixels were located in settlements projects, 26% in private lands, 10% in conservation areas and less than 2% in indigenous territory. A fire risk map generated based on a trend analysis of fire pixels and number of fire pixels detected was proposed to subsidize the definition of areas for monitoring and fiscalization. We conclude that the information generated based on the historical fire pixel data can be incorporated into fire risk models based only in climatological for improving the spatial distribution of fire risk and thus for supporting planning and decision making.

Keywords: Fire Risk, Operational System, Modelling, Amazon, Monitoring.

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia vem sofrendo o aumento de intensidade e de ocorrência de eventos climáticos extremos. Em um curto intervalo de tempo, entre 2005 e 2010, foram registradas duas secas consideradas mais extremas que secas com ciclos de recorrência de uma vez por século (MARENGO *et al.*, 2011). Por outro lado, em 2009, 2012, 2014 e 2015 foram registradas grandes cheias na Amazônia (MARENGO & ESPINOZA, 2015), especialmente na região oeste (UCGeo, Acre, comunicação pessoal). Os impactos destes extremos climáticos não

só proporcionaram a existência de grandes incêndios florestais (SHIMABUKURO *et al.*, 2009, ARAGÃO *et al.*, 2007, ANDERSON *et al.*, 2015) como também impactaram as florestas pristine aumentando a mortalidade de árvores (PHILLIPS *et al.*, 2009, BRIENEN *et al.*, 2015, ROWLAND *et al.*, 2015) e com o aumento do número de casos de doenças respiratórias e vetorizadas pela água (ANDERSON *et al.*, 2011, SMITH *et al.*, 2014). Somente entre janeiro e junho de 2010 foram emitidas 15 portarias de municípios na região norte do País em estado de calamidade pública devido a estiagem

e secas (CNM, 2010). Para o ano de 2010, entre os acidentes ambientais registrados pelo IBAMA na região Norte do país, cerca de 32% corresponderam a categoria explosão/incêndios (IBAMA, 2011).

De uma forma geral, trabalhos de previsão do clima baseados em modelos climáticos globais apontam aumento da temperatura do oceano, com conseqüente diminuição de nuvens e da umidade relativa do ar devido ao deslocamento nas células de Walker, e com aumento da radiação incidente para a Amazônia (LI *et al.*, 2006). Análises de séries históricas de dados de precipitação para a Amazônia sugerem uma diminuição do índice de precipitação normalizado (Standard Precipitation Index – SPI) entre 1970 e 1999 de 0.32 por década (LI *et al.*, 2008), indicando um aumento de condições secas. A diminuição de chuvas e de umidade na Amazônia também tem sido documentada devido aos grandes processos de conversão da cobertura florestal para pastagens e agricultura. Simulações de modelos climáticos apontam uma relação linear negativa entre a extensão de desmatamento e precipitação na bacia Amazônica (SPRACKLEN & CARRERAS, 2015). Dados observacionais de precipitação detectam a diminuição de umidade ou chuva na Bacia Amazônica em função da diminuição de evapotranspiração da floresta devido sua redução em extensão (SPRACKLEN *et al.*, 2012). Os cenários e observações apontados por estes estudos sugerem uma Amazônia mais seca, o que aumenta as probabilidades de grandes incêndios florestais.

Incêndios florestais naturais em florestas tropicais são raros. Estudos paleo-ecológicos demonstram milhares de anos sem registro de indicações de ocorrência de fogo na Amazônia (BUSH *et al.*, 2007). No entanto, em função da colonização desta região, o fogo passou a ser recorrente nesta paisagem, invariavelmente com a fonte de ignição sendo as atividades antrópicas.

O fogo na região Amazônica está fortemente associado ao uso da terra, a mudança no uso e da cobertura da terra e as condições climáticas. Em condições normais do regime de precipitação, demonstrou-se que a probabilidade da ocorrência de incêndios florestais decresce exponencialmente com a distância de rodovias

e estradas na Amazônia (COCHRANRE & LAURANCE, 2002). Por outro lado, o aumento significativo da ocorrência de queimadas e incêndios na Amazônia está associado a anos de secas extremas (BARBOSA & FEARNDISE, 1999, ALENCAR *et al.*, 2005, ARAGÃO *et al.*, 2007).

Segundo a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE, 2015), incêndio florestal é a propagação de fogo sem controle, em qualquer tipo de vegetação situada em áreas legalmente protegidas ou quando não se encontra em áreas sob proteção legal, que acarrete na queda da qualidade do ar (COBRADE, 2015).

Devido aos impactos que os incêndios florestais causam na Amazônia, a previsão do risco de fogo nesta região vem sendo objeto de estudos desde meados dos anos 2000 (CARDOSO *et al.*, 2003, NEPSTAD *et al.*, 2004, SISMANOGLU & SETZER, 2005, MAEDA *et al.*, 2009, CHEN *et al.*, 2011). No entanto, dentre os modelos de risco de incêndios encontram-se modelos baseados puramente em dados climatológicos, associados a mapas de vegetação de grande escala ou associados a mapas de cobertura da terra e malhas viárias, e modelos voltados para aplicação local onde encontram-se disponíveis dados de estações meteorológicas.

A seca prolongada de 2005 que atingiu a região de fronteira tri-nacional de Madre de Dios (Peru), Acre (Brasil) e Pando (Bolívia), conhecida como região do MAP, fomentou a ocorrência de grandes incêndios florestais iniciados por atividades antrópicas e resultou em poluição atmosférica atingindo mais de 400 mil pessoas, e mais de 300 mil hectares de florestas e uma perda econômica de mais de 50 milhões de dólares (BROWN *et al.*, 2006). Em resposta a estes desastres, o Governo do Estado do Acre promoveu a criação de uma sala de situação local para monitoramento de eventos extremos e apoio a tomada de decisão e resposta rápida.

A Sala de Situação do Acre é uma estrutura executiva da Comissão Estadual de Gestão de Riscos Ambientais (CEGdRA) que funciona desde 2012, e conta com a parceria da Agência Nacional de Águas (ANA). Para o monitoramento diário do risco de incêndios florestais e focos de calor são utilizados os

dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a partir dos quais são gerados relatórios técnicos diários e emissão de alertas via Plataforma *TerraMA2*. Esta plataforma, idealizada pelo INPE, foi adaptada para a realidade do Estado e permite a emissão de alertas precoces a qualquer ocorrência de desastre natural e o acompanhamento de eventos pluviométricos extremos em épocas de chuva e períodos de estiagem. A análise do risco de incêndio implementada conta hoje com um modelo de risco de incêndios baseado nos dados de temperatura e umidade relativa do ar que são fornecidos pelo modelo atmosférico BRAMS (*Brazilian Developments on the Regional Atmospheric Modeling System*) acoplado ao modelo de superfície JULES (*Joint UK Land Environment Simulator*) (MOREIRA et al., 2013) com resolução espacial de 5 km e executado operacionalmente pelo CPTEC/INPE, com duas atualizações diárias, às 00 e às 12 GMT.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi fornecer uma avaliação crítica do uso do fogo no Estado do Acre, e assim auxiliar a Sala de Situação do Estado na tomada de decisão para priorizar o monitoramento de áreas com risco de incêndios. Especificamente, este estudo objetivou responder três perguntas: (i) Quais são os horários, meses e anos de pico na detecção de focos de calor e qual a contribuição da detecção de focos de calor por cada satélite-sensor no Estado do Acre? (ii) Em qual tipo de unidade fundiária utiliza-se mais do fogo? (iii) Qual a tendência da ocorrência de focos de calor nos diferentes tipos de unidades fundiárias? Por fim, a integração destas três perguntas resultou em uma classificação espacializada de diferentes níveis de risco de incêndios no Estado do Acre, com base no uso histórico e de tendências no número de ocorrências de focos de calor.

2. MATERIAIS

Esta pesquisa utilizou os seguintes materiais: dados de focos de calor e mapa de estrutura fundiária para o Estado do Acre. A descrição detalhada destes dados encontra-se abaixo.

2.1 Dados de focos de calor

Focos de calor consistem em detecções por satélite da radiação emitida por materiais em

chamas, os quais emitem energia principalmente na faixa termal média de 3,7 μm a 4,1 μm do espectro óptico. Os dados de focos de calor utilizados nesta pesquisa foram obtidos no Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Os dados correspondem ao período de 2000 a 2014 e recobrem o Estado do Acre, Amazônia Brasileira.

2.2 Estrutura fundiária

Os dados da estrutura fundiária do Estado do Acre foram fornecidos pelo Instituto de Mudanças Climáticas e Regulação dos Serviços Ambientais (IMC).

Os tipos fundiários estão divididos nas seguintes categorias:

- i) Projetos de Assentamentos (PA): Áreas orientadas para utilização racional dos espaços físicos naturais existentes, onde são assentadas famílias com o perfil para trabalharem com a terra;
- ii) Terras Indígenas (TI): São bens da União, sendo reconhecidos aos índios a posse permanente e o usufruto exclusivo das riquezas do solo, dos rios e dos lagos nelas existentes.
- iii) Unidades de Conservação (UC): Espaço territorial e seus recursos ambientais, com objetivos de conservação e limites definidos ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção.
- iv) Áreas Discriminadas (AD): Áreas com estudos discriminatórios que servem de base para a instalação de processo administrativo ou judicial com o objetivo de devolver áreas ao domínio público ou não.
- v) Áreas Arrecadadas (AA): Áreas públicas ou particulares desapropriadas para implantação de assentamentos da reforma agrária ou a regularização de comunidades.
- vi) Áreas de Particulares (AP): Áreas de domínio privado por algum título legítimo.
- vii) Áreas sem Estudos Discriminatórios (ASED) - Áreas não discriminadas.

No total, estão identificadas 389 unidades fundiárias, classificados segundo a descrição acima citada (Tabela 1).

3. MÉTODOS

Nesta seção apresenta-se o detalhamento da metodologia empregada nesta pesquisa. De uma forma geral, foram feitas análises estatísticas diretas sob os dados.

Tabela 1: Sigla, nome e número de unidades fundiárias, estratificadas por classificação

Sigla	Tipo	Número de áreas registradas	% da área do Estado
AD	Áreas Discriminadas	40	13.71
AE	Áreas Arrecadadas	22	1.91
AP	Áreas de Particulares	158	19.49
ASED	Área sem estudo Discriminativo	11	9.08
PA	Projetos de Assentamentos	68	2.93
PAD	Projeto de Assentamento Dirigido	5	3.64
PAE	Projeto de Assentamento Agroextrativista	11	1.63
PAF	Projeto de Assentamento Florestal	3	0.55
PAR	Projeto de Assentamento Rápido	2	0.43
PCA	Projeto de Assentamento Casulo	3	0.00
PDS	Projeto de Desenvolvimento Sustentável	6	0.75
PE	Projeto de Assentamento Estadual	11	0.02
TI	Terra Indígena	30	14.50
UC - EE	Unidade de Conservação - Estação Ecológica	1	0.51
UC - PN	Unidade de Conservação - Parque Nacional	1	4.79
UC - FN	Unidade de Conservação - Floresta Nacional	3	2.12
UC - RESEX	Unidade de Conservação - Reserva Extrativista	5	16.18
UC - ARIE	Unidade de Conservação - Área de Relevante Interesse Ecológico	1	0.02
UC- APA	Unidade de Conservação - Área de Proteção Ambiental	3	0.21
UC - FE	Unidade de Conservação - Floresta Estadual	5	7.53

3.1 Avaliação dos sistemas satélite-sensor

Esta análise baseou-se nos dados disponíveis na tabela de atributos dos focos de calor, e visou identificar: hora, mês e anos de pico na detecção de focos de calor e a contribuição da detecção de focos de calor por cada satélite-sensor. Em seguida, foi realizada uma análise de correlação entre o satélite de referência AQUA, sensor MODIS, e os dados acumulados de todos os satélites para verificar a utilização de todos os focos de calor como proxy para expandir a análise temporal para o período anterior ao lançamento do satélite AQUA.

3.2 Ocorrência de fogo nas unidades fundiárias

Foram analisadas as detecções de focos de calor para cada tipo de área fundiária, oriundos de todos os satélites disponíveis. Em seguida, foram calculadas as tendências de ocorrência de focos de calor para dois períodos: 2000 a 2014 e

2010 a 2014, de forma a identificar o padrão de longo-termo e o padrão nos últimos cinco anos respectivamente.

Para o cálculo de tendências, foi utilizado o ângulo da reta da regressão linear. O nível de confiança (p valor) das tendências foi calculado com base na distribuição do teste t de Student bi-caudal. O valor t para cada mês foi calculado dividindo-se o ângulo de inclinação da reta b da regressão linear pelo seu respectivo erro padrão (EP), segundo a Equação abaixo (1):

$$t = \frac{b}{EP} \quad (1)$$

O ângulo de inclinação da reta de regressão linear foi calculado segundo a Equação (2):

$$b = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum(x - \bar{x})^2} \quad (2)$$

onde x corresponde ao ano específico (variável

independente), \bar{x} é a média de todos os anos, y é o número de focos de calor detectados (variável dependente) para o ano específico x e \bar{y} é a média de focos de calor entre todos os anos.

O Erro Padrão da regressão do ângulo da reta foi definido segundo a Equação (3):

$$EP = \frac{\sqrt{\sum (y_o - \hat{y}_o)^2 / (n - 2)}}{\sqrt{\sum (x_o - \bar{x})^2}} \quad (3)$$

onde y_o é o valor da variável dependente para a observação (o), \hat{y}_o é o valor estimado da variável dependente para a observação (o), x_o é o valor observado da variável independente (ano), \bar{x} é a média da variável independente, e n é o número de observações.

4. RESULTADOS

Esta seção está dividida em três partes. Primeiramente apresenta-se a caracterização da detecção dos focos de calor por satélite. Em seguida apresenta-se a avaliação da ocorrência de focos de calor nas unidades fundiárias do Estado do Acre. Finalmente, apresenta-se o resultado do modelo de sistema de alerta de risco de incêndios baseado no histórico do fogo.

4.1 Caracterização das detecções de focos de calor por diferentes satélites

Entre os anos de 2001 e 2014, de três a quatorze satélites detectaram focos de calor no Estado do Acre (Figura 1a). Os satélites com menor e maior longevidade foram o GOES-08 (dois anos) e o TERRA, respectivamente, sendo que o último ainda encontra-se operando. O satélite AQUA, desde o início de sua operação em 2002, foi responsável por 40% a 75% das detecções de focos de calor anuais para a série estudada (Figura 1b). O segundo e terceiro satélites em ordem de importância, por detectarem maior número de focos de calor, foram o TERRA e GOES-12, respectivamente (Figura 1b). Dentre os 21 satélites já utilizados operacionalmente pelo INPE para detectar focos de calor, observa-se que somente oito tiveram uma contribuição significativa para o total de focos observados no Estado.

Na média para a série temporal estudada, os meses de julho a outubro representaram

mais de 97% dos totais anuais de focos de calor. O valor mínimo observado foi em 2011, em que o quadrimestre contou com 93% das observações dos focos de calor. Neste mesmo período observou-se também um número maior de detecções em junho e principalmente em novembro. Por outro lado, nos anos de 2001, 2003 e 2005, mais de 99% dos focos de calor foram observados entre julho e outubro (Figura 2). Agosto e setembro foram o bimestre principal de ocorrência de queimadas e incêndios, variando de 80% (em 2001) a 90% (em 2005) das detecções, exceto em 2002, 2008 e 2009 (Figura 2). Com exceção do ano de 2001, o mês de pico para as observações de focos de calor foi setembro.

Os anos de maior ocorrência de focos de calor foram 2005, 2003 e 2010, nesta ordem. O valor médio anual para a série temporal estudada correspondeu a mais de oito mil focos, sendo que em 2005 este valor foi 3.5 vezes maior (28,857 focos) (Figura 2).

O horário de pico nas detecções de focos de calor no Estado do Acre ocorreu entre as 14hs e 21hs GMT. Os principais satélites com observações neste horário foram: AQUA, GOES-12, NOAA-12, TERRA e NPP, somando aproximadamente 90% das detecções (Figura 3a). Durante estes horários de pico, entre sete e 11 satélites detectaram focos de calor, sendo que os geoestacionários (série GOES) e o TRMM (sem atividade atual) apresentam detecções em todos os horários. Os dados do sensor MODIS a bordo dos satélites TERRA e AQUA mostraram-se importantes nas detecções entre 14hs e 19hs, enquanto que os dados dos satélites da série NOAA-12, NOAA-15 e NOAA-18 foram relevantes entre as 20hs e 22hs (Figura 3b).

A análise entre os focos de calor detectados pelo satélite de referência AQUA, e os dados acumulados de todos os satélites para a série temporal demonstraram que estes são fortemente correlacionados ($p < 0.001$) (Figura 4). Portanto, para as demais análises desse estudo foram utilizados os dados acumulados de todos os satélites, no período de 2000 a 2014, de forma a expandir a análise temporal para o período anterior ao lançamento do satélite AQUA.

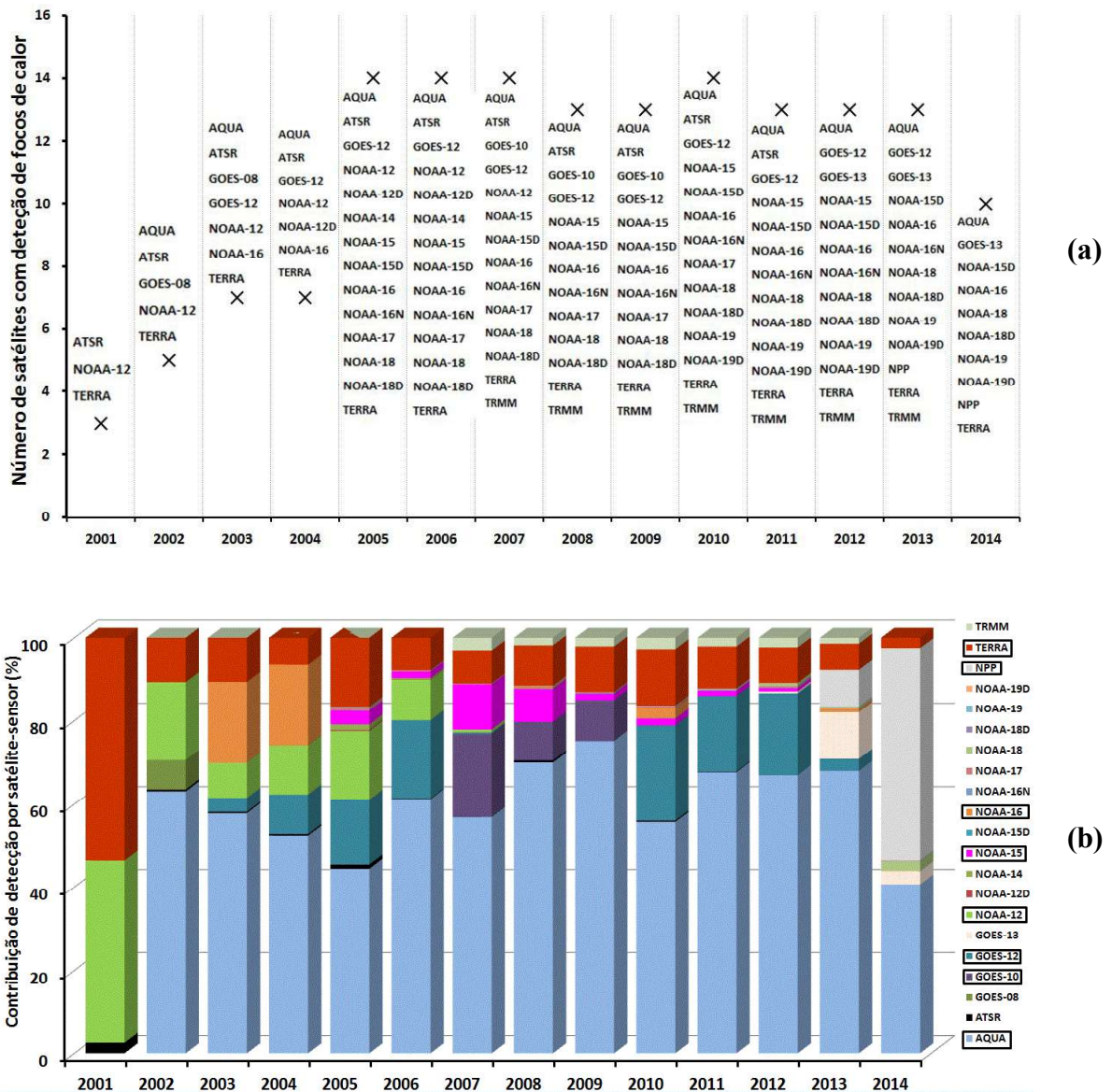


Fig. 1 - a) Identificação e número de satélites com detecções de focos de calor entre 2001 e 2014 no Estado do Acre. b) Contribuição de detecção em porcentagem de cada satélite para os totais anuais de focos de calor. Os nomes dos principais satélites responsáveis por 86% a 99,9% das detecções anuais estão delimitados por um retângulo preto.

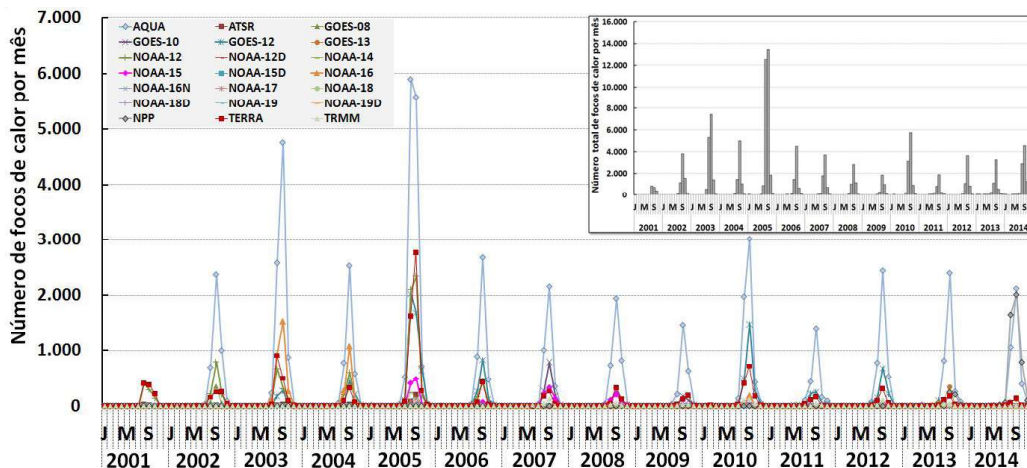


Fig. 2 - Número total mensal de detecções de focos de calor por satélite. No quadro localizado no canto superior direito da Figura apresenta-se o total acumulado de todos os satélites, por mês.

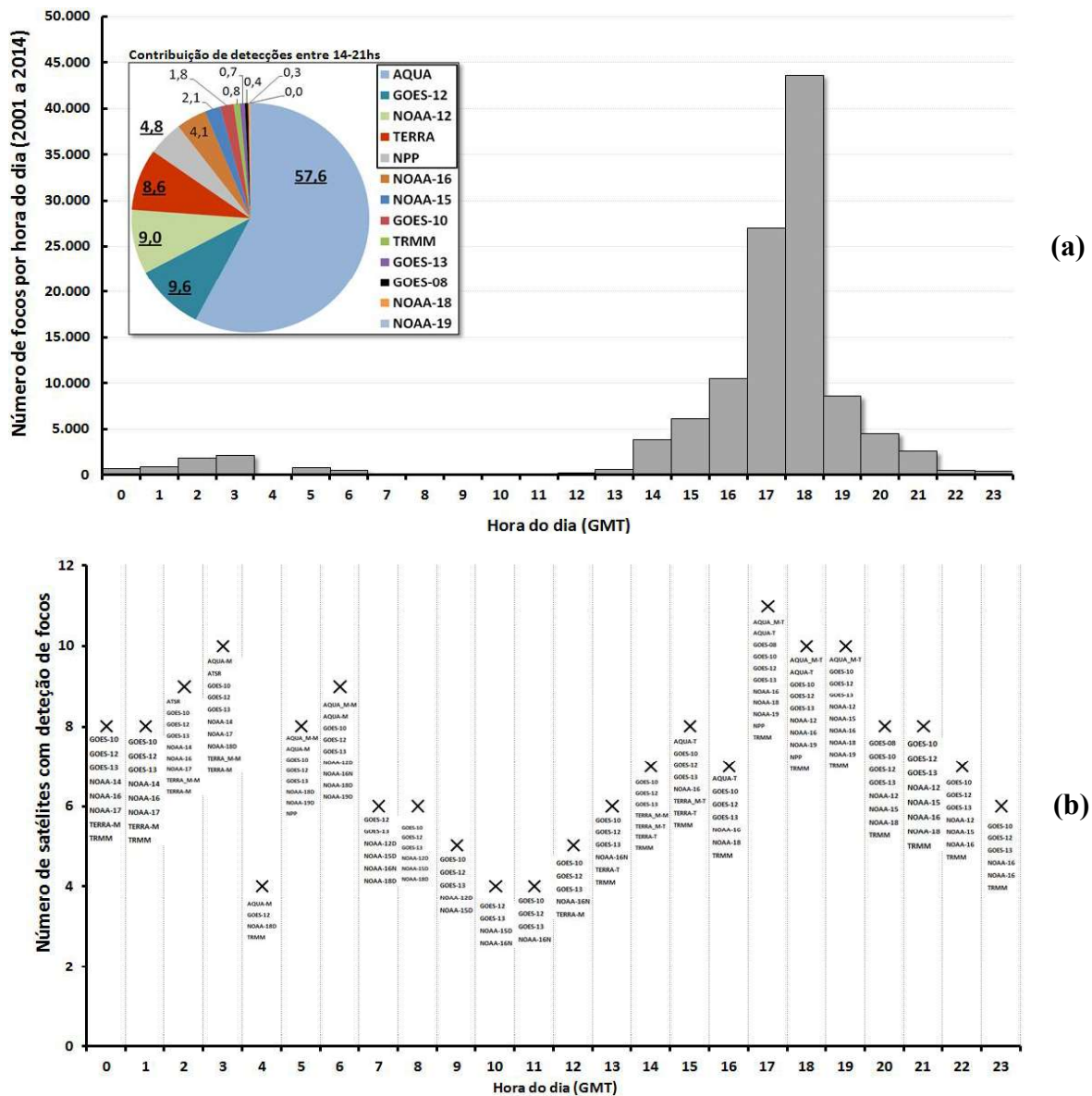


Fig. 3 - a) Horário do dia (GMT) das detecções de focos de calor e contribuição em porcentagem de cada satélite para as detecções. b) Número de satélites e sua identificação por hora do dia com detecções de focos de calor.

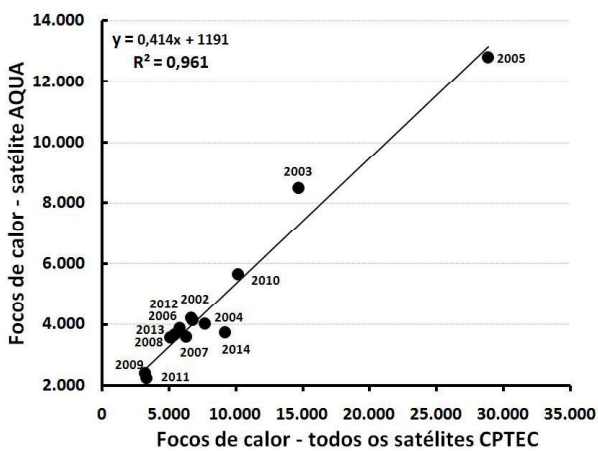


Fig. 4 - Correlação entre dados do satélite de referência AQUA e o acumulado dos demais satélites com detecções de focos de calor no Estado do Acre entre os anos de 2002 e 2014.

4.2 Avaliação da ocorrência do fogo nas unidades fundiárias

A análise de focos de calor para o período estudado demonstrou que 39% do total de focos de calor detectados estavam localizados em Projetos de Assentamentos, 26% em áreas particulares, 16% em áreas discriminadas e 10% em Unidades de Conservação. Nota-se que menos de 2% das detecções de focos de calor ocorreram em Terras Indígenas (Figura 5a).

Entre os anos de 2001 e 2005 observam-se os maiores números de detecção de focos de calor, com um segundo pico em 2010 e depois em 2014 (Figura 5b). Durante todo o período, as áreas de Projetos de Assentamentos foram as que

apresentam maiores números de observações de focos de calor, seguida das Áreas Particulares, com exceção do ano de 2013, em que o padrão se inverteu. Apesar do uso do fogo ser restrito

dentro das Unidades de Conservação, observou-se que em 2014 o número de focos de calor foi muito próximo aos de 2005: 1954 e 1924 focos de calor, respectivamente (Figura 5b).

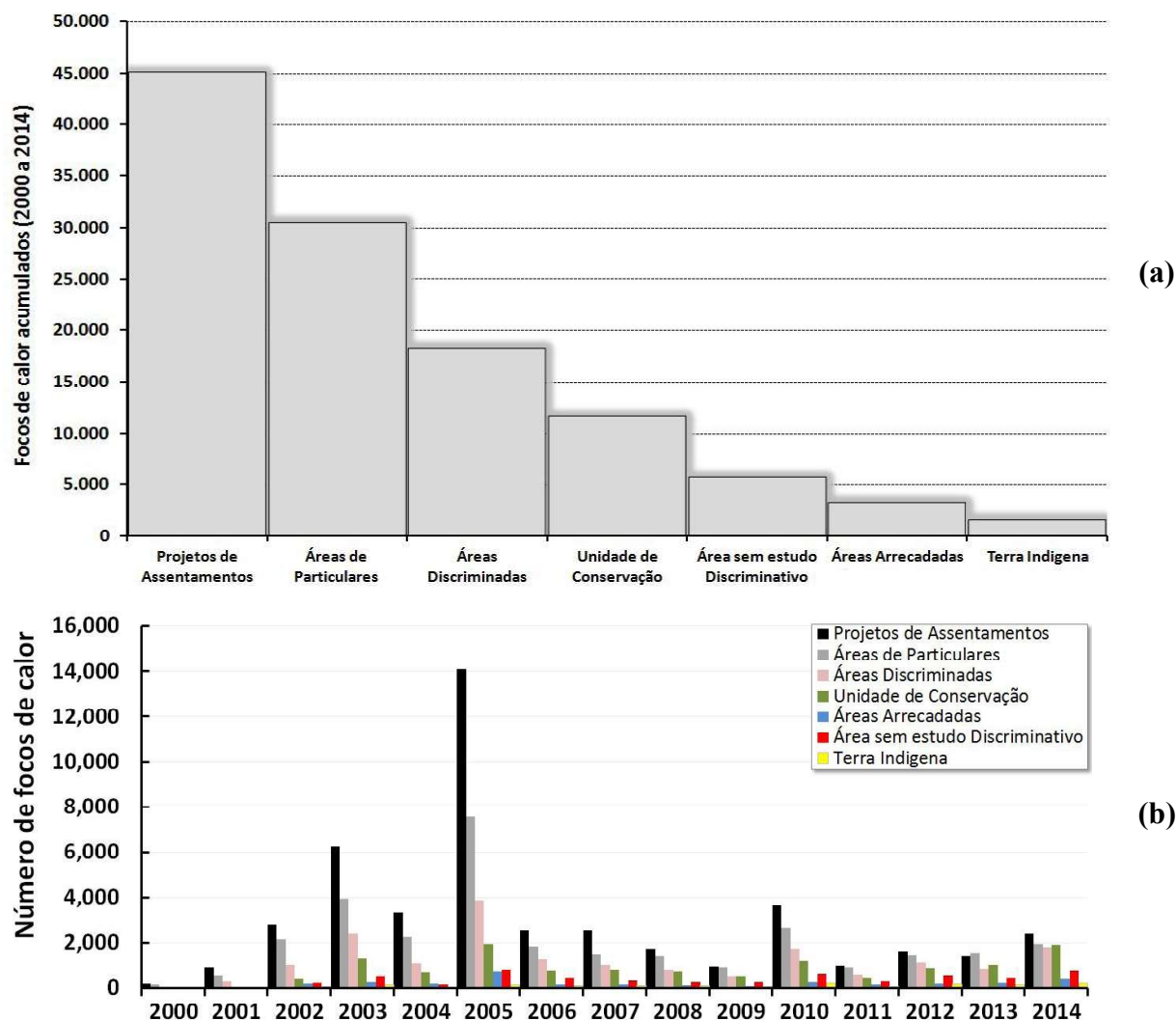


Fig. 5 - a) Total acumulado de focos de calor entre 2000 e 2014 para as unidades fundiárias. b) Total anual de focos de calor para as unidades fundiárias.

A análise de tendência temporal na ocorrência de focos de calor identificou que 16% das unidades fundiárias são significantes entre 95% a 99.9%, e 23% das unidades fundiárias são significantes a 90% (Tabela 2). Dentre estas unidades, somente quatro apresentam tendência negativa, ou seja, diminuição do número de focos de calor ao longo da série temporal estudada.

4.3 Sistema de alerta de risco de incêndios baseado no histórico do fogo

O passado recente de ocorrências de focos de calor fornece dados que podem ser usados para priorizar áreas em termos de risco de incêndios futuros posto que registram o manejo e uso do

fogo localmente. Áreas, comunidades ou unidades fundiárias que possuem como característica um grande número de ocorrências de focos de calor aliado a uma tendência positiva no número de focos ano a ano possuem grande risco de incêndios na próxima estação seca. Por outro lado, áreas em que não são observados focos de calor indicam que as pessoas na área ou região não tem o hábito ou necessidade de utilizar o fogo, e mesmo diante de uma seca extrema, estas áreas não estão susceptíveis a incêndios florestais. Este tipo de conhecimento local e de informação é crítico para políticas públicas de preparação e para respostas de governos municipais e estaduais durante secas prolongadas.

Tabela 2: Identificação de áreas com ângulos de inclinação de reta significativos (p valor) para o período de 2000 a 2014 e 2010 a 2014, indicado por “*” e para os dois períodos indicado por “***”. As áreas com “N” denotam tendência negativa (diminuição do número de focos de calor). A definição das siglas encontra-se nos métodos

Sigla	Identificação	P-valor
AD	Discriminada	p<0.005
AD	Discriminada	p<0.005
AD	Discriminada	p<0.005
AD	Discriminada	p<0.05
AD	Discriminada	p<0.05
AD	Discriminada	p<0.05
AE	Chandless	p<0.005
AP	T.I. Kaxinawa do Seringal Currealinho	p<0.001
AP	Propriedade	p<0.005
AP	Propriedade	p<0.005**
AP	T.I. Manchineri do Guanabara	p<0.005
AP	Propriedade	p<0.01
AP	Propriedade	p<0.01*
AP	Propriedade	p<0.05 ^N
AP	Propriedade	p<0.05*
AP	Propriedade	p<0.05*
AP	Propriedade	p<0.05
AP	Propriedade	p<0.05
AP	Propriedade	p<0.05
AP	Propriedade	p<0.05
AP	Propriedade	p<0.05 ^N
AP	Propriedade	p<0.05*
ASED	Não Discriminada	p<0.005
ASED	Não Discriminada	p<0.005
ASED	Não Discriminada	p<0.05
ASED	Não Discriminada	p<0.05
PA	P.A. Minas	p<0.01
PA	P.A. Arco-íris	p<0.01* ^N
PA	P.A. Petrolina	p<0.01* ^N
PA	P.A. Taquari	p<0.05
PA	P.A. Vitoria	p<0.05
PAE	P.A.E. Cruzeiro do Vale	p<0.005
PAE	P.A.E. Riozinho	p<0.05
PAE	P.A.E. Chico Mendes	p<0.05*
PAF	P.A.F. Providencia Capital	p<0.005

PAF	P.A.F. Havai	p<0.005
PAF	P.A.F. Valencia	p<0.05
PAR	P.A.R. Aleluia	p<0.05**
PAR	P.A.R. Aleluia	p<0.05*
PDS	P.D.S. São Salvador	p<0.05
TI	T.I. Kulina do Igarapé do Pau	p<0.001
TI	T.I. Xinane	p<0.005
TI	T.I. Kaxinawa Seringal Independência	p<0.005
TI	T.I. kaxinawa do Rio Jordao	p<0.01
TI	T.I. Kampa Isolados do Rio Envira	p<0.01
TI	T.I. Arara do Igarapé Humaitá	p<0.05
TI	T.I. Nawa	p<0.05
TI	T.I. Jaminawa Envira	p<0.05
TI	T.I. Kampa do Rio Amonea	p<0.05
TI	T.I. Kaxinawa da Praia Do Carapana	p<0.05
TI	T.I. Rio Gregório	p<0.05
TI	T.I. Alto Tarauacá	p<0.05
TI	T.I. Kaxinawa do Baixo Rio Jordao	p<0.05
UC	Área de Relevante Interesse Ecológico Seringal Nova Esperança	p<0.005
UC	Reserva Extrativista do Alto Juruá	p<0.01
UC	Floresta Estadual do Rio Liberdade	p<0.01
UC	Floresta Estadual do Mogno	p<0.05
UC	Floresta Estadual do Chandless	p<0.05
UC	Reserva Extrativista do Alto Tarauacá	p<0.05
UC	Floresta Nacional Santa Rosa do Purus	p<0.05
UC	Parque Nacional da Serra do Divisor	p<0.05

A Tabela 3 e a Figura 6 mostram o resultado do método de priorização de regiões no estado do Acre em que se observaram diferentes níveis de significância na tendência de ocorrência de focos de calor, assim como nos números de observações de focos de calor nos últimos anos. As áreas onde se identificaram os níveis de “Alerta” muito provavelmente exibiram queimadas e possíveis incêndios na estação seca de 2015, tanto devido a tendência positiva de observações de focos de calor no período de 2000 a 2014, assim como de tendência positiva aliado ao alto número de focos de calor observados nos últimos cinco anos. De forma contrastante, as áreas identificadas com risco muito baixo ou sem risco indicaram que não houve o uso intensivo de fogo nestas unidades fundiárias no período estudado e, portanto, mesmo que as condições climáticas sejam propícias para queimadas e incêndios, há baixa probabilidade de ocorrência de um incêndio florestal (Tabela 3).

É interessante notar que as áreas com grandes riscos de incêndios foram localizadas na região leste do Estado do Acre (região Baixo Acre), onde a colonização é um processo mais antigo. Notam-se ainda zonas de risco de incêndios na parte Norte do Estado (nordeste da região Juruá), possivelmente relacionados aos processos mais recentes de conversão da cobertura da terra, ou seja, de novas frentes de desmatamento. Estas novas frentes estão possivelmente associadas à melhorias na infraestrutura desta região nos últimos anos, como pavimentação da BR-364 que conecta Rio Branco a Cruzeiro do Sul.

Observou-se também que somente aproximadamente 5% da área do Estado apresentou-se sem risco de incêndios (Escala 0, 1 e 2, Tabela 3), enquanto que cerca de 12% da área foi classificada como estado de Alerta (Escala 8 e 10, Tabela 3).

Tabela 3: Tabela de ordenamento de risco de incêndios baseando-se somente no histórico de ocorrência de focos de calor em cada unidade fundiária

Alerta	Risco de Incêndio	Descrição do Risco
Alerta máximo	10	Tendência de aumento de focos de calor tanto entre 2000 e 2014 quanto entre 2010 e 2014, $p < 0.05$ ou Tendência de aumento ou diminuição de focos de calor entre 2010 e 2014 não significativa a 99.5%, mas com mais de 500 ocorrências de focos de calor entre 2010 e 2014.
Alerta	8	Tendência de aumento de focos de calor tanto entre 2000 e 2014 quanto entre 2010 a 2014, $p < 0.1$ ou Tendência de aumento ou diminuição de focos de calor entre 2010 a 2014 não significativa a 99.5%, mas com 100 – 499 ocorrências de focos de calor entre 2010 e 2014.
Atenção 2	6	Tendência de aumento de focos de calor entre 2010 e 2014, $p < 0.1$ ou Entre 60 a 99 observações de focos de calor entre 2010 e 2014.
Atenção 1	5	Tendência de aumento de focos de calor entre 2000 e 2014, $p < 0.1$ ou Entre 41 a 59 observações de focos de calor entre 2010-2014.
Observação	3	Entre 11 e 40 focos entre 2010-2014.
Risco baixo	2	Até 10 focos entre 2010-2014
Risco muito baixo	1	Até 5 focos entre 2006-2014
Sem risco	0	Sem observação de focos de calor na série histórica (2000 a 2014) ou a mais de 5 km de distância de qualquer foco de calor registrado entre 2000 e 2014.

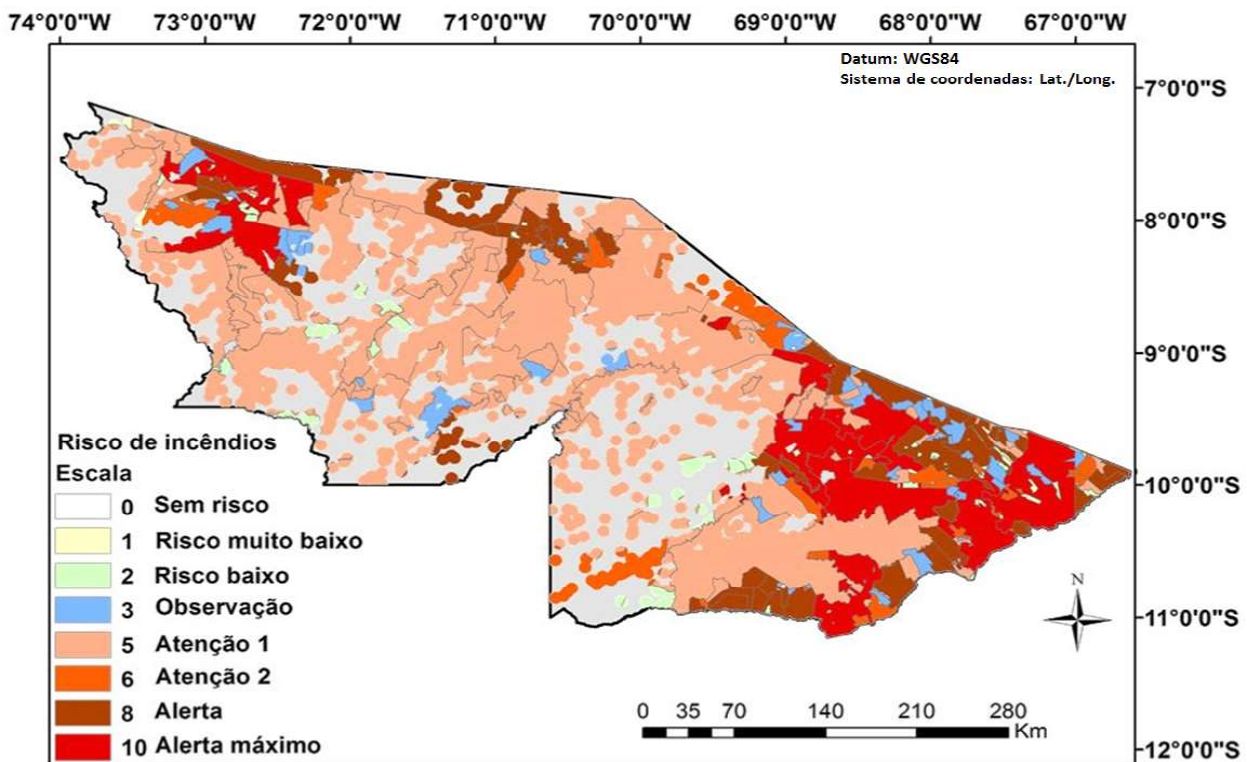


Fig. 6 - Mapa de risco de incêndios baseado em análises de tendência e número de ocorrências de focos de calor. A definição dos critérios da escala sugerida apresenta-se na Tabela 3.

5. DISCUSSÃO

Este estudo identificou que o principal satélite para o monitoramento de fogo ativo, detectado como focos de calor correspondeu ao sensor MODIS a bordo do satélite AQUA para o período estudado. Em um exercício de validação de focos de calor na Tailândia, indicou-se que os dados MODIS possuem uma acurácia de mais de 90% na detecção de focos de calor, sendo assim utilizado operacionalmente neste país para apoio a tomada de decisão (TANPIPAT *et al.*, 2009). No entanto, observam-se um grande número de detecções com o sensor *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS) a bordo do satélite *Suomi National Polar-orbiting Partnership* (S-NPP), a partir de 2013, quando começou o processamento e disponibilização dos dados desse satélite no sistema de monitoramento de queimadas do INPE. Uma análise comparativa entre MODIS e VIIRS sugeriu que este segundo detecta cerca de 26% a mais de ocorrências de focos de calor do que o primeiro, atribuído as melhoras nas resoluções espacial e espectral (CSISZAR *et al.*, 2014).

Estes resultados podem indicar que as melhorias observadas no VIIRS do Suomi-NPP, e constatadas também para o Estado do

Acre, fazem com que este sistema sensor seja considerado como substituo do sensor MODIS a bordo do satélite AQUA para apoio a tomada de decisões baseado em um volume pequeno de dados, comparado a toda malha disponível pelos diversos satélites hoje operacionais.

É interessante notar que dentro dos diferentes tipos fundiários, os projetos de assentamentos são os que tem maior utilização do fogo, enquanto que os territórios indígenas são as unidades onde o fogo é menos utilizado. Uma análise para os anos de 1997 a 2000 constata resultados similares, em que áreas de proteção e terras indígenas são eficazes em coibir incêndios, quantificados via pixels de calor (NEPSTAD *et al.*, 2006). Uma avaliação mais detalhada sobre o tipo de Unidade de Conservação (reserva extrativista, parques, florestas públicas) poderia revelar a uma possível relação entre os tipos de atividades permitidas dentro destas áreas (grau de restrição do uso) e a susceptibilidade da área em relação à ocorrência de queimadas e incêndios.

6. CONCLUSÕES

Este estudo forneceu uma forma inovadora e simples de avaliar o risco de incêndios florestais em áreas onde o fogo é de origem antrópica. A partir de uma análise conjunta

tanto da disponibilidade e da identificação dos principais dados satelitais com detecção de focos de calor quanto do registro histórico do uso do fogo em uma escala local-regional gerou-se uma categorização de níveis de risco de incêndios.

As informações geradas com base nos dados históricos de focos de calor podem ser incorporadas aos modelos de risco de incêndios que operam com dados puramente climáticos de forma a direcionar a priorização de áreas susceptíveis a incêndios, melhorando a espacialização do risco e portanto o planejamento e a tomada de decisão.

Finalmente, as próximas análises irão focar nas informações de uso e cobertura da terra de forma a gerar um dado com maior refinamento, e análises de distâncias a rodovias e estradas deverão ser incorporadas.

AGRADECIMENTOS

A primeira autora agradece as seguintes fontes de financiamento de projetos de pesquisa: CNPq 458022/2013-6, CNPq 400640/2012-0, Bolsa de Produtividade do CNPq (processo 309247/2016-0) e FAPESP 2013/50169-1.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, A., D. C.; NEPSTAD.; DIAZ, M. C. V. Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENSO and non-ENSO years: Area burned and committed carbon emissions, **Earth Interactions**, v. 10, p.1–17, 2006.

ANDERSON, L. O.; TRIVEDI, M.; QUEIROZ, J.; ARAGÃO, L. E. O. C.; MARENGO, J.; YOUNG, C.; MEIR, P. Counting the costs of the 2005 Amazon drought: A preliminary assessment, 2011. In: **Ecosystem Services for Poverty Alleviation in Amazonia**, 97-103 pp., Disponível em: < http://www.uvm.edu/~jfarley/publications/ESPA%20final%20report%20v2%20Edinburgh%20GCP%20et%20al_0.pdf >

ANDERSON, LIANA O.; ARAGÃO, L.E.O.C.; GLOOR, M.; ARAI, E.; ADAMI, M.; SAATCHI, S.; MALHI, Y.; SHIMABUKURO, Y.; BARLOW, J.; BERENQUER, E.; DUARTE, V. Disentangling the contribution of multiple land covers to fire-mediated carbon emission in Amazonia during the 2010 drought. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 28, p.1739–1753, 2015. doi:10.1002/2014GB005008.

ARAGÃO, L. E. O. C.; MALHI, Y.; ROMAN-CUESTA, R. M.; SAATCHI, S.; ANDERSON, LIANA O.; SHIMABUKURO, Y. E. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**, v. 34, doi:10.1029/2007.

BARBOSA, R. I.; P. M. FEARNSTIDE. Incêndios na Amazônia brasileira: Estimativa da emissão de gases do efeito estufa pela queima de diferentes ecossistemas de Roraima na passagem do evento “El Niño” 1997/98, **Acta Amazonica**, v. 29, p.513–534, 1999.

BRIENEN, R.J.W.; PHILLIPS O.L.; FELDPAUSCH T.R.; GLOOR E.; BAKER T.R.; LLOYD J.; LOPEZ-GONZALEZ G.; MONTEAGUDO-MENDOZA A.; MALHI Y.; LEWIS S.L.; VÁSQUEZ MARTINEZ R.; ALEXIADES M.; ÁLVAREZ DÁVILA E.; ALVAREZ-LOAYZA P.; ANDRADE A.; ARAGÃO L.E.O.C.; ARAUJO-MURAKAMI A.; ARETS E.J.M.M.; ARROYO L.; AYMARD C.A.G.; BÁNKI O.S.; BARALOTO C.; BARROSO J.; BONAL D.; BOOT R.G.A.; CAMARGO J.L.C.; CASTILHO C.V.; CHAMA V.; CHAO K.J.; CHAVE J.; COMISKEY J.Á.; CORNEJO VALVERDE F.; DA COSTA L.; DE OLIVEIRA E.A.; DI FIORE A.; ERWIN T.L.; FAUSET S.; FORSTHOFER M.; GALBRAITH D.R.; GRAHAME E.S.; GROOT N.; HÉRAULT B.; HIGUCHI N.; HONORIO CORONADO E.M.; KEELING H.; KILLEEN T.J.; LAURANCE W.F.; LAURANCE S.; LICONA J.; MAGNUSSEN W.E.; MARIMON B.S.; MARIMON-JUNIOR B.H.; MENDOZA C.; NEILL D.A.; NOGUEIRA E.M.; NÚÑEZ P.; PALLQUI CAMACHO N.C.; PARADA A.; PARDO-MOLINA G.; PEACOCK J.; PEÑA-CLAROS M.; PICKAVANCE G.C.; PITMAN N.C.A.; POORTER L.; PRIETO A.; QUESADA C.A.; RAMÍREZ F.; RAMÍREZ-ANGULO H.; RESTREPO Z.; ROOPSINDA.; RUDAS A.; SALOMÃO R.P.; SCHWARZ M.; SILVA N.; SILVA-ESPEJO J.E.; SILVEIRA M.; STROPP J.; TALBOT J.; TER STEEGE H.; TERAN-AGUILAR J.; TERBORGH J.; THOMAS-CAESAR R.; TOLEDO M.; TORELLO-RAVENTOS M.; UMETSU R.K.; VAN DER HEIJDEN G.M.F.; VAN DER HOUT P.; GUIMARÃES VIEIRA I.C.; VIEIRA A.S.; VILANOVA E.; VOS V.A.;

- ZAGT R.J. Long-term decline of the Amazon carbon sink. **Nature**, v.519 (7543), p. 344-348, 2015. doi:10.1038/nature14283.
- BROWN, I. F.; SCHROEDER, W.; SETZER, A.; MALDONADO, M. L. R.; PANTOJA, N.; DUARTE, A.; MARENGO, J. Monitoring fires in southwestern Amazonia Rain Forests. **EOS**, v. 87, p. 253-264, 2006.
- BUSH M.B, SILMAN M.R, DE TOLEDO M.B, LISTOPAD C, GOSLING W.D, WILLIAMS C, DE OLIVEIRA P.E, KRISSEL C. Holocene fire and occupation in Amazonia: records from two lake districts. **Philosophical Transactions of the Royal Society B-Series** v. 362, p. 209–218, 2007.
- CARDOSO, M. F.; HURTT, G. C.; MOORE, B.; NOBRE, C. A.; PRINS, E. Projecting future fire activity in Amazonia. **Global Change Biology**, 9, p.656 – 669, 2003.
- CHEN, Y.; RANDERSON, J. T.; MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; COLLATZ, J. G.; KASIBHATLA, P. S.; GIGLIO, L.; JIN, Y.; MARLIER, M. R.; Forecasting Fire Season Severity in South America Using Sea Surface Temperature Anomalies. **Science**, v. 334, p. 786-791, 2011.
- CNM - Confederação Nacional dos Municípios. Desastres naturais no Brasil - análise da portarias de situação de emergência e estado de calamidade pública de 2003 a 2010. (Estudo técnico CNM). Brasília: CNM; 2010.
- COCHRANE M.A; LAURANCE W.F. Fire as a large-scale edge effect in Amazonian forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, p.311–325, 2002.
- CLASSIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO BRASILEIRA DE DESASTRES (COBRADE). Disponível em <http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=2a09db34-e59a-4138-b568-e1f00df81ead&groupId=185960>. Acesso: 15 outubro 2015.
- CSISZAR, I.; SCHROEDER, W.; GIGLIO, L.; ELLICOTT, E.; VADREVU, K. P.; JUSTICE, C. O.; WIND, B. Active fires from the Suomi NPP Visible Infrared Imaging Radiometer Suite: Product status and first evaluation results. **Journal of Geophysical Research Atmosphere**, v. 119, p.1-14, 2013.
- IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2011. **Relatório de acidentes ambientais em 2010**. 32 páginas.
- INPE. Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios. Disponível em <<http://www.inpe.br/queimadas>>. Acesso em jan 2014.
- 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. **Journal of Geophysical Research Atmosphere**, v. 111, 2006.
- LI, W.; FU, R.; HUÁREZ, R. I. N.; FERNANDES, K. Observed change of the standardized precipitation index, its potential cause and implications to future climate change in the Amazon region. **Philosophical Transactions of the Royal Society B-Series**, v. 363, p. 1767-1772, 2008.
- MAEDA, E. E.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; ARCOVERDE, G. F. B.; HANSEN, M. C. Predicting forest fire in the Brazilian Amazon using MODIS imagery and artificial neural networks. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 11, p. 265-272, 2009.
- MARENGO, J.A.; TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, v. 38, 2011.
- MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v.36, n. 3, p. 1033–1050, 2015. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/joc.4420>>.
- MOREIRA, D. S.; FREITAS, S. R.; BONATTI, J. P.; MERCADO, L. M.; ROSÁRIO, N. M. É.; LONGO, K. M.; MILLER, J. B.; GLOOR, M.; GATTI, L. V. Coupling between the JULES land-surface scheme and the CCATT-BRAMS atmospheric chemistry model (JULES-CCATT-BRAMS1.0): applications to numerical weather forecasting and the CO2 budget in South America. **Geoscientific Model Development**

Discussions, 2013. v. 6. n. 1. p. 453-494.

NEPSTAD, D.C.; LEFEBVRE, P.A.; SILVA, U.L, JR.; TOMASELLA, J.; SCHLESINGER, P.; SOLORZANO, L.; MOUTINHO, P. R. DE S.; RAY, D.G. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basin-wide analysis. **Global Change Biology**, v. 10, p.704–717,2004.

PHILLIPS, O.L.; ARAGÃO L.E.O.C.; LEWIS S.L.; FISHER J.B.; LLOYD J.; LÓPEZ-GONZÁLEZ G.; MALHIY.; MONTEAGUDO A.; PEACOCK J.; QUESADA C.A.; VAN DER HEIJDEN G.; ALMEIDA S.; AMARAL I.; ARROYO L.; AYMARD G.; BAKER T.R.; OLAF BÁNKI O.; LILIAN BLANC L.; DAMIEN BONAL D.; BRANDO P.; CHAVE J.; ALVES DE OLIVEIRA A.C.; DÁVILA CARDOZO N.; CZIMCZIK C.I.; FELDPAUSCH T.R.; APARECIDA FREITAS M.; GLOOR E.; HIGUCHI N.; JIMÉNEZ E.; LLOYD G.; MEIR P.; MENDOZA C.; MOREL A.; NEILL D.A.; NEPSTAD D.; PATIÑO S.; CRISTINA PEÑUELA M.; PRIETO A.; RAMÍREZ F.; SCHWARZ M.; SILVA J.; SILVEIRA M.; SOTA THOMAS A.; TER STEEGE H.; STROPP J.; VÁSQUEZ R.; ZELAZOWSKI P.; ALVAREZ DÁVILA E.; ANDELMAN S.; ANDRADE A.; CHAO K.J.; ERWIN T.; DI FIORE A.; HONORIO E.; KEELING H.; KILLEEN T.J.; LAURANCE W.F.; PEÑA CRUZ A.; PITMAN N.C.A.; NÚÑEZ VARGAS P.; RAMÍREZ-ANGULO H.; RUDAS A.; SALAMÃO R.; SILVA N.; TERBORGH J.; TORRES-LEZAMA A. Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest. **Science** 323 (5919), p.1344-1347, 2009.

doi:10.1126/science.1164033

ROWLAND, L.; DA COSTA, A. C. L.; GALBRAITH, D. R; OLIVEIRA, R.S; BINKS, OLIVER J.; DE OLIVEIRA, A.A.R.; PULLEN, A.M; DOUGHTY, C. E; METCALFE, D B; VASCONCELOS, S; FERREIRA, L V; MEIR, PATRICK. Death from drought in tropical forests is triggered by hydraulics not carbon starvation. **Nature**, v.528, p.119-122, 2015. Disponível em: <http://www.nature.com/doi/10.1038/nature15539>.

SISMANOGLU, R.A.; SETZER, A.W. Risco de fogo da vegetação na América do Sul: comparação de três versões na estiagem de 2004. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, GO, p. 3349-3355, 16- 21/Abr/2005. http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/documentos/200504_sismanoglu&setzer_sbsr7_goiania_3349.pdf

SMITH, L.T.; ARAGÃO, L.E.O.C.; SABEL, C.E.; NAKAYA, T. Drought impacts on children's respiratory health in the Brazilian Amazon. **Scientific Reports**, v.4, p.1–8, 2014.

SPRACKLEN, D. V.; CARRERAS, L. G. The impact of Amazonian deforestation on Amazon basin rainfall. **Geophysical Research Letters**, v. 42, 2015.

SPRACKLEN, D. V.; ARNOLD, S. R.; TAYLOR, C. M. Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. **Nature**, v. 489, p. 282-285, 2012.

ANPIPAT, V.; HONDA, K.; NUCHAIYA, P. MODIS Hotspot Validation over Thailand. **Remote Sensing**, v. 1 (4), p.1043-1054, 2009.