

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DE FOCOS DE CALOR EM RORAIMA DETECTADOS PELO NOAA-AVHRR (1999-2009)

SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF FIRE HOTSPOTS IN RORAIMA DETECTED BY NOAA-AVHRR (1999-2009)

Reinaldo Imbrozio Barbosa¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Núcleo de Pesquisas de Roraima (NPRR), Rua Coronel Pinto 315 – Centro, CEP: 69301-150 - Boa Vista/RR
e-mail: reinaldo@inpa.gov.br

RESUMO

O objetivo deste estudo foi estimar a distribuição espacial e temporal dos focos de calor derivados do satélite NOAA-AVHRR (1999 a 2009) para o estado de Roraima. Os principais resultados indicam que neste período a média de detecção foi de 1536 focos/ano: 1167 (76%) em sistemas florestais e 369 (24%) em não-florestais. A distribuição temporal dos focos de calor é concentrada entre os meses de dezembro e março, associado ao período seco regional. As fitofisionomias com maior número de focos foram as Florestas de Contato (savana-floresta) do norte/nordeste de Roraima (6709; 39,7%) e a Floresta Ombrófila Densa do sul (5724; 33,9%). Mucajaí foi o município com o maior número de focos detectados (3064 focos; 18,1%). Este tipo de análise é uma ferramenta de valor para o sistema de monitoramento de incêndios em ecossistemas naturais do estado de Roraima, em especial em anos do evento climático “El Niño”.

Palavras-chave: Focos de calor, NOAA-AVHRR, incêndio florestal, queimadas.

ABSTRACT

The objective of this study was to estimate the spatial and temporal distribution of fire hotspots derived from satellite NOAA-AVHRR (1999-2009) for the state of Roraima. The main results indicate that during this period the average detection was 1536 hotspots/year: 1167 (76%) in forest ecosystems and 369 (24%) in non-forest. The temporal distribution of hotspots is concentrated between December and March, associated with the regional dry season. The phytophysionomies with the largest number of hotspots were the Ecotone (savanna-forest) in the north/northeast of Roraima (6709, 39.7%) and the Dense Forest in the south region (5724; 33.9%). Mucajaí was the municipality with the largest number of hotspots detected (3064, 18.1%). This type of analysis is a valuable tool for the monitoring system to prevent fires in natural ecosystems in the state of Roraima, specially in years with climatic event “El Niño”.

Keywords: Hot spots, NOAA-AVHRR, forest fire, burnings.

INTRODUÇÃO

A partir da ocorrência do “Grande Incêndio” de Roraima (1997/1998), onde cerca de 6-7% (11.000-13.000 km²) da área de floresta original do Estado foi severamente impactada por fogos fora de controle (BARBOSA e FEARNSSIDE, 1999; NEPSTAD *et al.*, 1999), foi criado um sistema estadual de prevenção e monitoramento de queimadas e incêndios florestais. O sistema é controlado pelo Comitê de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais de Roraima, formado por diversos órgãos de gestão e pesquisa locais.

Uma das estratégias do sistema vem sendo a identificação e a quantificação diária dos focos de calor situados tanto em ecossistemas florestais como não-florestais (savanas e demais feições campestres). Os focos de calor são eventos de alta temperatura captados pelo satélite NOAA-AVHRR (*National Oceanic and*

Atmospheric Administration; sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer*), disponibilizados no sítio eletrônico do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) através de um banco de dados georreferenciado. Este banco é um dos pilares para o sistema de alerta diário para fogos em diferentes tipos de vegetação em todo o Brasil, incluindo unidades de conservação como Reservas Biológicas ou Parques Nacionais (INPE/PROARCO, 2010).

Os focos de calor detectados remotamente não indicam necessariamente a existência de fogo (p. ex. aquecimento de solo e rocha exposta podem produzir sinais). Contudo, a maioria dos focos detectados está relacionada diretamente a áreas sob processo de queima (presença de fogo). Desta forma, a soma e a concentração dos focos de calor representam uma estimativa real da distribuição espaço-temporal de áreas sob impacto do fogo, permitindo ações estratégicas mais inteligentes para prevenção e combate a incêndios em ecossistemas naturais (florestais e não-florestais) (BARBOSA *et al.*, 2003).

A inspeção destas informações contidas no banco de dados georreferenciado promove uma melhor articulação das autoridades estaduais no controle e prevenção de incêndios florestais, além de prevenir o alastramento de fogos fora de controle nas grandes áreas de savana do nordeste de Roraima (XAUD *et al.*, 2003). Este protocolo é anual, mas de especial importância em anos de eventos El Niño, como no biênio 2009/2010, onde os incêndios em áreas de sistemas florestais e não-florestais começaram a ser detectados ainda no mês de agosto/2009. Desta forma, o objetivo deste estudo foi o de examinar a distribuição espacial e temporal dos focos de calor derivados do satélite NOAA-AVHRR (1999 a 2009) para o estado de Roraima, como forma de dar apoio e base às tomadas de decisões que o Comitê de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais de Roraima teve que impetrar no primeiro trimestre de 2010, pico da estiagem regional.

METODOLOGIA

Foi utilizado o banco de dados queimadas (BD Queimadas) para detecção de focos de calor derivados dos satélites meteorológicos NOAA 12-Noite (janeiro-1999 a abril-2007) e NOAA 15-Noite (maio-2007 a dezembro-2009) disponibilizados em INPE/PROARCO (2010). Foi considerada apenas a passagem destes dois satélites porque são as que produzem os dados com melhor consistência e de maior observação temporal de coleta, além de serem os tradicionalmente utilizados nos trabalhos de comparação entre regiões e países. A resolução espacial do sensor AVHRR, acoplado a estes satélites, é de ~1,1 km (Nadir), sendo considerada satisfatória para este tipo de trabalho (VASCONCELOS *et al.*, 2004).

A contagem dos focos de calor não reflete a área queimada, indicando apenas a localização e/ou a persistência dos fogos em um dado ecossistema. Uma porcentagem baixa destes focos deve ser considerada como erro de leitura por parte do sensor AVHRR por diferentes fatores (SETZER, 2004). Entretanto, isso não invalida a enorme maioria das leituras remotas.

Todo o banco de dados disponibilizado pelo INPE/PROARCO (2010), derivado dos satélites acima mencionados, foi convertido em planilhas eletrônicas do aplicativo Excel-Microsoft e tratado com a ferramenta “Tabela Dinâmica” no sentido de operar mais facilmente as informações (individuais e coletivas). Os 21 focos de julho a dezembro de 1998 e os do primeiro trimestre de 2010 não foram contabilizados nesta análise por não representarem séries completas de dados anuais. O NOAA 12 parou de coletar dados em agosto de 2007, quebrando uma longa série de dados sobre focos de calor.

As informações básicas (variáveis) sobre cada foco derivadas do BD Queimadas e que foram utilizadas neste estudo foram as seguintes: coordenadas geográficas (Latitude/Longitude), data da observação do foco (desmembrada em dia, mês e ano), tipo de satélite (NOAA 12 Noite e NOAA 15 Noite), município e tipo de vegetação. As tipologias fitofisionômicas são oriundas do PRODES para avaliação do desmatamento na Amazônia. A estas foi adicionada a variável categórica “macroecossistema” que teve por objetivo aglomerar tipos de vegetação semelhantes em categorias macro-ecossistêmicas: **florestal** (campinarana, floresta ombrófila aberta, floresta ombrófila densa, floresta estacional semidecidual e floresta de contato) e **não-florestal** (savanas, campinas e outras áreas abertas não especificadas). Feito isto, as seguintes questões foram formuladas:

1. Qual o padrão de distribuição temporal (anos e meses) dos focos de calor no estado de Roraima, por macrossistema, considerando os dados disponíveis pelo BD Queimadas?
2. Quais as principais fitofisionomias afetadas pelos focos?
3. Quais os municípios com maior número de focos de calor por unidade de área política?

Cada uma destas questões foi respondida através da formatação de gráficos e tabelas que apresentassem as tendências e os valores absolutos e relativos representativos. Cada questão sofreu uma breve análise através de comentários sobre os padrões e tendências observados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Distribuição temporal

Foram contabilizados 16.901 focos de calor em todo o estado de Roraima entre 1999-2009 (Tabela 1). Por opção metodológica, 303 focos do NOAA 15 Noite (janeiro-abril de 2007) foram descartados para evitar duplicidade de informação com o NOAA 12 Noite no mesmo período. A média estabelecida entre 1999 e 2009 foi de 1536 focos/ano, sendo 1167 (76%) detectados em sistemas florestais e 369 (24%) em não-florestais.

Tabela 1. Número de focos de calor detectados anualmente por macrossistemas (florestal e não-florestal) no estado de Roraima para o período de 1999 a 2009.

Table 1. Number of fire hotspots detected annually by macrosystems (forest and non-forest) in Roraima state for the period 1999 to 2009.

Ano	Florestal		Não-florestal		Total de Focos	Satélite
	N	%	n	%		
1999	138	62.7	82	37.3	220	NOAA 12 N
2000	227	62.7	135	37.3	362	NOAA 12 N
2001	1875	77.6	541	22.4	2416	NOAA 12 N
2002	1318	65.3	701	34.7	2019	NOAA 12 N
2003	4083	85.4	696	14.6	4779	NOAA 12 N
2004	1120	69.1	502	30.9	1622	NOAA 12 N
2005	612	65.5	322	34.5	934	NOAA 12 N
2006	587	65.0	316	35.0	903	NOAA 12 N
2007	2139	83.3	428	16.7	2567	(1)
2008	511	72.4	195	27.6	706	NOAA 15 N
2009	232	62.2	141	37.8	373	NOAA 15 N
Total	12869	-	4087	-	16901	-
Média	1167	76.0	369	24.0	1536	-

(1) NOAA 12 N até abril de 2007 e NOAA 15 N de maio a dezembro de 2007.

O padrão geral de distribuição anual é muito associado aos eventos climáticos globais que provocam longos períodos de seca (com ou sem El Niño) ou de chuva (La Niña) na região compreendida pelos limites geopolíticos de Roraima (Figura 1). Por exemplo, o grande período chuvoso estabelecido pelo La Niña do biênio de 1998-99 (logo após o grande incêndio de 1997-98 – El Niño) provocou o menor número de focos ao longo de todo o período analisado (82 em 1999). De forma contrária, em 2003 foi observado o maior valor numérico de focos de todo o período (4779) por conta do forte evento (El Niño) do biênio 2002-03. Neste biênio, mesmo com os setores de gestão e fiscalização locais já ordenados, não foi possível deter o avanço do fogo pelos ecossistemas florestais (~4 a 5000 km² de área florestal re-impactada) (BARBOSA *et al.*, 2003). Ou seja, a governança efetiva sobre as ações necessárias para evitar o fogo fora de controle deveriam ter sido voltadas mais à quebra do início das queimadas do que para combater o fogo já formado.

Em todos os anos foi observada uma maior predominância de focos em sistemas florestais (76%) em detrimento dos não-florestais (24%). Os focos em florestas são mais persistentes, pois a base do combustível de longo prazo que o alimenta é a biomassa de troncos da floresta. Uma área queimada na floresta pode emitir calor detectável pelos sensores durante vários dias dependendo do período climático. Por exemplo, em 2002-03 vários focos foram persistentes nas regiões florestais por que formaram uma linha contínua de fogo que se alastrava basicamente da região nordeste (floresta de contato e estacional) em direção ao sudoeste (ombrófila densa). Os sistemas não-florestais possuem sua estrutura baseada em uma vegetação graminosa e sob um estrato arbóreo-arbustivo de baixo porte e esparsos. Não há material combustível nestes ecossistemas que faça com que os focos durem o suficiente para estressarem o sensor do satélite por mais de uma vez. Desta forma, a análise quantitativa de número de focos entre um e outro sistema deve ser vista com atenção redobrada, pois maior número de focos nas florestas não significa necessariamente maior número de queimadas/incêndios ou maior área atingida, mas apenas que eles persistem mais do que em savanas e demais feições campestres (p. ex. campinas).

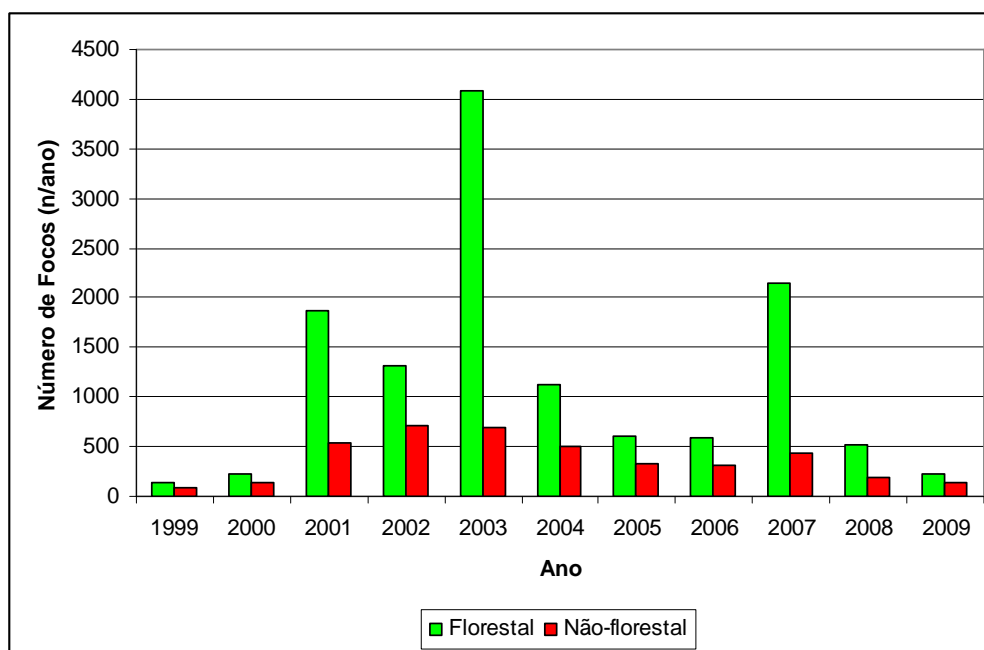


Figura 1. Padrão de distribuição dos focos de calor, por macrossistema (florestal e não-florestal), detectados pelos satélites NOAA 12 N e NOAA 15 N para o período de 1999 a 2009.

Figure 1. Pattern of hotspots distribution, by macrosystem (forest and no-forest), detected by satellites NOAA 12 N and NOAA 15 N (1999 to 2009).

A Figura 2 apresenta o padrão de distribuição mensal dos focos de calor para todo o estado de Roraima ao longo do período amostral de 1999 a 2009. O padrão mensal é forte ao apontar uma tendência de aceleração do número de focos a partir de dezembro, atingindo seu pico principal entre fevereiro e março. Ou seja, este é o período onde as ações estratégicas devem ser maximizadas caso não haja chuvas fora de época que reduzam o nível de estiagem. É neste período mais crítico do ano que o material combustível mais fino (folhas e gravetos) depositado no solo dos ecossistemas florestais se torna altamente inflamável devido a drástica redução de seu teor de umidade - pode atingir 0 % em áreas de corte raso ou de corte seletivo. Em trabalhos anteriores nas regiões de floresta de contato de Roraima, foi determinado que quando os valores de umidade do combustível fino atingissem níveis inferiores a 8 % todas as autorizações de queima deveriam ser suspensas até que os índices pluviométricos e de umidade relativa do ar alcançassem situações toleráveis para a retomada das queimas controladas (BARBOSA *et al.*, 2003). Nesta configuração ecossistêmica, os índices propostos foram umidade relativa do ar superior a 60% e temperatura no interior da floresta inferior a 32°C entre 11-15 h do dia. Independente do ano climático (seco, chuvoso ou normal), estas condições apenas começam a se transformar em realidade a partir das primeiras chuvas do início da primavera boreal (hemisfério norte), que ocorrem com probabilidade de ~85% entre 18-25 de março ao longo de todo complexo savanas-floresta de contato. São estas chuvas que quebram a tendência de pouca pluviosidade entre janeiro-fevereiro (~30 mm/mês) e elevam a precipitação média de março para ~50 mm.

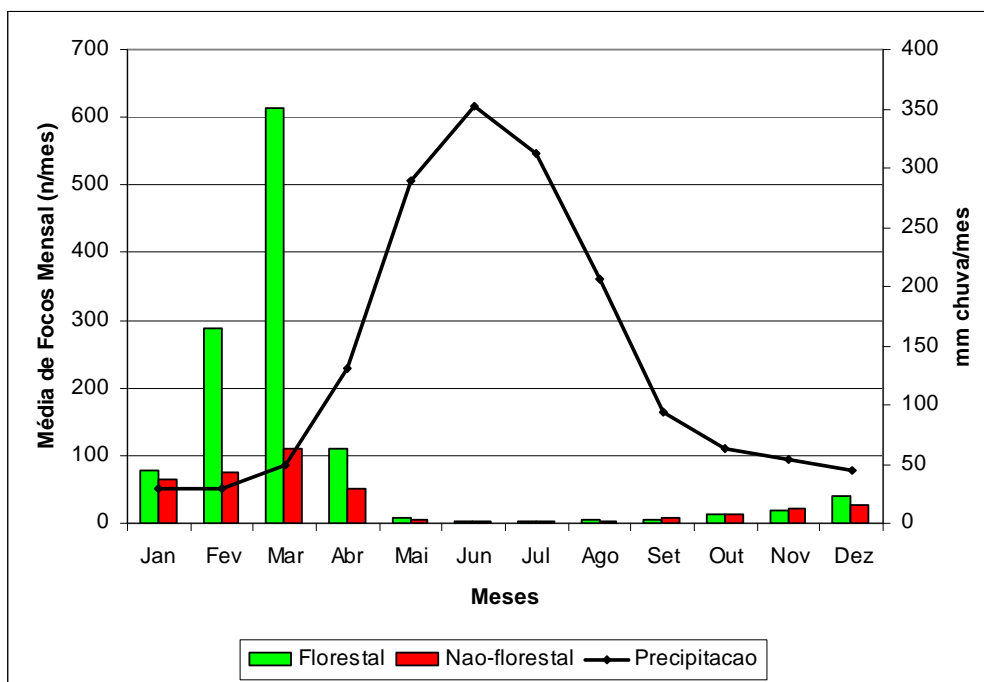


Figura 2. Padrão de distribuição dos focos de calor, por mês e macrosistema, no estado de Roraima para o período de janeiro-1999 a dezembro-2009. Médias mensais de precipitação correspondem ao período de janeiro-1910 a junho-2009 para a cidade de Boa Vista (Fonte: INMET-Manaus e SRPV-Boa Vista).

Figure 2. Pattern of hotspots distribution, by month and macrosystem, in the Roraima state for the period January-1999 to December-2009. Rainfall monthly averages correspond to the period January-1910 to June-2009 to the Boa Vista city (Source: INMET-Manaus and SRPV-Boa Vista).

Distribuição Espacial

A fitofisionomia mais afetada por focos de calor foram as Florestas de Contato com 6709 focos (~40% do total) para todo o período analisado (1999-2009) (Tabela 2). Estes são os tipos florestais que fazem limite com todo o sistema de savanas (norte/nordeste) e campinas (centro-sul) de Roraima, creditando as condições ideais para rápido decréscimo da umidade relativa do ar e do aumento da temperatura nas bordas dentro do período de estiagem regional (dezembro a março). Isto gera francas condições microambientais para redução acelerada da umidade do combustível fino depositado no chão da floresta, tornando-o altamente inflamável e possibilitando o consequente alastramento do fogo em uma situação de seca persistente.

As Florestas Ombrófilas Densas do sul do Estado também foram muito afetadas por queimadas, representando ~34% do total de focos para todo o período. Diferente das áreas de contato, o sul de Roraima possui índices pluviométricos mais elevados e distribuição das chuvas mais equilibrada do que a região norte-nordeste do Estado. Entretanto, para o biênio 2009-2010 (El Niño), a estiagem para alguns municípios do sul de Roraima foram alvo de calamidade pública. O modelo de desenvolvimento das localidades situadas tanto nas florestas de contato quanto nas ombrófilas do sul do Estado é calcado no desmatamento. Em situações de grave estiagem por conta do evento El Niño, este tipo de situação favorece largamente a maximização dos efeitos danosos da seca por conta da falta de proteção natural do solo.

O número de focos de calor por fitofisionomia possui uma relação direta com o total de área desmatada. Os valores derivados do banco de dados do INPE/PRODES indicam que do total de área desmatada em Roraima até agosto/2006 (8043,33 km²), 44,6% (3588,08 km²) foram relacionados a alterações nas Florestas de Contato e, 43,5% (3498,58 km²) em Florestas Ombrófilas Densas (Figura 3). Isto indica que, embora não haja uma relação direta entre número de focos de calor e quantificação de áreas alteradas, esta condicionante pode dar indicativos fortes de que o processo de desmatamento em determinadas localidades está em franco processo de desenvolvimento.

Tabela 2. Distribuição espacial dos focos de calor no estado de Roraima por fitofisionomias (1999 a 2009).
Table 2. Spatial distribution of hotspots in the Roraima state by phytophysionomies (1999 to 2009).

Macrossistema	Fitofisionomia	A n o											Total	%
		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009		
Florestal	Contato	52	79	1036	571	2411	415	238	289	1329	211	78	6709	39.7
	Ombrófila Densa	76	141	789	709	1548	658	348	270	770	275	140	5724	33.9
	Ombrófila Aberta	4	6	25	17	19	26	11	15	13	9	6	151	0.89
	Estacional Semidecidual	5	1	3	17	46	18	9	13	20	8	6	146	0.86
	Campinarama	1		22	4	59	3	6		7	8	2	112	0.66
Não-florestal	Não-Florestal	82	135	541	701	696	502	322	316	428	195	141	4059	24.0
Total		220	362	2416	2019	4779	1622	934	903	2567	706	373	16901	-

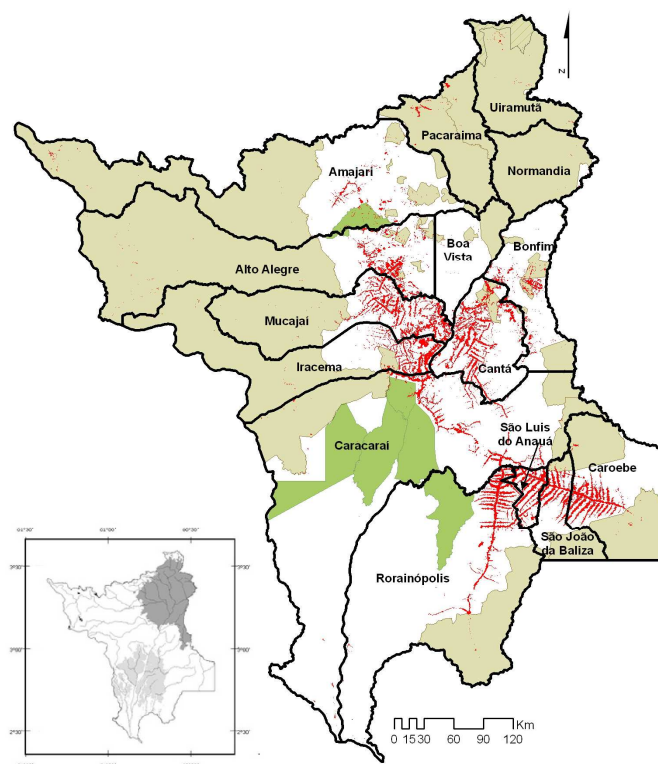


Figura 3. Distribuição espacial do desmatamento entre os municípios de Roraima até 2006. (Base de dados do INPE/Programa PRODES digital). Bege – Terras Indígenas; Verde – Unidades de Conservação Federal; Vermelho – desmatamento; Branco – “áreas de uso” livre. Mapa menor à esquerda representa os grandes tipos de vegetação: Branco – florestas; Cinza escuro – savanas; Cinza claro – campinas e campinaramas (Fonte: BARBOSA *et al.*, 2008).

Figure 3. Spatial distribution of deforestation among the municipalities of Roraima up to 2006. (Database INPE/PRODES Digital). Beige - Indian Lands; Green - Federal Conservation Areas; Red - Deforestation; White - Areas of "free use ". Smaller map on the left represents the major vegetation types: White - forests; Dark grey - savannas; Light grey - campinas and campinaramas (Source: BARBOSA *et al.*, 2008).

O número de focos de calor por unidade municipal para o período de 1999 e 2009 é apresentado na Tabela 3. Mucajaí (3064 focos / 18,1% do total) é o mais afetado, coincidindo com a maior área municipal de florestas antropizadas de Roraima até agosto/2006: 1233,1 km² de florestas desmatadas fora de áreas de proteção como unidades de conservação ou terras indígenas. Da mesma forma, Cantá, Alto Alegre e Iracema possuem

grandes números de focos de calor associados às maiores taxas de desmatamento municipal de Roraima (conferir indicativos do desmatamento na Figura 3). O processo de desenvolvimento destes municípios, calcado em corte raso da floresta, deve ser repensado para se evitar riscos de perdas socioambientais com pouco benefício à população destas localidades. Dezenas de estudos por toda a Amazônia relatam que a perda da superfície florestal causa redução na precipitação pluviométrica.

Tabela 3. Distribuição espacial dos focos de calor detectados nos municípios de Roraima, por macrossistemas (1999-2009).

Table 3. Spatial distribution of hotspots detected in the municipalities of Roraima by macrosystems (1999-2009).

Município	Florestal		Não-florestal		Total	
	N	%	n	%	N	%
Mucajá	3038	99.2	25	0.8	3063	18.1
Cantá	1889	97.6	46	2.4	1935	11.4
Alto Alegre	1143	69.1	511	30.9	1654	9.8
Iracema	1474	100.0		0.0	1474	8.7
Caracaraí	1316	92.9	101	7.1	1417	8.4
Bonfim	387	34.0	751	66.0	1138	6.7
Amajari	601	55.4	483	44.6	1084	6.4
Caroebe	931	100.0		0.0	931	5.5
Boa Vista	83	9.8	760	90.2	843	5.0
Rorainópolis	775	92.7	61	7.3	836	4.9
Pacaraima	174	23.6	562	76.4	736	4.4
Normandia		0.0	573	100.0	573	3.4
São Luiz	518	100.0		0.0	518	3.1
São João da Baliza	455	100.0		0.0	455	2.7
Uiramutã	58	23.8	186	76.2	244	1.4
Total	12842	76.0	4059	24.0	16901	100.0

CONCLUSÕES

Os meses com maior número de focos de calor estão fortemente associados à estiagem regional, em especial janeiro, fevereiro e as três primeiras semanas de março.

O maior número de focos foi detectado nas regiões florestais, podendo significar uma maior persistência do fogo em material combustível de longo prazo (biomassa de troncos) sendo registrada pelo NOAA-AVHRR.

Focos de calor em sistemas não-florestais representam passagem de fogo com baixa persistência, mas que podem adentrar nas florestas de contato por causa do acelerado processo de flamabilidade do material combustível fino (folhas e galhos) nos períodos mais secos do ano.

As fitofisionomias mais atingidas por focos de calor e desmatamentos são as florestas de contato (norte/nordeste) e as ombrófilas densas (sul).

Os municípios mais atingidos por focos de calor são os que possuem as maiores áreas desmatadas e, por isso, devem ter maior atenção no período seco, em especial quando do aparecimento de fortes eventos El Niño.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, R.I.; FEARNSTIDE, P.M. 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, n. 4, p. 513-534, 1999.

BARBOSA, R.I. *et al.* Forest Fires in Roraima, Brazilian Amazonia. *International Forest Fire News*, v. 28 (jan-jul), p. 51-56, 2003.

BARBOSA, R.I. *et al.* *Desmatamento em Roraima: Dados Históricos e Distribuição Espaço-Temporal*. Relatório Técnico. Boa Vista-Roraima, INPA/Núcleo de Pesquisas de Roraima. 10p. (Documento Elaborado em 16.06.2008 para Subsidiar as Discussões sobre Desmatamento no Estado de Roraima - Entregue à FEMACT-RR, IBAMA, SEPLAN, SMGA). 2008.

INPE/PROARCO. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / Programa Arco do Desmatamento. BD Queimadas. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>. Acesso em: 01 de fev., 2010.

NEPSTAD, D.; MOREIRA, A.G. *Flames in the rain forest: origins, impacts and alternatives to Amazonian fire*. Brasília (DF): Pilot Program to Conserve the Brazilian Forest, 1999. 202p.

SETZER, A.W. Representatividade e limitações dos dados da detecção orbital de queimadas do INPE. In: Conferência Científica do LBA – Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, 3, 2004, Brasília. Anais. Sessão Oral. p. 79. Livro de Resumos. Disponível em: <ftp://lba.cptec.inpe.br/presentations/LBAIII-conference-july2004-brasilia/july28,2004/S19>. Acesso em: 02 fev. 2009.

VASCONCELOS, S.S. *et al.* Evolução de focos de calor nos anos de 2003 e 2004 na região de Madre de Dios/Peru – Acre/Brasil – Pando/Bolívia (MAP): uma aplicação regional do banco de dados INPE/IBAMA. In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3411-3417.

XAUD, M.R. *et al.* Monitoramento de queimadas e incêndios florestais em Roraima: informações orbitais e locais subsidiando tomadas de decisão. In: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (CD-ROM), Belo Horizonte. 2003, Anais. CD-ROM.