

Emprego dos focos de calor na avaliação das áreas queimadas e em incêndios florestais em Paragominas, Pará, Brasil

Use of heat foci in the evaluation of burned areas and of forest fires in Paragominas, Pará, Brazil

Gil Mendes Sales^I, Jorge Luis Gavina Pereira^I, Marcelo Cordeiro Thalês^I,
René Pocard-Chapuis^{II}, Arlete Silva de Almeida^I

^IMuseu Paraense Emílio Goeldi/MCTIC. Belém, Pará, Brasil

^{II}Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement. Paris, França

Resumo: Os números de ocorrências de focos de calor têm crescido nos últimos anos no Brasil, evidenciando um quadro preocupante na dinâmica de ocupação. O emprego adequado destes dados de monitoramento pode subsidiar políticas de gestão locais que sejam eficazes e coerentes a uma nova ordem ambiental global. O objetivo deste artigo foi avaliar o emprego dos dados de focos de calor sobre a dimensão das queimadas ocorridas em Paragominas, Pará, no ciclo 2015-2016, para subsidiar o entendimento sobre a recorrência do fogo na paisagem, com vistas a proporcionar uma perspectiva construtiva de prevenção e de combate, cujo objetivo cadencia pressões, principalmente, aos remanescentes florestais e, por conseguinte, à qualidade ambiental. Foram utilizados dados do banco de dados de queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), produtos de sensores remotos e técnicas de geoprocessamento e interpretação de imagens para entender tais particularidades ocorridas no período. Os resultados demonstraram uma baixa coincidência dos focos de calor com risco de incêndio acima de 50% sobre as áreas queimadas mapeadas, em torno de 20% em 2015 e 10% em 2016. Por outro lado, foram importantes indicadores temporais das zonas de pressão aos remanescentes florestais, indicando, inclusive, ocorrência em boa parte dos assentamentos agrícolas.

Palavras-chave: Fogo. Focos de calor. Gestão territorial. Paragominas.

Abstract: The number of occurrences of heat sources has increased in recent years in Brazil, showing a worrying perspective in occupation dynamics. Proper use of these monitoring data can support effective and coherent local management policies. Therefore, the objective of this study was to evaluate the use of heat source data on the burning dimension in the municipality of Paragominas, State of Pará, in the 2015-2016 cycle, in order to subsidize our understanding of fire recurrence and to provide a constructive perspective for fire prevention and combat to protect forest remnants and, consequently, ensure environmental quality. For this purpose, data from INPE's Fire Database, remote sensing products and geoprocessing and image interpretation techniques were used to understand such particularities occurring in the period. The results showed a low coincidence of heat foci with a fire risk of over 50% on the mapped burned areas, around 20% in 2015 and 10% in 2016. On the other hand, they were important temporal indicators of the pressure zones to forest remnants, indicating, even, the occurrence in many of the agricultural settlements.

Keywords: Fire. Heat spots. Territorial management. Paragominas.

SALES, G. M., J. L. G. PEREIRA, M. C. THALÊS, R. POCCARD-CHAPUIS & A. S. ALMEIDA, 2019. Emprego dos focos de calor na avaliação das áreas queimadas e em incêndios florestais em Paragominas, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais** 14(1): 55-77.

Autor para correspondência: Gil Mendes Sales. Museu Paraense Emílio Goeldi/MCTIC. Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia. Programa de Capacitação Institucional - Rede GEOMA/Projeto Integrado de Modelagem da Cobertura da Terra do Pará. Av. Perimetral, 1901 - Terra Firme. Belém, PA, Brasil. CEP 66077-830 (gilsales@gmail.com).

Recebido em 26/04/2018

Aprovado em 08/11/2018

Responsabilidade editorial: Fernando da Silva Carvalho Filho



INTRODUÇÃO

A queimada da cobertura vegetal para uso da terra é amplamente utilizada na Amazônia, como parte de um processo cultural implícito de expansão ocupacional de novas áreas para o desenvolvimento de atividades agropecuárias (corte raso) ou como técnica agrícola utilizada no manejo agropastoril (limpeza da área). Essa ação do fogo nas atividades antrópicas está associada aos períodos de estiagem, ocasionando incêndios florestais (fogo fora de controle em qualquer tipo de vegetação), representando importante fatia dos danos ambientais, econômicos e para a saúde humana. De acordo com Motta *et al.* (2002), o fogo libera fumaça, provocando doenças respiratórias e emitindo gases para a atmosfera que contribuem com o aquecimento global.

Segundo Nepstad *et al.* (1999), antes de 1998, os incêndios na Amazônia eram particularmente restritos às áreas utilizadas para agricultura ou pecuária. A partir de 1980, pesquisadores começaram a observar o risco de o fogo alastrar-se para florestas exploradas. Ao entrar na década de 90, essas florestas começaram a queimar em larga escala, mas sem que isso representasse forte ameaça às florestas intactas. A seca de 1998, seguida de uma série de outras ocorridas na década, sinalizou para uma penetração efetiva de incêndios nos ecossistemas florestais intactos ao longo de grande parte da região, o que, possivelmente, caracteriza o início de um processo de perpetuação desses tipos de incêndios, uma vez que florestas tropicais estão sendo substituídas por vegetação mais propensa ao fogo.

A pressão que essas áreas florestais sofrem tem aumentado, consideravelmente, o número de incêndios e a extensão das áreas queimadas (Batista, 2004). Esse cenário torna-se preocupante à medida que os efeitos atingem a biodiversidade, a paisagem, a ciclagem de nutrientes (solo, água e ar), as instalações agrícolas, os cultivos e a saúde humana, em perspectivas impactantes e de conteúdo mitigatório profundo.

O primeiro “Inventário nacional de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa não

controlados pelo protocolo de Montreal”, submetido pelo Brasil em 2004, como parte de sua “Comunicação nacional inicial à convenção – quadro da Nações Unidas sobre mudanças do clima” (MCT, 2004), apontava que cerca de 76% das emissões nacionais de CO₂ provinham do setor “mudanças no uso da terra e florestas” (estimativas com ano-base em 1994). Assim sendo, o desmatamento e as queimadas na Amazônia e no Cerrado seriam responsáveis pela maior parte dessas emissões.

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), criado em 1998, o excesso de gases de efeito estufa na atmosfera, associado à redução da vegetação, pode elevar a temperatura nas porções sul e leste da Amazônia, que ficariam mais suscetíveis ao fogo. Para Nepstad *et al.* (1999), a maioria das florestas primárias da Amazônia não é inflamável durante anos de chuva normal; porém, os períodos de secas severas, normalmente associados aos eventos *El Niño*, e a extração de madeira aumentam a inflamabilidade de grandes áreas de floresta.

Portanto, as áreas florestais estariam em condições de vulnerabilidade, à medida que suas condições locais se tornam mais secas, pelo aumento da temperatura média da região e pela consequente queda de folhas e de galhos, alimentando a combustão. Ademais, segundo Erika Berenguer, bióloga e pesquisadora das universidades britânicas de Lancaster e Oxford, a extração de madeira e a ocorrência dos incêndios causam grande mortalidade da vegetação, resultando em clareiras no meio da floresta e, dessa maneira, permitindo maior entrada de luz solar e de vento, deixando-a mais seca ainda (*apud* Fachin, 2016). Essa combinação gera um ciclo vicioso (Fachin, 2016) e, segundo Nepstad *et al.* (1999), uma vez que já tenham sofrido a ação do fogo, as florestas da Amazônia tornam-se mais vulneráveis à ocorrência de novos incêndios.

Dentro desse cenário, no estado do Pará, o município de Paragominas, reconhecido como o ‘desmatador’ do passado, dá a volta por cima em 2011 e consegue sair da ‘lista suja’, através de um pacto feito entre seus atores e setores locais, ocupando, posteriormente, a lista dos

'municípios verdes'. O objetivo foi reunir esforços para recuperação de áreas devastadas da Amazônia, aumentar a produtividade da pecuária com menos área e, ainda, manter a reserva legal (Ortiz, 2014). Um município verde deve desenvolver atividades produtivas sustentáveis, com baixa emissão de carbono e alta responsabilidade social e ambiental, estimulando: a governança local para ampla gestão municipal do meio ambiente; o manejo florestal; a intensificação da agropecuária e do reflorestamento; o uso sustentável e a conservação das funções ecológicas das florestas e remanescentes; e a recuperação de Áreas de Preservação Permanente (APP) e Áreas de Reserva Legal (ARL) (Guimarães *et al.*, 2011).

Entretanto, detentor e vizinho de grandes remanescentes florestais, o município de Paragominas está localizado dentro da área central de 'endemismo Belém', que envolve parte dos estados do Pará e do Maranhão, e guarda consigo o grande desafio, em sua gestão territorial, de se manter firme no combate ao uso desautorizado do fogo, que traz riscos aos patrimônios público e particular. Em 2015 e 2016, percebeu-se em imagens de satélite da série Landsat extensas áreas queimadas no município, principalmente em áreas de florestas. Nesse sentido, as ações para o entendimento das mudanças no uso da terra e o seu reflexo na paisagem são de grande importância para o delineamento de indicadores que subsidiem a elucidação e a implementação de medidas sistemáticas de controle dos impactos ambientais, econômicos e sociais gerados, através de uma gestão em escala municipal mais adequada às necessidades de governança, coadunadas aos compromissos da condição de 'município verde'.

Em 2015, foi aprovado, na Organização das Nações Unidas (ONU), o Acordo de Paris, cujo propósito central foi o de fortalecer a resposta global à ameaça da mudança do clima. Os governos se envolveram na construção de seus próprios compromissos para redução de emissões de gases de efeito estufa, a partir das chamadas Pretendidas Contribuições Nacionalmente Determinadas (iNDC, na sigla em inglês).

Os esforços têm sido grandes para priorizar a conservação da Amazônia brasileira por meio de informações sobre conteúdo acerca das queimadas e do desmatamento, a partir de sistemas de monitoramento desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a exemplo do Programa Queimadas e do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES). O monitoramento de queimadas em imagens de satélites é útil para grandes áreas e regiões remotas sem meios intensivos de acompanhamento, como é o caso do Brasil (Junior, 2016).

A rapidez da detecção e o monitoramento dos incêndios florestais por meio de produtos oriundos de sensores remotos são ferramentas importantes para o aprimoramento das ações de controle do fogo, redução dos custos nas operações de combate e atenuação dos danos. Para Anderson *et al.* (2005), há duas linhas de pesquisa relacionadas à detecção das queimadas pela técnica de monitoramento: uma voltada à detecção dos focos de calor, importante para a definição da sazonalidade, frequência e variações anuais de queima; e a outra relacionada à espacialização das queimadas, pela quantificação da extensão das áreas afetadas por este evento.

Para Batista (2004), além desses aspectos, um conhecimento inadequado da localização do incêndio e da extensão da área queimada prejudica a estimativa do impacto do fogo sobre o ambiente, sendo fundamental para o planejamento do controle, bem como para o dimensionamento dos efeitos produzidos pelo fogo sobre o ambiente.

É importante considerar que os impactos socioambientais provocados por queimadas ultrapassam as dimensões locais e regionais, posto que a destruição de grandes florestas, como a amazônica, pode alterar alguns ciclos da troposfera que determinam mudanças climáticas globais. Nesse sentido, reduzir o desflorestamento e as queimadas ganha cada vez mais importância no debate ambiental global e eleva a responsabilidade dos países onde o problema é encontrado.

Assim sendo, este trabalho teve por objetivo avaliar o emprego dos dados de focos de calor sobre a dimensão das queimadas ocorridas no município de Paragominas, Pará, no período entre 2015 e 2016. Para isso, foram usados dados provenientes do banco de dados de queimadas do INPE, produtos de sensores remotos e técnicas de geoprocessamento para viabilizar o entendimento sobre a recorrência do fogo na paisagem.

Pressupõem-se, portanto, que sua contribuição enseje uma perspectiva construtiva de prevenção e de combate às pressões, especialmente aos remanescentes florestais, através de políticas públicas voltadas para a gestão do planejamento do uso da terra, aliadas ao combate ao fogo, principalmente quanto ao Programa Nacional de Redução e Substituição do Fogo nas Áreas Rurais e Florestais (PRONAFOGO), voltado para ações que busquem a

redução do uso do fogo nas práticas agropastoris ou mesmo sua substituição como técnica de manejo.

MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é o município de Paragominas (Figura 1), situado no nordeste do estado do Pará, Região de Integração (RI) Rio Capim, entre as coordenadas geográficas de latitudes $2^{\circ} 24' 36''$ S e $3^{\circ} 50' 20''$ S e longitudes $46^{\circ} 25' 01''$ W e $48^{\circ} 53' 31''$ W, cuja área municipal é de 19.342,254 km². Este município apresenta densidade demográfica de 5,06 hab./km², com população estimada de 108.547 habitantes (IBGE, 2016).

Paragominas abriga a maioria das atividades econômicas da Amazônia, como pecuária, atividade

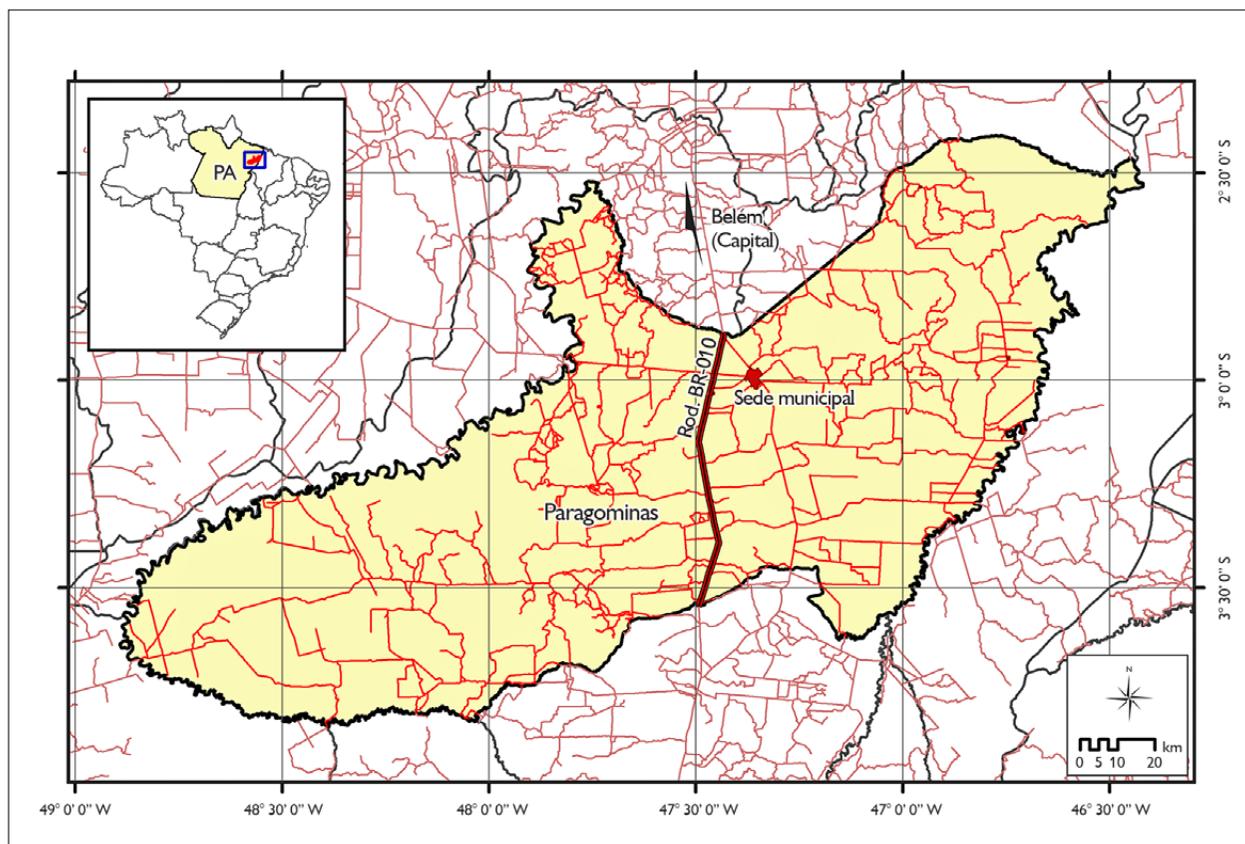


Figura 1. Localização do município de Paragominas, no estado do Pará. Fonte: modificado de IBGE (2017).

madeireira, produção de carvão, reflorestamento, mineração de bauxita e agricultura de pequena, média e grande escala. Em 2007, o município possuía o sexto maior rebanho do Pará, com 419.430 cabeças de gado, equivalente a 3% do rebanho bovino paraense. Paragominas produziu 653 mil metros cúbicos de madeira em 2007, equivalente a 7% da produção paraense. A partir de 2000, o município tem se destacado na produção de grãos, especialmente de arroz, de milho e de soja, cultivos que já ocupam aproximadamente 35 mil hectares de terras da localidade (Pinto *et al.*, 2009).

Com uma expressiva cobertura vegetal original (em torno de 66% do território – segundo Costa & Fleury, 2015), o município de Paragominas busca contabilizar seu patrimônio de fragmentos florestais desde o início do Programa Municípios Verdes (PMV)¹, sendo o 59º município a aplicar o controle de usos e preservação da cobertura vegetal pelo programa de Cadastro Ambiental Rural (CAR), ali implantado pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Pará (SEMAS-PA), desde 2011.

BASE CARTOGRÁFICA

Este trabalho utilizou a base cartográfica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), da Fundação Nacional do Índio (FUNAI), do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) e do Ministério do Meio Ambiente (MMA).

IMAGENS DE SATÉLITE

No âmbito deste estudo, foram selecionadas imagens com a menor cobertura de nuvens do satélite Landsat, referentes às órbitas 222 e 223, pontos 62 e 63, respectivamente, nas bandas de comprimentos de onda do vermelho (banda 4), infravermelho próximo (banda 5) e infravermelho médio (banda 6), conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Datas de obtenção das imagens do satélite Landsat. Fonte: modificado de USGS (2017a).

	Órbita/ponto	Imagens (Datas dos mosaicos)		
		Dia	Mês	Ano
Landsat-8 (Sensor OLI – Operational Land Imager)	222/62 e 222/63 (Mosaicos)	27	08	2015
		12	09	2015
		30	10	2015
		01	12	2015
		28	07	2016
	223/62 e 223/63 (Mosaicos)	18	08	2015
		21	10	2015
		08	12	2015
		19	07	2016
		21	09	2016

Também foram utilizadas as imagens do Produto *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), do satélite AQUA, sensor MODIS, versão 6 (MYD13Q1), que é referido como o índice de continuidade do NDVI, derivado do *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) (Tabela 2). Os dados estão estruturados em uma coleção com dimensões geográficas de 1.200 km x 1.200 km, com uma grade de produto que consiste em 4.800 linhas e 4.800 colunas de pixels de 250 metros, onde o algoritmo escolhe o melhor valor de pixel disponível de todas as aquisições do período de 16 dias. A base dos critérios é a ocorrência de poucas nuvens, ângulo de visão baixo e o valor NDVI/EVI (*Enhanced Vegetation Index*) mais alto. O arquivo *Hierarchical Data Format* (HDF) contém camadas de vegetação e duas camadas de avaliação de qualidade (QA, na sigla em inglês), traz bandas de reflexão MODIS 1 (vermelho), 2 (infravermelho próximo) 3 (azul) e 7 (infravermelho médio), bem como quatro camadas de observação (USGS, 2017b).

¹ Programa do governo do Pará desenvolvido em parceria com o governo federal, administrações municipais, Ministério Público, empresários, produtores e outras instituições representativas de setores produtivos (SEMAS-PA, 2016).

Tabela 2. Datas de obtenção das imagens do satélite AQUA. Fonte: modificado de USGS (2017b).

Satélite (Sensor)	Produto	Período
		A cada 16 dias
AQUA (MODIS)	NDVI (MYD13Q1 – V6)	2010 a 2016

PROCESSAMENTO DAS INFORMAÇÕES ESPACIAIS

No processamento da maior parte das informações espaciais (base de dados e imagens de satélite), foram utilizados os recursos do *software* ArcGIS, versão 10.0 (ArcGIS, 2010). Para os trabalhos de elaboração do mapa de cobertura vegetal e uso da terra, foi também utilizado o *software* SPRING, versão 5.4.3 (Câmara *et al.*, 1996).

Dimensão espacial e temporal

Mapeamento das queimadas

O mapeamento das áreas queimadas no município de Paragominas, Pará, ocorreu a partir da interpretação visual sobre imagens normalizadas (padronização espectral) do satélite Landsat-8, baseando-se em características espectrais peculiares registradas na imagem e, posteriormente, nos trabalhos de campo, a fim de identificar a verdade terrestre.

As imagens foram definidas para atender um ciclo anual (2015-2016) de observação das queimadas, que se estende de julho a julho. Este ciclo engloba o período típico de estiagem na região (julho a dezembro) e o período típico de chuvas (janeiro a junho). Para 2015, foi possível observar as ocorrências trimestralmente (meses de agosto, outubro e dezembro). Em 2016, deu-se o fechamento da observação, com nova janela de viabilidade de imagens coincidindo com o recomeço de um novo ciclo, isto é, com o mês de julho.

Inicialmente, a interpretação começou a ser feita pelas imagens do mês de agosto/2015, sendo, nesse caso, as queimadas significativas para mapeamento na paisagem. Posteriormente, essas interpretações foram

a base para o desenvolvimento do mapeamento, data a data, até o mês de julho/2016. Temporalmente, este procedimento de mapeamento incluiu o desaparecimento de registros de áreas queimadas ao longo da análise, a permanência e a ampliação de alguns registros, assim como o mapeamento de novos registros de áreas queimadas na paisagem sobre as datas analisadas.

Sobre os dados mapeados, foram realizadas as análises qualitativas e quantitativas, posteriormente tabuladas, objetivando-se um detalhamento dos dados em relação ao quadro de evolução das queimadas no município por meio de gráficos.

Focos de calor

Os dados referentes aos focos de queimadas e incêndios florestais sobre o município de Paragominas, Pará, no período de 2010 a 2016, foram obtidos a partir do banco de dados de queimadas (INPE, 2017a). Este banco de dados, lançado em 01/09/2016, é interativo e contém detecções dos focos de calor a partir de imagens de satélites, com atualização a cada três horas. Os dados utilizados são referentes aos do sensor MODIS, presentes nos satélites polares TERRA e AQUA, os quais se deslocam em sentido norte-sul e apresentam menor distância da Terra (Tabela 3).

Os focos de calor foram refinados excluindo-se duplicidade e risco de fogo abaixo de 50%, pois julgou-se que, ao se fazer tal escolha, o critério de aplicabilidade dos focos seria mais pertinente e, como tal, manifestaria um cenário de correlação mais correta e segura. Sobre estes dados, foram aplicadas técnicas para análise da densidade das ocorrências. Foram utilizadas as ferramentas de densidade de Kernel e densidade de pontos propriamente dita, presentes no ArcGIS 10.0. Elas promovem a observação de uma concentração de eventos finita, indicando formas de aglomeração em uma distribuição espacial – que é uma função de densidade de probabilidade de uma variável aleatória –, através de zonas com gradações de intensidades por meio de cores, sendo a cor mais quente a de maior densidade.

Tabela 3. Características do sensor que registra focos de calor (MODIS). Legenda: * = no canal termal. Fonte: EMBRAPA (2017).

Satélite (sensor)	Órbita	Resolução espacial* (km)	Frequência temporal	Canal termal
TERRA/ AQUA (MODIS)	Polar	1 x 1	1 a 2 dias	20 (3,66- 3,84 μm)

Na densidade de Kernel, é usada uma função estatística de estimativa da densidade por meio de uma grade sobre a área, cujos valores de área de saída e o raio do círculo são calculados automaticamente, por meio dos parâmetros da relação entre as distâncias vertical e horizontal das imagens (pixels). A partir de cada ponto da grade, são identificados outros pontos que estão a uma distância menor ou igual ao raio do círculo, o qual está centrado neste – e assim sucessivamente –, levando-se em conta uma ponderação entre os pontos. Em cada ponto encontrado no círculo, é calculada a função Kernel e acumulado o valor. O resultado final da soma acumulada é a densidade da função de Kernel por km^2 .

Já na densidade de pontos, o produto é um reflexo da concentração de ocorrências dos pontos, a partir da definição automática da área de saída, porém, com possibilidade de definição do raio do círculo, que, neste caso, foi de 564 m para gerar 1 km^2 de área. Desse modo, o resultado final representa a densidade de pontos por km^2 .

Para suavização e melhor visualização dos resultados das densidades, foi utilizada uma ferramenta de interpolação bilinear (para dados contínuos).

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

A iniciativa de utilizar índices espectrais sustentou-se na busca por relacionar o potencial de monitoramento em função da continuidade e da disponibilidade do produto. Suas empregabilidades têm recebido bastante atenção,

pela simplicidade conceitual e pelo bom desempenho computacional, reduzindo, assim, o tempo de processamento e de eliminação da subjetividade da interpretação visual de áreas queimadas (Veraverbeke *et al.*, 2011).

Os índices de vegetação buscam combinar, sob a forma de razões, as informações contidas na radiação refletida pelos dosséis da vegetação, sendo obtidos por várias combinações matemáticas das reflectâncias em várias faixas espectrais da radiação eletromagnética. Em geral, são transformações lineares de bandas espectrais em faixas do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético.

Nas regiões do visível, os pigmentos das plantas provocam absorção de energia primeiramente para realização da fotossíntese. No infravermelho próximo, a interação ocorrida é bem diferente: a energia, nesta região, não é empregada na fotossíntese, sendo fortemente dispersada na estrutura interna da folha, proporcionando uma elevada reflectância (Rosendo, 2005).

Para Epiphanyo *et al.* (1996), estes índices realçam, em geral, o comportamento espectral da vegetação que pode ser correlacionado com os parâmetros biofísicos da mesma, como biomassa, índice de área foliar, percentagem de cobertura vegetal, com possibilidade, ainda, de analisar graus de correlação com o vigor da vegetação verde, percentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade.

Assim sendo, este trabalho avaliou o emprego do produto NDVI do MODIS/AQUA para o mapeamento das áreas queimadas. O NDVI^2 é um índice de vegetação normalizado, aplicado ao monitoramento e à quantificação das condições da distribuição espacial da vegetação. Quanto maior seu valor, mais plena é a condição da vegetação, sendo o contrário quando algum aspecto favorece a redução da taxa fotossintética e sua transpiração.

Assim sendo, a partir dos impactos das queimadas, esperava-se que o comportamento espectral da radiação fotossinteticamente absorvida sobre cobertura vegetal

² $\text{NDVI} = \text{infravermelho próximo} - \text{vermelho} / \text{infravermelho próximo} + \text{vermelho}$ (seu valor está compreendido de -1 a +1).

sofresse alguma alteração e, assim, possibilitasse a extração de informações de maneira mais rápida, eficaz e contínua sobre o município de Paragominas.

A partir de um conjunto de amostras, foram avaliados os dados de NDVI gerados por meio das imagens de reflectância do satélite Landsat 8. As amostras de 500 m x 500 m em áreas de floresta e 250 m x 250 m em áreas de não floresta foram coletadas em cenário isento de queimada (junho/2015) e em cenário queimado (julho/2016), de maneira a se obter a comparação do comportamento do NDVI. Ainda, as mesmas amostras foram utilizadas para a avaliação sobre o produto NDVI (MYD13Q1 – V6), para incremento das comparações e avaliação do produto que reuni o apanhado de 16 dias de coleta de dados – neste caso, foram duas imagens para cada órbita/ponto do Landsat, de maneira a preencher o período do mês.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

MAPEAMENTO DAS ÁREAS QUEIMADAS (CICLO 2015-2016) E AVALIAÇÃO DOS QUANTITATIVOS DE INCREMENTOS

No ciclo 2015-2016, constatou-se extensa atividade do fogo sobre a paisagem do município, a partir do mapeamento dos padrões espectrais identificados na imagem, cujo registro se deu em razão das alterações impostas pela ação do fogo sobre sua cobertura vegetal (Figuras 2A a 2D).

Se for considerada a extensão de maior registro de área queimada no ano de 2015 (valor do registro em dezembro/2015), tem-se cerca de 7% de seu território afetados pelo fogo; enquanto que, no ano de 2016 (valor do registro em julho/2016), este valor sofreu acréscimo de 5%, estendendo-o para uma representatividade de

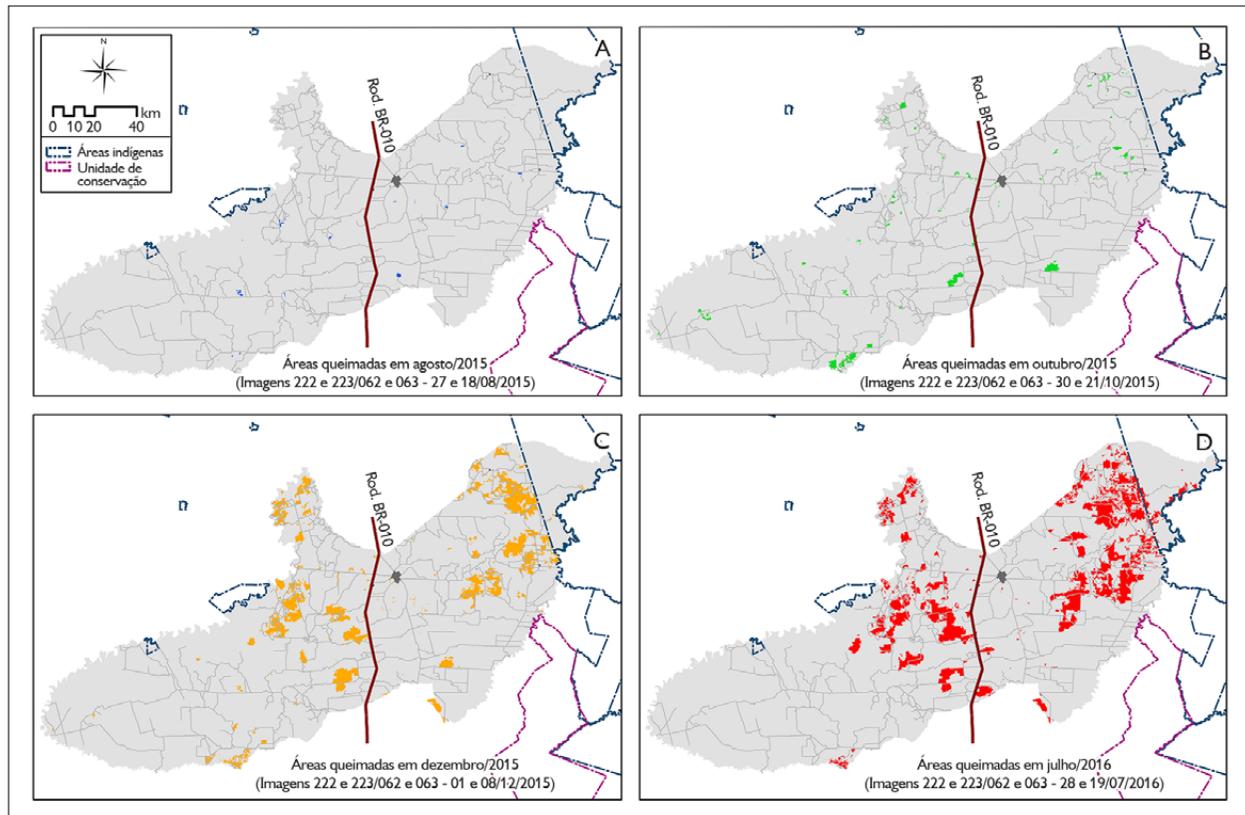


Figura 2. Áreas queimadas no município de Paragominas, Pará (ciclo 2015-2016): A) em agosto/2015; B) em outubro/2015; C) em dezembro/2015; D) em julho/2016. Mapa elaborado pelos autores.

12% desta paisagem. Isso representa algo em torno de 1.353,95 km² e 2.321,07 km² da área do município, respectivamente. Trata-se de um impacto, no mínimo, alarmante, principalmente quando se considera que foi evidente a pressão sobre áreas protegidas (a nordeste do município).

Um dos aspectos importantes e que foi observado para as avaliações deste contexto refere-se à geoclimatologia. Nos anos de 2015 e 2016, foram registradas chuvas abaixo do mínimo da precipitação acumulada histórica (Figura 3), resultando em um período mais intenso de estiagem.

Bastos *et al.* (2010), estudando os principais aspectos do clima de interesse para a agricultura em Paragominas, entre 1973 e 2004, concluíram que, em alguns anos, a flutuação de totais de chuva por ano, comparada a totais de excedentes e déficits de água, indica totais de excedentes hídricos muito baixos (em torno de 200 mm) e de deficiências muito altos (acima de 600 mm). Dessa maneira, esta anomalia parece ser recorrente no município, porém desprovida de uma relação ou de associação deste fato com a implementação do agente fogo até o presente momento.

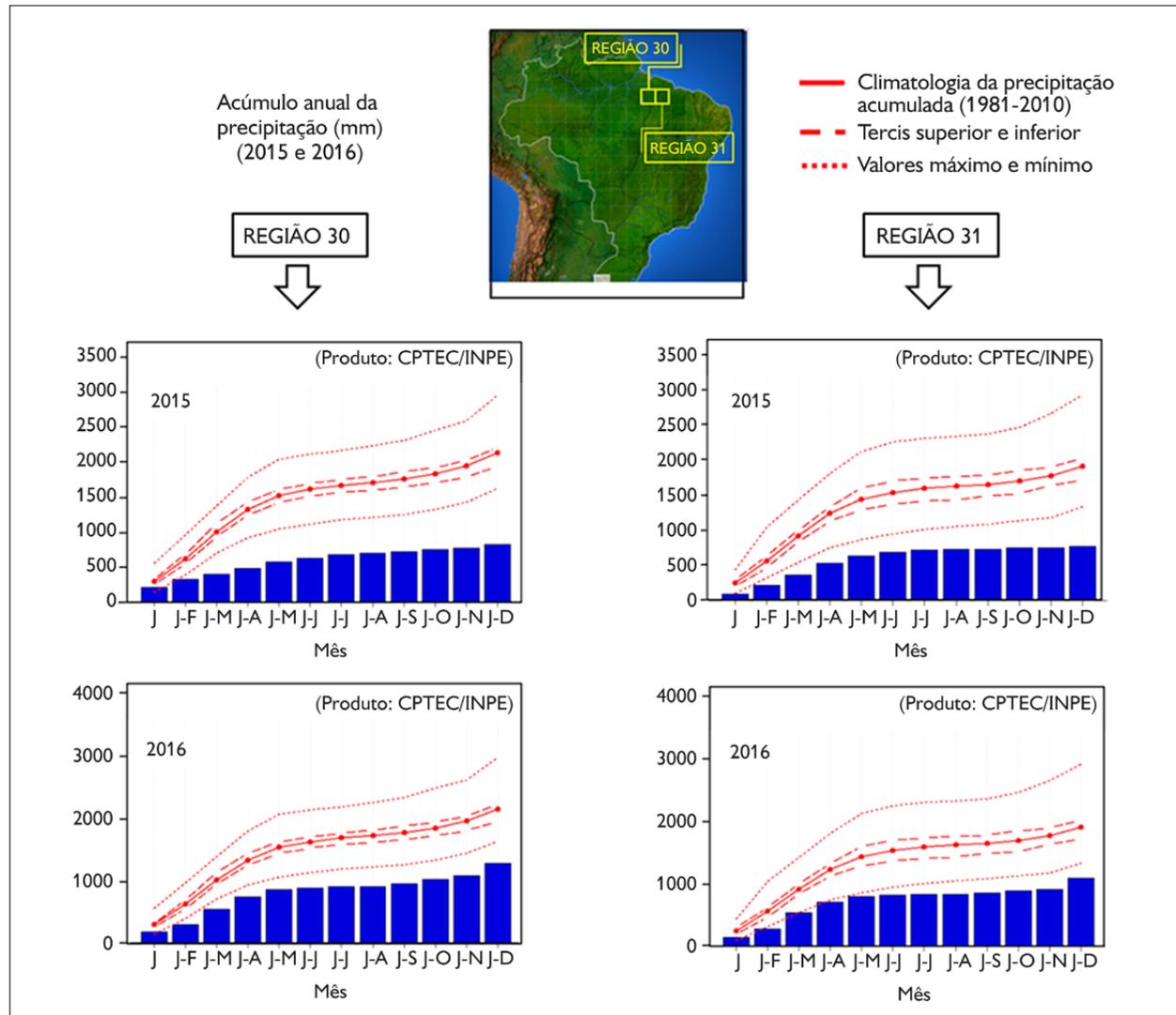


Figura 3. Acúmulo anual da precipitação em 2015 e 2016 (dados das regiões 30 e 31). Fonte: modificado de CPTEC (2017).

Na Figura 4, estão demonstrados os quantitativos da extensão da ação do fogo para o ciclo 2015-2016. É possível observar aumento gradativo e impactante dos registros de ocorrência ao longo do período de observação.

Esses resultados expressivos pressupõem que houve oferta de condições favoráveis ao desenvolvimento do fogo – quer seja por novas ignições quer seja por propagação pelo consumo de material seco –, entre as quais ganha destaque o efeito potencial do clima localmente.

Em condições climáticas favoráveis (pouca chuva e baixa umidade do ar), o fogo é potencializado em seu alastramento (Mendoza, 2002). Na região amazônica, por exemplo, as queimadas surgem com maior intensidade nos períodos de estiagem e são intensificadas principalmente em anos em que ocorre o fenômeno *El Niño* (Nepstad *et al.*, 1999; Fachin, 2016). Isso foi relatado por Barbosa (2010), ao analisar a distribuição das queimadas no estado de Roraima entre os anos de 1999 a 2009, constatando a coincidência de períodos de maior ocorrência ligados a este fenômeno. Esta ocorrência estende-se em nível global, pois tal associação foi verificada também na África, onde o *El Niño* antecipa as queimadas agrícolas, alongando o período tradicional destas e, assim, aumentando o número de focos de queimadas no decorrer do ano (Brumatti, 2012).

Ao se projetar uma estimativa do impacto da ação do fogo mensalmente, somando-se apenas os eventos de ocorrência de queimada em cada data, verifica-se que: para o período 1 de registro (agosto a outubro/2015 – três meses), o fogo afetou, em média, cerca de 6.488,34 ha/mês; por sua vez, no período 2 de registro (outubro a dezembro/2015 – três meses), a ação do fogo foi capaz de atingir, em média, 44.161,41 ha/mês; e, por fim, no período 3 de registro (dezembro/2015 a julho/2016 – oito meses), a área afetada pela ação do fogo queimou, em média, 28.135,31 ha/mês. Ainda, quando se projeta uma estimativa para todo o período de registro (agosto/2015 a julho/2016 – 12 meses), atribui-se um impacto em área na ordem de 20.378,96 ha/mês. Este valor equivale a 28.542

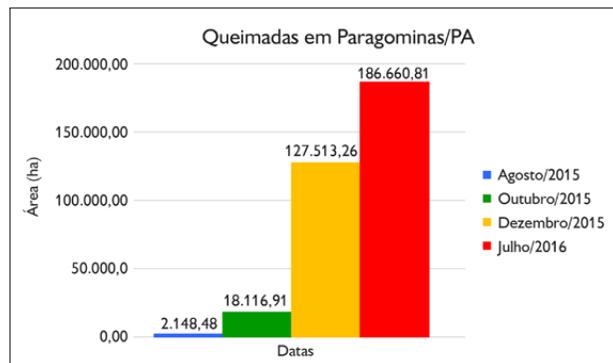


Figura 4. Quantitativo (em ha) das áreas queimadas no município de Paragominas, Pará (ciclo 2015-2016).

campos de futebol do Maracanã (105 m x 68 m = 0,714 ha) queimados todo mês neste ciclo de observação.

O destaque está para a ocorrência de maior valor, que se deu no último trimestre do ano de 2015, cuja área atingida foi bem superior às demais. Provavelmente, esse fato está relacionado a uma intensificação das atividades agrícolas antes da instauração das chuvas do ano seguinte (2016) e que foram, nesse caso, somatizadas por chuvas com anomalia negativa bastante intensa (Figura 5).

Outro aspecto relevante é observado quando se compara os registros das áreas queimadas em julho/2016 com os de agosto e dezembro/2015. Os registros de área queimada em julho/2016 foram apenas cerca de 5% menores (5.252,85 ha) em relação a dezembro/2015 e 51 vezes maiores (cerca de 107.766,36 ha) em relação a agosto/2015. Certamente, neste período, a componente climatológica teve importante papel no comportamento dos agentes ativos para o estabelecimento do fogo nos períodos mais comuns a tal cenário (julho a dezembro), em comparação ao cenário de praticamente ausência de tal atividade (janeiro a junho). Essa afirmação ganha relevância à medida que, pela lógica, fossem registrados valores equivalentes em julho/2015, já que 2014 também foi um ano de chuvas anômalas negativamente, mas sem a constatação de tal fato. Aliás, é em 2014 que se acentuam as anomalias negativas deste evento, iniciado em 2012 (Figura 5).

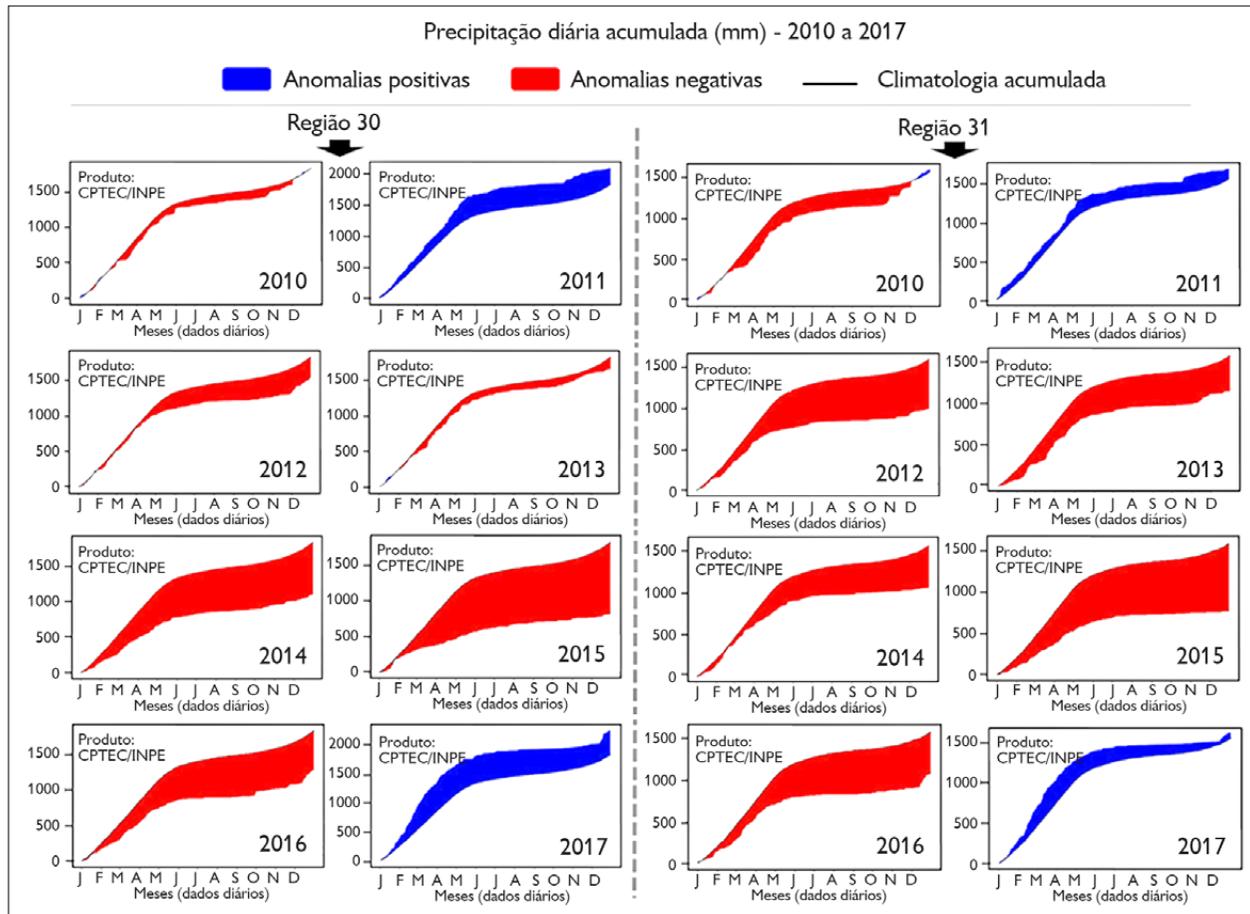


Figura 5. Precipitação diária na região (regiões 30 e 31) que engloba Paragominas, Pará (2010 a 2017). Fonte: modificado de CPTEC (2017).

Possivelmente, o aumento/intensificação das práticas agrícolas (uso do fogo) tenha sido singular neste período.

MAPEAMENTO E DIAGNÓSTICO DAS OCORRÊNCIAS DO FOGO NA PAISAGEM AO LONGO DE SETE ANOS

Focos de calor em áreas queimadas no período de 2010 a 2016

Um dos aspectos inerentes ao mapeamento das áreas queimadas no município foi entender o quão relacionadas elas estavam aos dados de focos de calor que são disponibilizados diariamente pelo INPE. Segundo o INPE (2017b), os focos de calor são indicativos de que será

detectada uma frente de fogo com cerca de 30 m de extensão por 1 m de largura, ou maior. Levando-se em conta que os satélites utilizados para este estudo foram TERRA e AQUA, com resolução espacial (pixel) de 1 km x 1 km, uma queimada de algumas dezenas de m² seria identificada como tendo pelo menos 1 km².

A avaliação tinha por objetivo descobrir se esses focos trariam algum indicativo espacial sobre as áreas que foram mapeadas e mesmo se existia uma dinâmica capaz de estabelecer um padrão espacial de ignições de fogo ao longo do período. Para tal, lançou-se mão de uma avaliação dedicada a estimar as zonas mais intensas de ocorrências de focos, por meio da densidade dos focos pelo método Kernel e de densidade de pontos propriamente dito.

Os dados da avaliação, no período de 2010 a 2016, podem ser visualizados na Figura 6.

Os resultados apresentados referem-se às detecções com estimativas acima de 50% (isto é, a seleção dos focos com valores tabulados de 0,6 em diante) de risco de fogo ocorridas ao longo de sete anos, excluídas as duplicidades de ocorrências. Pode-se dizer que, em grande parte, a estimativa das zonas de ocorrências de focos de calor coincidiu com as áreas mapeadas. Esse indicativo de recorrência espacial de registros de focos, pelo menos no período analisado, define um padrão particular de zonas que estão em constantes pressões e também pode ser representativo de áreas nativas sujeitas a constante degradação, principalmente da biodiversidade.

Sendo o monitoramento dos focos de calor diário, resolveu-se distinguir os períodos de registro dos satélites,

visando uma avaliação detalhada em dois períodos: manhã (Figura 7A) e tarde (Figura 7B).

A partir da análise dos dados, foi possível dizer que as ocorrências dos focos de calor foram mais intensas no período da tarde. Os sensores a bordo dos satélites TERRA e AQUA registram os focos no período da tarde às 14:00 h e às 17:00 h, enquanto, pela manhã, a passagem ocorre às 03:00 h e às 04:00 h, respectivamente. Portanto, é pertinente analisar que a intensidade dos focos declina no período noturno e, logo, aumenta ao raiar do dia, possivelmente em função de um cenário favorável à propagação do fogo e/ou à ignição de novas áreas.

Com o intuito de se ter uma avaliação mais específica das ocorrências dos focos de calor, julgou-se necessário realizar análise sobre a intercessão desses focos com as áreas queimadas, mapeadas no ciclo 2015-2016.

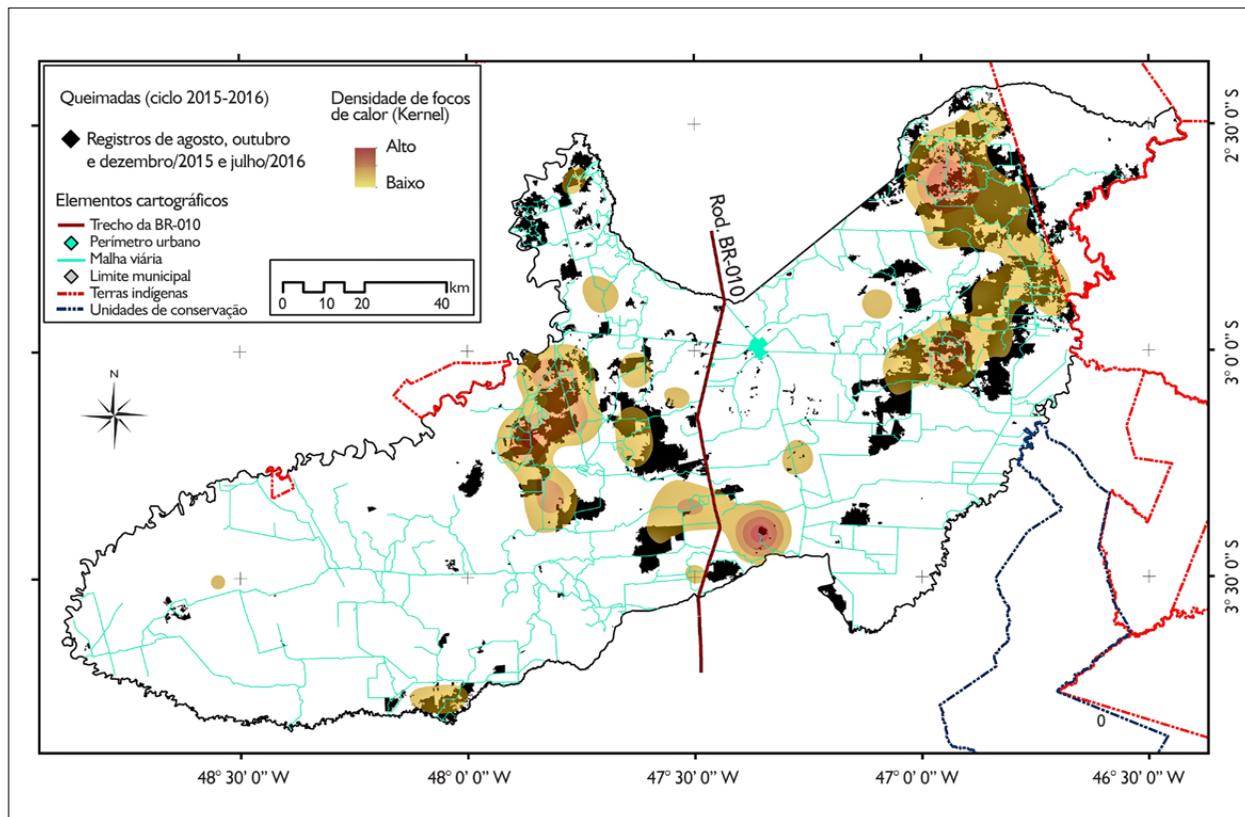


Figura 6. Avaliação da ocorrência da densidade Kernel dos focos de calor de 2010 a 2016 (com risco de fogo acima de 50%) sobre as áreas queimadas em Paragominas (ciclo 2015-2016). Mapas elaborados pelos autores.

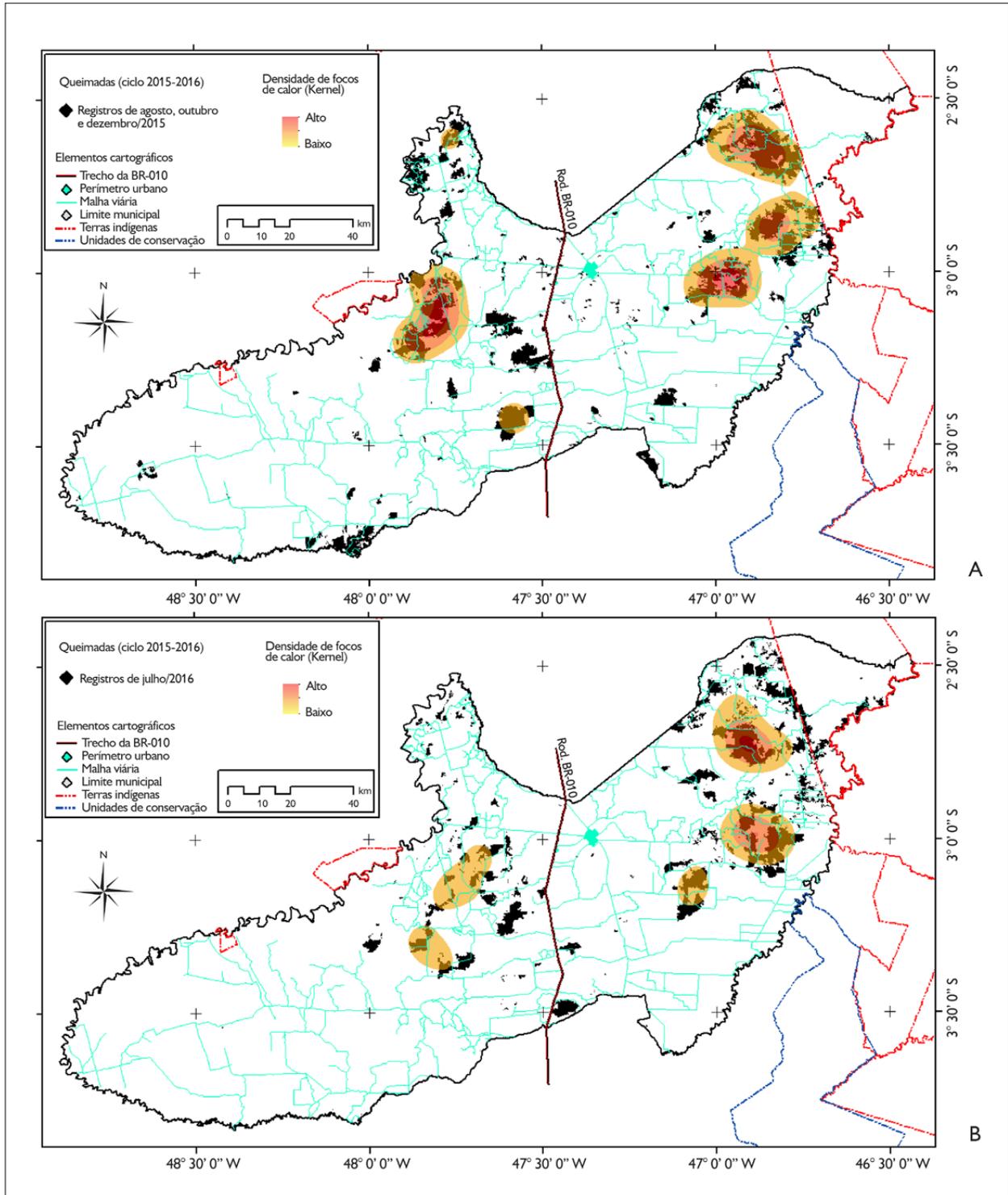


Figura 8. Avaliação da ocorrência da densidade Kernel dos focos de calor de 2010 a 2016 (com risco de fogo acima de 50%) sobre as áreas queimadas em Paragominas em 2015 (A) e 2016 (B). Mapas elaborados pelos autores.

Focos de calor em áreas queimadas no período de 2015 e 2016

Estudos conduzidos no estado do Acre evidenciaram omissões dos satélites na captação de focos de calor entre 65 a 100% das ocorrências de fogo (Pantoja *et al.*, 2005; Pantoja & Brown, 2007). Sob a mesma ótica, Tomzhinski *et al.* (2011), ao compararem os registros de observação (sistema de monitoramento do Parque Nacional do Itatiaia) com os registros dos focos de calor disponíveis, puderam concluir que os satélites deixaram de detectar 96% das ocorrências de incêndios de pequeno porte analisadas (menores que 10 ha). Levando-se em conta apenas os de médio (entre 10 e 52 ha) e de grande porte (maiores que 700 ha), a omissão foi de 75%.

Segundo Tomzhinski *et al.* (2011), as análises confirmaram os estudos em outras regiões, demonstrando que o método de detecção de focos de calor, se utilizado isoladamente, omite significativa parte das ocorrências de fogo. E, nesse caso específico, essas ocorrências são ainda mais significativas devido à área se localizar em região de serras (serra da Mantiqueira), onde as propriedades são, em geral, pequenas e médias, o relevo é acidentado e a maioria das ocorrências de incêndios é de menor proporção e duração em comparação a outras regiões do país, como a Norte e o Centro-Oeste.

Quando se fez a análise em cada período (em 2015 e em 2016) baseada na densidade de pontos propriamente dita, excluindo-se focos de calor que não estavam dentro das áreas de queimadas, os resultados demonstraram as zonas com densidade de registros no período de 2015 (Figura 9A) bem maior do que para o ano de 2016 (Figura 9B). Ou seja, houve mais densidade e coincidência sobre as áreas queimadas em relação ao período de análise de 2015 (agosto a dezembro) do que para o período de 2016 (janeiro a julho).

No geral, para 2015, os focos apresentaram compatibilidade com o mapeamento das áreas queimadas, enquanto, no ano de 2016, praticamente não houve coincidência entre os focos de calor e as áreas queimadas.

Segundo o INPE (2017b), existem condições que impedem ou prejudicam muito a detecção das queimadas. Para este estudo, entre elas, ganha destaque as seguintes condições que podem ter influenciado a detecção: a) frentes de fogo com menos de 30 m; b) fogo acometendo apenas o chão da floresta densa, sem afetar a copa das árvores; e c) imprecisão na localização do foco de queima, que, no melhor caso, é de cerca de 1 km, mas podendo chegar a 6 km. Além disso, é *sine qua non* considerar-se que a captação dos satélites se baseia em emissões de radiação termal, sendo, por isso, importante a percepção da condição, *a priori*, de focos de calor, já que nem sempre esta fonte provém de uma queimada. Baseando-se na correlação entre áreas queimadas mapeadas e ocorrência de focos de calor, é possível dizer que houve uma omissão considerável no período de 2016 para o critério acima de 50% de risco de fogo.

Pantoja *et al.* (2005) destacam que podem ocorrer tantos erros de omissão como de comissão, sendo que os de omissão dizem respeito à disparidade entre a veracidade do fato e a ausência de registro e os de comissão (ou inclusão) referem-se à ausência do fato e do registro de tal possibilidade.

Em se tratando de análise, é importante destacar que as formas e os tamanhos podem variar, quando se compara os focos de calor com as queimadas e os incêndios florestais (Pantoja & Brown, 2007). As observações de sobrevoo no estado do Acre indicaram que a grande maioria das queimadas era de poucos hectares (típicas de corte e queima feitas por pequenos produtores rurais) e, nesse caso, um pixel de um foco de calor poderia, em tese, incluir várias queimadas.

No cenário do município de Paragominas, Pará, percebeu-se, no período em estudo, que as áreas afetadas foram bem extensas, trazendo grande particularidade da magnitude da queima de florestas, já que essa foi a tipologia vegetal mais quantificada neste evento (Figura 2D). Portanto, esperava-se que a omissão dos registros para o período de análise, em 2016, fosse outra e que mantivesse a mesma lógica do período de 2015.

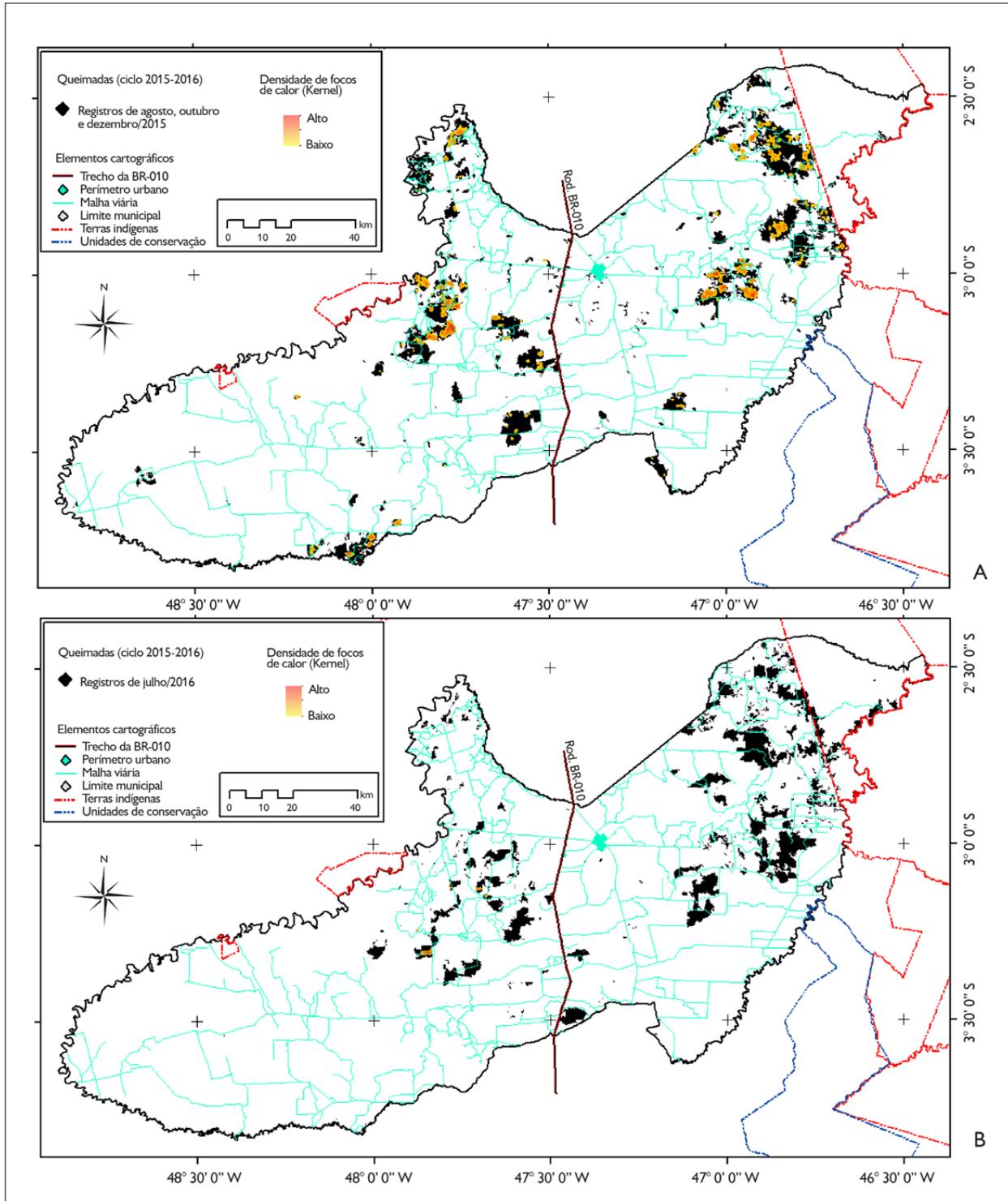


Figura 9. Avaliação da ocorrência da densidade dos focos de calor em 2015 e 2016 (com risco de fogo acima de 50%) sobre as áreas queimadas em Paragominas, Pará, em 2015 (A) e 2016 (B). Mapas elaborados pelos autores.

Uma parte importante para consolidar espacialmente os dados de focos de calor com as áreas queimadas foi o cruzamento destas áreas com os Projetos de Assentamento (PA) Agrícola (agricultura familiar) em Paragominas, de

maneira a qualificar a natureza das possíveis ignições de fogo, isto é, o objetivo a ser alcançado estava centrado em verificar se existia aleatoriedade de tais ocorrências. Os resultados podem ser vistos nas Figuras 10A e 10B.

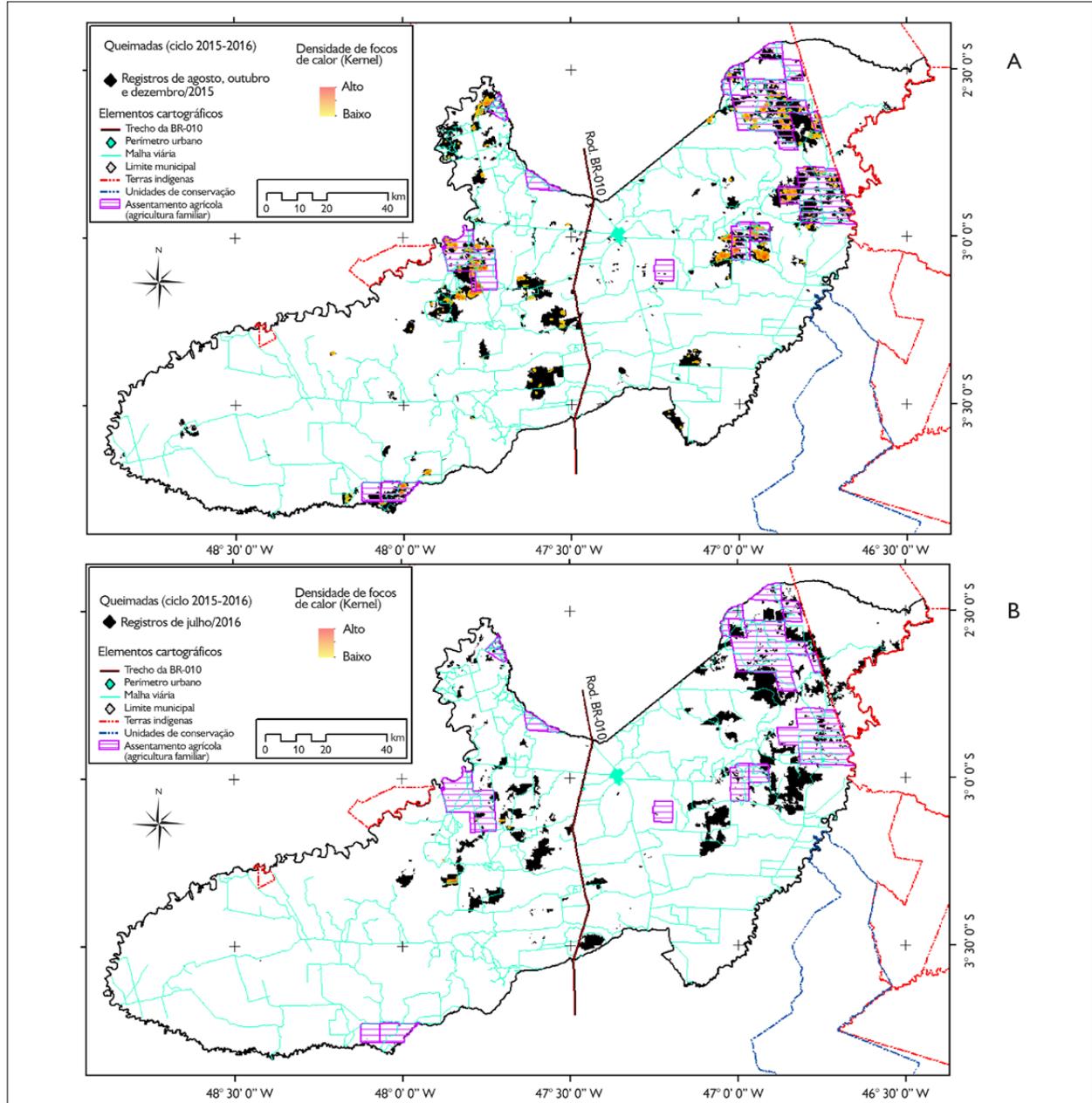


Figura 10. Avaliação da ocorrência da densidade dos focos de calor em 2015 e 2016 (com risco de fogo acima de 50%) sobre as áreas queimadas em Paragominas em 2015 (A) e 2016 (B), e a localização dos Projetos de Assentamento Agrícola (agricultura familiar). Mapas elaborados pelos autores.

À primeira vista, percebe-se que boa parte das queimadas e dos focos de calor em 2015 está localizada nos PA, sendo a outra parte distribuída em área mais próxima da rodovia BR-010. Já no período de 2016, aparecem poucas áreas queimadas dentro dos PA e muitas áreas queimadas adjacentes a estes projetos, provavelmente em função da propagação do fogo além-fronteiras. Um dos aspectos que ganha força nesta análise, para esses casos de vizinhança e contiguidade, é a possibilidade de que essas ignições tenham sido realizadas sem preocupação com as consequências de seu alastramento. Ou seja, evidencia-se um quadro de práticas tradicionais que precisam sofrer intervenções mais sistemáticas e controladoras, a fim de evitar degradações desmedidas sobre a paisagem do município.

A dimensão deste fato é suficientemente ampla para destacarmos que esse cenário de queima de biomassa florestal é mais um dos muitos outros que se mantêm ativos no país. Esse 'estado' latente e recorrente alimenta os estados ligados aos gases de efeito estufa (Fearnside, 2002), afetando a saúde humana (ICMBio, 2007; Gonçalves *et al.*, 2012).

Na queima de biomassa, são produzidos monóxido e dióxido de carbono (CO e CO_2), óxidos nitrosos (NO_x), hidrocarbonetos e partículas de aerossóis, os quais são incorporados na atmosfera e transportados (Andreae, 1991). Ao serem incorporados, esses elementos sofrem reações fotoquímicas que auxiliam a formação de poluentes secundários, como ozônio (O_3), aldeídos e peroxiacil nitratos, que são mais tóxicos do que seus precursores (Ribeiro, 2001).

Suas grandes influências destinam-se às alterações químicas e físicas da atmosfera, gerando mudanças no pH da água da chuva e afetando, por conseguinte, o balanço térmico pela interferência na quantidade de radiação solar refletida para o espaço. Além disso, são capazes de causar alterações nos ciclos biogeoquímicos naturais e na dinâmica de nutrientes tanto das regiões emissoras quanto das receptoras, transformando o problema que antes era local em global (Arbex *et al.*, 2004).

Quanto à saúde humana, os problemas vão bem além do que se imagina, abarcando desde aspectos ligados ao conforto quanto aos de debilidade corpórea. Tendo em vista que 80% da queima de biomassa ocorrem nos trópicos (Arbex *et al.*, 2004), suas inferências quanto à climatologia não podem ser desconsideradas.

Segundo Gonçalves *et al.* (2012), apesar de vasta literatura sobre a relação entre saúde e poluentes atmosféricos em centros urbanos, poucos são os estudos que abordam os efeitos ocasionados à saúde das populações expostas à fumaça das queimadas, principalmente na região amazônica. As análises precisam considerar a influência de fatores exógenos abióticos que poderiam ter um ou mais efeitos diretos e indiretos com consequência aos ecossistemas, alterando o equilíbrio saúde/doença na região afetada. Há de se considerar, portanto, que ano após ano parcelas da população estão expostas a riscos iminentes de efeitos nefastos e sem solução ainda.

Os efeitos nocivos à paisagem de Paragominas podem guardar discrição, sem que se tenha o entendimento real quanto aos danos ambientais e à população, uma vez que a recorrência desse tipo de dinâmica de ocupação e de uso da terra é preponderante sobre as mudanças climáticas, sendo reféns, ao mesmo tempo, de seus frutos por alterações de variáveis como temperatura, umidade, velocidade do ar e radiação solar incidente, os quais podem ter estreita relação com o regime de chuvas, vegetação, permeabilidade do solo, águas superficiais e subterrâneas, entre outras características locais que podem ser alteradas pela presença humana (Frota & Schiffer, 2006).

Ao se comparar, ao longo de sete anos, as ocorrências dos focos de calor com risco de fogo acima de 50% sobre as áreas queimadas no ciclo 2015-2016, é possível estabelecer o cenário das recorrências dos registros deste período (Figura 11).

Os impactos e a recorrência observados no histórico de focos de calor ao longo de sete anos podem ser uma pequena manifestação de um padrão e de

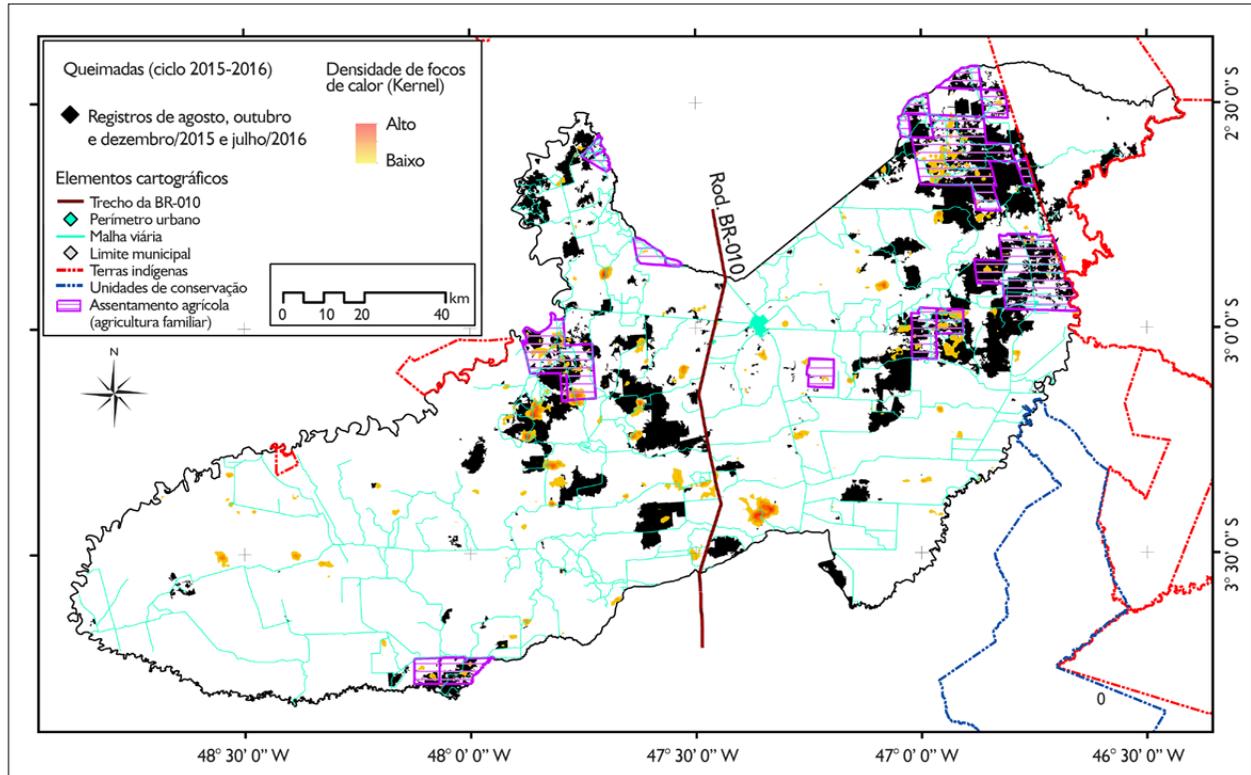


Figura 11. Avaliação da ocorrência da densidade dos focos de calor de 2010 a 2016 (com risco de fogo acima de 50%) sobre as áreas queimadas em Paragominas (ciclo 2015-2016), e a localização dos Projetos de Assentamento Agrícola (agricultura familiar). Mapa elaborado pelos autores.

pressões constantes de manejos inadequados ao contexto produtivo e ambiental.

Macul (2017), analisando a consistência dos dados de degradação florestal (DEGRAD) e de extração seletiva de madeira (DETEX) e suas relações com a ocorrência de incêndios florestais, no período de 2009 a 2015 na região onde se encontra o município de Paragominas, Pará, evidenciou que os valores de média zonal da intensidade de focos de calor para as áreas de DEGRAD tendem a se elevar com o aumento das recorrências de degradação, o que pode sugerir o uso do fogo nessas áreas, ou seja, quanto maior os valores de média de intensidade de focos de calor, mais recorrência de degradação existe na área, apontando que os dados de focos de calor podem ser utilizados para auxiliar na detecção de áreas de degradação florestal.

Nesse sentido, há de se pensar em um plano de ação mais efetivo e eficiente em relação às práticas com o uso do fogo, para que, circunstancialmente, esse tipo de cenário dê espaço para práticas mais adequadas ao território, potencializando atividades que favoreçam a evolução da integração do homem com seu meio e uma qualidade produtiva dentro de modelos que priorizam a manutenção dos recursos naturais.

Resta saber se os impactos aos remanescentes florestais guardam relação com alguma prática eficaz, contínua e devastadora, porém silenciosa, de ampliação de áreas, baseada na degradação dos remanescentes, criando oportunidades futuras. Na medida em que as dimensões de seus efeitos para o município ainda não são mensuradas, a sistemática de dano à tipologia vegetal clímax parece ser algo perene, pelo menos até o presente momento.

Com o intuito de gerar ferramentas de monitoramento capazes de operar, com velocidade, em relação à obtenção de dados e mesmo à análise das áreas queimadas, lançou-se mão de avaliar a aplicabilidade do produto NDVI do sensor MODIS (Tabela 2), a bordo do satélite AQUA, que tem periodicidade de 16 dias. Os índices espectrais têm recebido bastante atenção, devido à sua simplicidade conceitual e ao seu bom desempenho computacional, reduzindo o tempo de processamento e eliminando a subjetividade da interpretação visual de áreas queimadas (Veraverbeke *et al.*, 2011).

Os resultados encontrados possibilitaram uma avaliação entre os dados de NDVI gerados antes do registro das queimadas (junho/2015) e na ocasião do fim do ciclo 2015-2016 das queimadas no município (julho/2016). Eles estão apresentados na Figura 12.

Foi possível, de forma geral, destacar-se uma correlação dos níveis de valores NDVI para o momento anterior às queimadas em relação ao efeito delas sobre a cobertura vegetal e o uso da terra na paisagem de Paragominas, Pará.

Os resultados expressam certa linearidade entre os produtos gerados a partir das imagens Landsat e do MODIS/AQUA, tanto no cenário anterior ao evento do fogo como posterior a ele. Se considerarmos que o produto MODIS/AQUA está sujeito às condições de registro (nuvens) a cada 16 dias, por ser oriundo de sistema óptico de captação, este expressou com normalidade as discrepâncias dos registros das queimadas. Contudo, julga-se pertinente uma avaliação mais profunda sobre esta temática, para lhe atribuir proeminência quanto à sua aplicabilidade como elemento para o monitoramento local.

Dubinín *et al.* (2010) destacam que o mapeamento de áreas queimadas utilizando séries temporais é importantíssimo para o entendimento dos impactos dos incêndios no ciclo do carbono e nas alterações climáticas. Assim sendo, a modelagem estatística de séries temporais e a previsão com dados de sensoriamento remoto contribuirão para uma melhor compreensão da dinâmica de risco de incêndio e o desenvolvimento de métodos eficazes de alertas precoces (Huesca *et al.*, 2014).

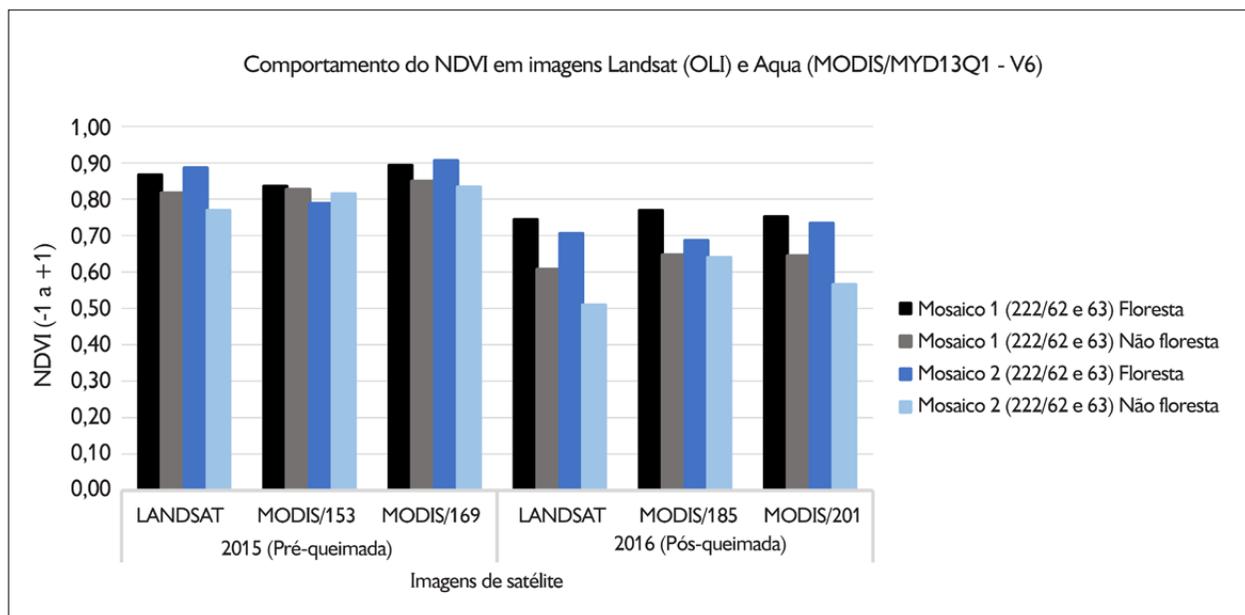


Figura 12. Avaliação do comportamento do NDVI em imagens do satélite Landsat 8 e do produto NDVI das imagens MODIS a bordo do satélite AQUA.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstraram uma baixa coincidência dos focos de calor com risco de fogo acima de 50% com as áreas queimadas mapeadas. No entanto, deram indicativos temporais de recorrência que foram importantes para traçar um momento espacial sobre zonas de remanescentes florestais que estão sendo atingidas. Por sua vez, essas zonas sugerem uma sistemática silenciosa de degradação para, posteriormente, dar lugar à limpeza das áreas. Entretanto, tal hipótese precisa encontrar respostas plausíveis e pertinentes nesta direção.

As zonas de recorrência de focos de calor no município de Paragominas, ao longo de sete anos, são um indicativo importante para trazer elementos plausíveis para uma gestão local mais específica e eficaz de prevenção e de combate ao fogo, aliadas às políticas de fiscalização implementadas atualmente. Se for considerado que os dados utilizados representam 20% e 10% das coincidências das zonas que interceptam as áreas queimadas para o período de 2015 e 2016, respectivamente, as pressões e os impactos podem ser ainda maiores.

Um outro aspecto relevante diz respeito ao fato de boa parte das queimadas e dos focos de calor, no período de 2015, terem se concentrado em áreas onde se encontram Projetos de Assentamentos (PA) – havendo uma porção menor distribuída mais próximo da rodovia BR-010, mas não menos importante, pois representa cenário de extenso e intenso uso agrícola. Também no ano de 2016, foram observadas áreas queimadas muito além dos limites de tais PA e que, em razão da vizinhança e da contiguidade, pode ter ocorrido nelas a propagação do fogo sem controle, dando nuances de condutas incorretas e que precisam ser combatidas. Esses resultados evidenciam um quadro de práticas tradicionais que precisam sofrer intervenções mais sistemáticas e controladoras, para evitar degradações ambientais desmedidas, bem como prejuízos à saúde humana.

O pacto ambiental local precisa evoluir de tal forma a alcançar resultados eficientes para sustentar uma consciência produtiva integrada, de maneira que as perturbações às florestas deem lugar a uma lógica de ordenamento

territorial. É imprescindível que, além do planejamento do uso das terras visando ao fortalecimento do manejo florestal para aproveitamento racional do potencial florestal, sejam definidas zonas de adequação produtiva e ambiental para o avanço do desenvolvimento sustentável.

AGRADECIMENTOS

À Rede Temática de Pesquisa em Modelagem Ambiental da Amazônia (Projeto GEOMA)/Projeto Integrado de Modelagem da Cobertura da Terra do Pará, pela oportunidade da pesquisa. Ao Projeto *Supporting technical options and innovative public-private partnership, linking sustainable agricultural production and land management* (TERRACERT), coordenado pelo Centro Internacional para Pesquisa Florestal (CIFOR), pelas interações e apoio logístico. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de desenvolvimento do Programa de Capacitação Institucional do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (PCI/MCTIC). Ao Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia (COCTE), Unidade de Análises Espaciais (UAS), pela infraestrutura para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, L. O., L. E. O. C. ARAGÃO, A. LIMA & E. SHIMABUKURU, 2005. Detecção de cicatrizes de áreas queimadas baseada no modelo linear de mistura espectral e imagens índice de vegetação utilizando dados multitemporais do sensor MODIS/TERRA no estado do Mato Grosso, Amazônia brasileira. *Acta Amazonica* 35(4): 445-456. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672005000400009>.
- ANDREAE, M. O., 1991. Biomass burning: it is history, use and distribution and its impact on environmental quality and global climate. In: J. S. LEVINE (Ed.): **Global biomass burning: atmospheric, climatic and biospheric implications**: 3-21. MIT Press, Cambridge.
- ARBEX, M. A., J. E. D. CANÇADO, L. A. A. PEREIRA, A. L. F. BRAGA & P. H. N. SALDIVA, 2004. Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. *Jornal Brasileiro de Pneumologia* 30(2): 158-175. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-37132004000200015>.
- ARCGIS, 2010. **ArcGIS Professional GIS for the desktop**. Versão 10.0. Environmental Systems Research Institute (ESRI). CD-ROM.

- BARBOSA, R. I., 2010. **Distribuição espacial e temporal dos focos de calor no estado de Roraima para o período de janeiro - 1999 a dezembro - 2009 (satélites NOAA 12 - N E NOAA 15 - N)**. Relatório técnico-científico. Comitê de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais de Roraima/Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas, Boa Vista.
- BASTOS, T. X., G. F. G. SILVA, N. A. PACHECO & R. O. FIGUEIREDO, 2010. Informações agroclimáticas do município de Paragominas para o planejamento agrícola. **Anais do Congresso Brasileiro de Meteorologia** 14: 1-6. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/579613/1/Niiza4.pdf>>. Acesso em: 14 setembro 2017.
- BATISTA, A. C., 2004. Detecção de incêndios florestais por satélites. **Floresta** 34(2): 237-241. Disponível em: <http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/material3os/2004_Batista_Deteccao_Floresta_DE3os.pdf>. Acesso em: 20 junho 2011.
- BRUMATTI, D. V., 2012. **Avaliação do impacto do aquecimento global no risco de fogo na África**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CÂMARA, G., R. C. M. SOUZA, U. M. FREITAS, J. GARRIDO & M. FERNANDO, 1996. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics** 20(3): 395-403. DOI: [https://doi.org/10.1016/0097-8493\(96\)00008-8](https://doi.org/10.1016/0097-8493(96)00008-8).
- CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC), 2017. **Evolução das chuvas**. INPE/CPTEC, São José dos Campos. Disponível em: <<http://clima1.cptec.inpe.br/evolucao/pt>>. Acesso em: 12 setembro 2017.
- COSTA, J. M. & M. F. FLEURY, 2015. O Programa "Municípios Verdes": estratégias de revalorização do espaço em municípios paraenses. **Ambiente & Sociedade** 18(2): 61-76. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422ASOCEX04V1822015en>.
- DUBININ, M., P. POTAPOV, A. LUSHCHEKINA & V. C. RADELOFF, 2010. Reconstructing long time series of burned areas in arid grasslands of southern Russia by satellite remote sensing. **Remote Sensing of Environment** 114(8): 1638-1648. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.02.010>.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 2017. **EMBRAPA monitoramento**: satélites de monitoramento. Disponível em: <<https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/#>>. Acesso em: 8 março 2017.
- EPIPHANIO, J. C. N., J. M. GLERIANI, A. R. FORMAGGIO & B. F. T. RUDORFF, 1996. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 31(6): 445-454.
- FACHIN, P., 2016. Incêndios na floresta amazônica acarretam uma redução de 94% das espécies de árvores (Entrevista especial com Erika Berenguer). **Revista IHU On-line**. Disponível em: <<http://www.ihu.unisinos.br/563108-incendios-na-floresta-amazonica-acarretam-uma-reducao-de-94-das-especies-de-arvores-entrevista-especial-com-erika-berenguer>>. Acesso em: 31 janeiro 2018.
- FEARNSIDE, P. M., 2002. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados** 16(44): 99-123. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142002000100007>.
- FROTA, A. B. & S. R. SCHIFFER, 2006. **Manual de conforto térmico**: arquitetura, urbanismo: 7. ed. Studio Nobel, São Paulo.
- GONÇALVES, K. S., H. A. CASTRO & S. S. HACON, 2012. As queimadas na região amazônica e o adoecimento respiratório. **Ciência & Saúde Coletiva** 17(6): 1523-1532. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-81232012000600016>.
- GUIMARÃES, J., A. VERÍSSIMO, P. AMARAL & A. DEMACHKI, 2011. **Municípios verdes**: caminhos para a sustentabilidade: 1-154. Imazon, Belém.
- HUESCA, M., J. LITAGO, S. MERINO-DE-MIGUEL, V. CICUENDEZ-LÓPEZ-OCANA & A. PALACIOS-ORUETA, 2014. Modeling and forecasting MODIS-based Fire Potential Index on a pixel basis using time series models. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation** 26: 363-376. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.09.003>.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2016. **Cidades**. IBGE, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=150550/>>. Acesso em: 5 dezembro 2016.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2017. **Bases cartográficas e referenciais do território**. IBGE, Rio de Janeiro. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/versao2017/shapefile/>. Acesso em: 22 janeiro 2018.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio), 2007. **Impactos do fogo na vegetação do Planalto do Itatiaia**: 1-17. Relatório técnico. ICMBio, Rio de Janeiro.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE), 2017a. **Programa Queimadas (Dados)**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>>. Acesso em: 10 maio 2017.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE), 2017b. **Programa Queimadas (Dados)**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas/portal/informacoes/perguntas-frequentes>>. Acesso em: 17 agosto 2017.
- JUNIOR, J., 2016. Operação Arco de Fogo fecha madeiras e carvoarias em Tailândia, Pará. **Portal Tailândia**. Disponível em: <<https://portaltailandia.com/noticia/operacao-arco-de-fogo-fecha-madeiras-e-carvoarias-em-tailandia-para/>>. Acesso em: 5 dezembro 2016.
- MACUL, M. S., 2017. **Análise exploratória da degradação florestal na região de Paragominas (PA) – os sistemas DETEX, DEGRAD e focos de calor**. Disponível em: <http://wiki.dpi.inpe.br/lib/execute/fetch.php?media=mateusmacul_trabalhofinal.pdf>. Acesso em: 21 março 2018.

- MENDOZA, E. R. H., 2002. **Susceptibilidade da floresta primária ao fogo em 1998 e 1999**: estudo de caso no Acre, Amazônia Sul-Occidental, Brasil. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco.
- MINISTÉRIO DA CIENCIA E TECNOLOGIA (MCT), 2004. **Comunicação nacional inicial do Brasil à convenção-quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima**. MCT, Brasília. Disponível em: <ftp://ftp.mct.gov.br/Biblioteca/1015-Comunicacao_nacional_inicial_Brasil_Convencao-Quadro_Nacoes_Unidas_sobre_clima.pdf>. Acesso em: 22 janeiro 2018.
- MOTTA, R. S., M. J. C. MENDONÇA, D. C. NESPSTAD, M. C. VERA DIAZ, A. ALENCAR, J. C. GOMES & R. A. ORTIZ, 2002. **O custo econômico do fogo na Amazônia**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Texto para discussão, 912), Rio de Janeiro. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/2802>. Acesso em: 22 janeiro 2018.
- NEPSTAD, D. C., A. G. MOREIRA & A. A. ALENCAR, 1999. **A floresta em chamas**: origens, impactos e prevenção de fogo na Amazônia: 1-202. Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil, Brasília.
- ORTIZ, F., 2014. A história do município que saiu da lista negra dos maiores desmatadores. **((O))eco**. Disponível em: <http://www.oeco.org.br/reportagens/28764-a-historia-do-municipio-que-saiu-da-lista-negra-dos-maiores-desmatadores/>. Acesso em: 30 novembro 2016.
- PANTOJA, N. V., D. SELHORST, K. S. ROCHA, F. M. C. LOPES, S. S. VASCONCELOS & I. F. BROWN, 2005. Observações de queimadas no leste do Acre: subsídios para validação de focos de calor derivados de dados de satélites. **Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto** 12: 3215-3222. Disponível em: <http://mar.te.sid.inpe.br/attachment.cgi/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.21.16/doc/3215.pdf>. Acesso em: 22 janeiro 2018.
- PANTOJA, N. V. & I. F. BROWN, 2007. Acurácia dos sensores AVHRR, GOES e MODIS na detecção de incêndios florestais e queimadas a partir de observações aéreas no estado do Acre, Brasil. **Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto** 13: 4501-4508. Disponível em: <http://mar.te.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.16.00.40.54/doc/4501-4508.pdf>. Acesso em: 22 janeiro 2018.
- PINTO, A., P. AMARAL, C. SOUZA JR., A. VERÍSSIMO, R. SALOMÃO, G. GOMES & C. BALIEIRO, 2009. **Diagnóstico socioeconômico e florestal do município de Paragominas**. Imazon, Belém. Disponível em: <https://amazon.org.br/PDFimazon/Portugues/outros/diagnostico-socioeconomico-e-florestal-do.pdf>. Acesso em: 30 novembro 2016.
- RIBEIRO, H., 2001. Fossil fuel energy impacts on health. In: ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA (UNESCO). **Encyclopedia of life support systems**: 1-6. UNESCO, Paris. Disponível em: <http://www.eolss.net/sample-chapters/c09/e4-23-05-02.pdf>. Acesso em: 23 janeiro 2018.
- ROSENDO, J. S., 2005. **Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do Rio Araguari - MG - utilizando dados do sensor MODIS**: 1-130. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE DO PARÁ (SEMAS-PA), 2016. **Programa Municípios Verdes**. Disponível em: <http://www.sema.pa.gov.br/>. Acesso em: 5 dezembro 2016.
- TOMZHINSKI, G. W., P. H. F. COURA & M. C. FERNANDES, 2011. Avaliação da detecção de focos de calor por sensoriamento remoto para o Parque Nacional do Itatiaia. **Biodiversidade Brasileira** 1(2): 201-211. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/BioBR/article/view/140/115>. Acesso em: 21 março 2018.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS), 2017a. **Earth Explorer (Dados)**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 6 março 2017.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS), 2017b. **LP DAAC**. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/products/myd13q1v006/>. Acesso em: 8 março 2017.
- VERAVERBEKE, S., S. LHERMITTE, W. W. VERSTRAETEN & R. GOOSSENS, 2011. Evaluation of pre/post-fire differenced spectral indices for assessing burn severity in a Mediterranean environment with Landsat Thematic Mapper. **International Journal of Remote Sensing** 32(12): 3521-3537. DOI: https://doi.org/10.1080/01431161003752430.

