

## **FOGOS FLORESTAIS EM RORAIMA: ÁREA IMPACTADA (2000-2010)**

### **FOREST FIRES IN RORAIMA: IMPACTED AREA (2000-2010)**

Vaneza Barreto Pereira<sup>1</sup>, Reinaldo Imbrozio Barbosa<sup>2</sup>, Stélio S. Tavares Jr.<sup>3</sup>, José A. Pacheco de Almeida<sup>4</sup>

<sup>1</sup>UFRR/PRONAT, Campus Paricarana, Boa Vista, Roraima, Brasil, vanezal1970@hotmail.com

<sup>2</sup>INPA/CDAM - Núcleo de Roraima, Boa Vista, Roraima, Brasil, reinaldo@inpa.gov.br

<sup>3</sup>UFRR/IGEO, Campus Paricarana, Boa Vista, Roraima, Brasil, stelio@dgl.ufr.br

<sup>4</sup>UFS, Campus Universitário, Aracaju, Sergipe, Brasil, pachecoalmeida@ig.com.br

#### **RESUMO**

O objetivo deste estudo foi investigar a área impactada por incêndios florestais no Estado de Roraima (norte da Amazônia brasileira) no período de 2000-2010. Foram utilizados mosaicos LANDSAT TM/ETM<sup>+</sup> compostos por oito cenas em cada ano amostrado. A data de imageamento das cenas foi preferencialmente entre abril e maio, meses que correspondem ao final do período seco no Estado. Cada mosaico foi vistoriado visualmente em uma escala de trabalho de 1:50.000. Foi adotado um protocolo de inspeção ao longo das estradas/desmatamentos nas áreas de colonização, e em toda a borda das áreas abertas (savanas) em contato com a floresta. As áreas incendiadas em um dado ano eram manualmente poligonizadas após checagem com os anos anterior e posterior para evitar traçar polígonos equivocados. Nossos resultados indicam que a área total incendiada em Roraima entre 2000-2010 foi de 3.062 km<sup>2</sup> (278,4 km<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup>). Deste total, ~97% foi iniciados nos desmatamentos ocorridos nas áreas de colonização dos sistemas florestais, e ~3% foram de fogos originados em áreas de savana que se alastraram pelas florestas de contato. Independente da origem do fogo, foi estimado que ~94% dos incêndios se alastraram por florestas Não-perturbadas e ~6% atingiram áreas Perturbadas. O ano com maior área incendiada foi 2003 (2.165 km<sup>2</sup>), correspondendo a um forte evento El Niño. Os de menor área impactada foram 2005 (0,01 km<sup>2</sup>) e 2009 (0,08 km<sup>2</sup>). Anos com fortes secas conduzem a maiores chances de ocorrência e propagação de fogos florestais. Contudo, anos considerados como dentro das normais climáticas também podem produzir incêndios que conduzem a áreas significativamente impactadas.

Palavras-chave: Fogo florestal, monitoramento, sensoriamento remoto, mapeamento.

#### **ABSTRACT**

The objective of this study was to investigate the area impacted by forest fires in the State of Roraima (Northern Brazilian Amazon) during the period 2000-2010. Mosaics LANDSAT TM/ETM<sup>+</sup> were used. They were composed by eight scenes in each year sampled. The imagery date of the scenes was mainly between April and May, months that correspond to the end of the dry period in the State. Each mosaic was inspected visually on a working scale of 1:50,000. We adopted an inspection protocol along the roads/deforestation in settlement areas, and across the edge of open areas (savannas) in contact with the forest. The areas burned in a given year were designed manually after checking with the both previous and posterior years, to avoid drawing false polygons. Our results indicate that the total area burned in Roraima between 2000-2010 was 3,062 km<sup>2</sup> (278.4 km<sup>2</sup> yr<sup>-1</sup>). Of this total, ~97% was started from deforestation occurred in areas of settlement in forest systems, and ~3% of fires were originated in the savanna that spread by forest of contact. Regardless of the fire origin it was estimated that ~94% of forest fires spread for non-disturbed forest and ~6% in disturbed areas. The year with the largest area burned was 2003 (2,165 km<sup>2</sup>), corresponding to a strong El Niño event. The lower impacted areas were observed in 2005 (0.01 km<sup>2</sup>) and 2009 (0.08 km<sup>2</sup>). Years with severe droughts lead to higher chances of occurrence and spreading of forest fires. However, years considered as normal climatic may also produce fires which together lead to significantly impacted areas.

Keywords: Forest fire, monitoring, remote sensing, mapping.

## INTRODUÇÃO

Incêndios florestais na Amazônia brasileira não podem mais ser considerados como eventos raros. Estes fogos são tipicamente de superfície (incêndios de copa são considerados inexistentes), mas provocam danos ecológicos (HAUGAASEN et al., 2003) e perdas econômicas significativas (MOTTA et al., 2002; FOLEY et al., 2007). Em geral, os incêndios florestais na Amazônia estão associados a períodos de estiagem provocados por eventos El Niño. Secas prolongadas acentuam a susceptibilidade da vegetação ao fogo devido ao forte estresse hídrico que reduz drasticamente a umidade do solo e do sub-bosque da floresta (NEPSTAD et al., 1998). Estudos relatam que os incêndios na Amazônia alteram a estrutura, aumentam a mortalidade de árvores e reduzem a diversidade biológica da floresta (COCHRANE e SCHULZE, 1999; PERES, 1999; BARLOW e PERES, 2003). Além disto, provocam a emissão de grandes quantidades de gases do efeito estufa (GEE) para a atmosfera, influenciando no aquecimento global (BARBOSA e FEARNESIDE, 1999; NEPSTAD et al., 1999; ALENCAR et al., 2006).

A Segunda Comunicação do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima reconheceu os danos ecológicos causados pelos fogos florestais (BRASIL, 2010a). Contudo, as emissões de carbono por esta fonte não foram computadas no inventário nacional de GEE (BRASIL, 2010b). A principal causa da não-contabilização dos GEE por esta fonte no inventário nacional são as incertezas quanto à área incendiada, o tipo fitofisionômico atingido, a origem do fogo (extração seletiva, floresta secundária, etc) e o grau de impacto (alto ou baixo). Assim sendo, BRASIL (2010b) assumiu que todas as emissões de GEE provenientes dos incêndios florestais foram nulas. Entretanto, da mesma forma que os fogos silvestres em sistemas temperados, os gases emitidos precisam ser contabilizados por que as taxas de emissão e sequestro de carbono não são sincrônicas (IPCC, 2006; p. 4.27). Ou seja, uma parte do carbono emitido pelos fogos florestais não retorna no curto prazo sob a forma de crescimento vegetativo, permanecendo na atmosfera por um período mais longo e contribuindo para o aquecimento global.

Desde o final dos anos 1990, técnicas de sensoriamento remoto que utilizam modelos lineares de mistura são experimentadas no sentido de melhor classificar os diferentes tipos de vegetação, desmatamentos e a área afetada por incêndios na Amazônia (COCHRANE e SOUZA, 1998; LU et al., 2003; MAEDA et al., 2009). Estes modelos aceleram a obtenção de dados orbitais e funcionam com alto grau de certeza para áreas pequenas, onde a verdade de campo pode facilmente ser implementada (COCHRANE e SOUZA, 1998). Contudo, a aplicação desses modelos em larga escala pode resultar em um alto grau de incerteza, pois o nível de confusão é grande entre áreas abertas naturais, sítios alterados por incêndios florestais e sistemas antropizados por extração seletiva. No caso da Amazônia, o tamanho da região ( $\sim 4,0 \times 10^6 \text{ km}^2$ ) inviabiliza a verdade de campo em larga escala, se tornando extremamente dispendiosa. Desta forma, a detecção de áreas incendiadas utilizando técnicas de identificação visual pode ser mais efetiva em regiões onde equipes dos órgãos ambientais estaduais conheçam o histórico e os padrões de alastramento do fogo. Assim sendo, este estudo teve por meta estabelecer regras gerais de detecção visual e identificação de áreas de floresta impactadas pelo fogo. Nós utilizamos como estudo de caso os incêndios florestais ocorridos no estado de Roraima no período de 2000-2010. Roraima é um estado amazônico com histórico de fogo conhecido que pode fornecer pistas importantes de como aproveitar as equipes de monitoramento dos órgãos estaduais para identificar localidades com maior potencial de incêndios florestais. Além de propiciar estimativas regionais da área impactada, esse trabalho favorece a geração de informações para otimização e aplicação dos recursos investidos na fiscalização e gestão dos sistemas florestais locais.

## METODOLOGIA

### ÁREA DE ESTUDO

O Estado de Roraima está situado no extremo norte da Amazônia brasileira, na fronteira com a Venezuela e Guiana. De forma geral, possui três grandes sistemas ecológicos: (i) savanas, ocupando o nordeste do estado, (ii) campinas e campinaranas, no centro-sul e (iii) florestas (ecótonos, estacionais e ombrófilas), espalhadas pelo restante do estado (BARBOSA et al., 2007). Os primeiros relatos de incêndios em larga escala nesta região foram apresentados por TATE (1930), indicando a ocorrência de grandes áreas de floresta incendiadas entre 1925-26; dois anos antes de sua excursão ao Monte Roraima. Desde então, outros episódios de fogos

florestais relacionados a eventos El Niño se sucederam (histórico oral local indica os biênios de 1972-73 e 1982-83 como anos impactados), em especial o grande incêndio ocorrido entre 1997/98 (AB'SABER, 1998; PHULPIN et al., 2002). Neste biênio, cerca de 12.000 km<sup>2</sup> de florestas primárias sofreram impacto do fogo, emitindo significativas quantidades de GEE para a atmosfera (BARBOSA e FEARNESIDE, 1999). Grandes colunas de fumaça puderam facilmente ser detectadas por satélites com sensores térmicos (GEVAERD et al., 2006).

Em Roraima, as principais áreas afetadas pelos incêndios florestais são historicamente as (i) da região de contato com as savanas (estacionais e ecótonos): áreas de colonização antigas (desde 1940/50) em florestas mais secas, com menor riqueza de espécies e abundância de indivíduos e, (ii) as florestas ombrófilas do sul do Estado: colonização mais recente (início dos anos 1980) com florestas mais úmidas, densas e ricas em espécies de árvores. O período seco regional para ambas as regiões (com exceção ao extremo sul de Roraima) vai de outubro a março; o pico da seca é entre janeiro e fevereiro. A precipitação anual da zona de contato se situa próxima dos 1700 mm, enquanto que as do sul do Estado possuem uma média acima dos 2000 mm (BARBOSA, 1997). Os desmatamentos são realizados, em geral, entre janeiro e fevereiro, e as queimadas entre fevereiro e março (raramente em abril). Fogos nas savanas ocorrem mais intensamente entre janeiro e março (BARBOSA e FEARNESIDE, 2005). Desta forma, a maioria dos incêndios florestais é protagonizada entre o final de fevereiro e ao longo do mês de março, pois é quando o combustível (biomassa morta seca acima do solo) do sub-bosque está mais susceptível à ignição derivada das queimadas nas florestas ou dos fogos nas savanas. Ao final de março acontecem as primeiras chuvas regionais que reduzem a temperatura e aumentam a umidade relativa do ar no interior dos sistemas florestais, impedindo o alastramento dos fogos.

## SELEÇÃO E PROCESSAMENTO DAS IMAGENS LANDSAT

Para avaliar a área de florestas impactadas por incêndios entre 2000 e 2010, nós utilizamos imagens do satélite Landsat TM/ETM<sup>+</sup> (cenas de composição colorida - bandas monocromáticas R/5, G/4 e B/3) disponibilizadas no Catálogo de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). Foram selecionadas oito cenas por ano, todas com menor cobertura de nuvens e com data de aquisição mais próxima possível do final do período seco regional, estabelecido como data de referência para a detecção dos incêndios florestais: (i) preferencialmente março/abril - final da estação seca regional, onde as cicatrizes de incêndios são facilmente visíveis ou (ii) setembro/outubro - final das chuvas locais, período quando a nebulosidade regional é baixa e as marcas dos incêndios ainda podem ser visíveis. Realizada esta tarefa, todas as imagens foram georreferenciadas (WGS1984; UTMZona20N) tendo como base as imagens ortorretificadas do projeto Geocover-NASA (<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>). Todas as imagens foram realçadas (contraste e brilho) para facilitar a leitura visual das cicatrizes de incêndio. Foram criados mosaicos anuais (uma para cada ano entre 2000 e 2010). Cada mosaico foi formado pelas seguintes cenas: 231/59, 231/60, 232/57, 232/58, 232/59, 232/60, 233/57 e 233/58. Estas cenas refletem todas as áreas florestais de Roraima propensas a incêndios. Todas as atividades de georreferenciamento, tratamento das imagens, detecção visual e vetorização dos polígonos de incêndios foram realizadas com as ferramentas disponíveis no programa ArcGIS 9.3 (ESRI, 2008).

### Detecção das áreas florestais incendiadas

Foi estabelecido um protocolo para auxiliar a detecção visual e a origem (fonte de ignição) dos incêndios florestais. O protocolo criou duas classes de origem de fogo: FF (Floresta/Floresta) - fonte de ignição do fogo com origem na floresta e SF (Savana/Floresta) - fonte de ignição com origem na savana. Neste mesmo passo, também foram gerados quatro grupos de alastramento do incêndio para entender se florestas perturbadas (extração seletiva ou floresta secundária madura) e não-perturbadas (sem intervenção antrópica detectável) poderiam influenciar a propagação do fogo: SF/Perturbada - fogo nas savanas que se alastram para sistemas de floresta secundária ou extração seletiva; FF/Perturbada - fogo das queimadas efetuadas nos sistemas florestais antropizados (pastagens, novos desmatamentos, etc.), que se alastram por floresta secundária ou extração seletiva; SF/Não-perturbada - fogo nas savanas que se alastram para as florestas não-perturbadas (baixo nível de antropização); FF/Não-perturbada - fogo das queimadas dos sistemas florestais antropizados que se alastram para as florestas não-perturbadas (baixo nível de antropização).



Para auxiliar na detecção das áreas incendiadas, nós também adicionamos os shapes de desmatamento gerados pelo Programa PRODES do INPE (<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>). Essa técnica foi muito útil para detecção de incêndios de origem FF. Os polígonos de desmatamento de cada ano tiveram como objetivo produzir pistas de possíveis incêndios, melhorando a interpretação, por exemplo, de anos onde o período seco teve sua pluviosidade acima da normal climática (úmido = baixa probabilidade de fogo = baixa visibilidade). A partir deste protocolo foi feita uma interpretação visual anual nos mosaicos com o objetivo de identificar as cicatrizes dos incêndios florestais. A escala geral de trabalho utilizada para a interpretação visual foi de 1:50.000, sendo ampliada até 1:10.000 para verificações mais detalhadas quando haviam dúvidas. Cada ano de trabalho também foi analisado sob a ótica do ano anterior e do posterior. Esse método auxiliou na validação da resposta espectral da “cicatriz alvo” a partir da verificação da resposta espectral dessa mesma cicatriz no ano anterior e no ano seguinte ao analisado. Apenas foi possível identificar os fogos que provocaram algum tipo de estresse na copa das árvores, sendo os mesmos ressaltados por padrões de forma ameboide se alastrando a partir de áreas desmatadas/queimadas. Fogos de baixa intensidade e que não estressaram a copa das árvores não foram detectados pela metodologia deste estudo.

As áreas incendiadas referentes à classe FF foram poligonizadas e verificado qual a fonte de ignição do fogo antes de se alastrar para áreas de floresta contínua primária (grupos Perturbada ou Não-perturbada). As áreas incendiadas da classe SF foram geradas a partir da detecção da cicatriz do fogo na Savana (manchas negras de áreas incendiadas) adentrando em ilhas de mata, florestas ribeirinhas ou florestas de contato. Isso foi feito porque os fogos mais intensos de savanas ocorrem preferencialmente ao final da estação seca, possuindo maior probabilidade de se alastrar pelo sub-bosque dos sistemas florestais de maior biomassa (BIDDULPH e KELLMAN, 1998). Os fogos do início da estação seca na savana não possuem calor suficiente para adentrar pelas barreiras naturais (umidade ainda elevada) dos sistemas florestais. Da mesma forma que a anterior, o grupo SF também foi dividido em florestas Perturbadas e Não-perturbadas.

## RESULTADOS

A área total incendiada em Roraima entre os anos 2000–2010 foi 3.062 km<sup>2</sup> (Tabela 1). A média anual foi de 278,4 km<sup>2</sup>. Noventa e sete por cento da área afetada por incêndios teve a sua origem a partir dos desmatamentos ocorridos nas áreas de colonização estabelecidas nos sistemas florestais. O restante teve sua origem nos fogos das Savanas. Independente da origem de ignição do fogo foi estimado que 94% se alastraram por florestas não-perturbadas. O ano de maior área incendiada foi 2003 (2165,8 km<sup>2</sup>), enquanto que os de menor área foram 2005 (0,01 km<sup>2</sup>) e 2009 (0,08 km<sup>2</sup>).

Tabela 1. Área, origem e grupo de alastramento dos incêndios florestais em Roraima (2000-2010).

Table 1. Area, origin and spreading group of the forest fires in Roraima (2000-2010).

Ano	Área Incendiada (Km <sup>2</sup> )				Área Total
	SF		FF		
	Perturbada	Não perturbada	Perturbada	Não perturbada	
2000	0,48	0,02	0,20	2,05	2,75
2001	16,97	0,26	48,19	89,59	155,01
2002	3,75		0,42		4,17
2003	23,05	30,50	39,69	2072,53	2165,77
2004			1,72		1,72
2005				0,01	0,01
2006	0,61		12,20	0,52	13,32
2007	5,82	2,31	21,31	667,27	696,71
2008	0,17		2,93	2,90	6,00
2009			0,08		0,08
2010			2,65	14,26	16,91
Total (Km <sup>2</sup> )	50,85	33,09	129,40	2849,12	3062,46
%		2,74		97,26	100

A maior concentração de área impactada pelos fogos florestais foi observada na região centro-oeste de Roraima, justapondo os sistemas estacionais e os ecótonos (Figura 1). Os sistemas florestais ombrófilos do sul do estado pouco foram afetados no período de 2000 a 2010.

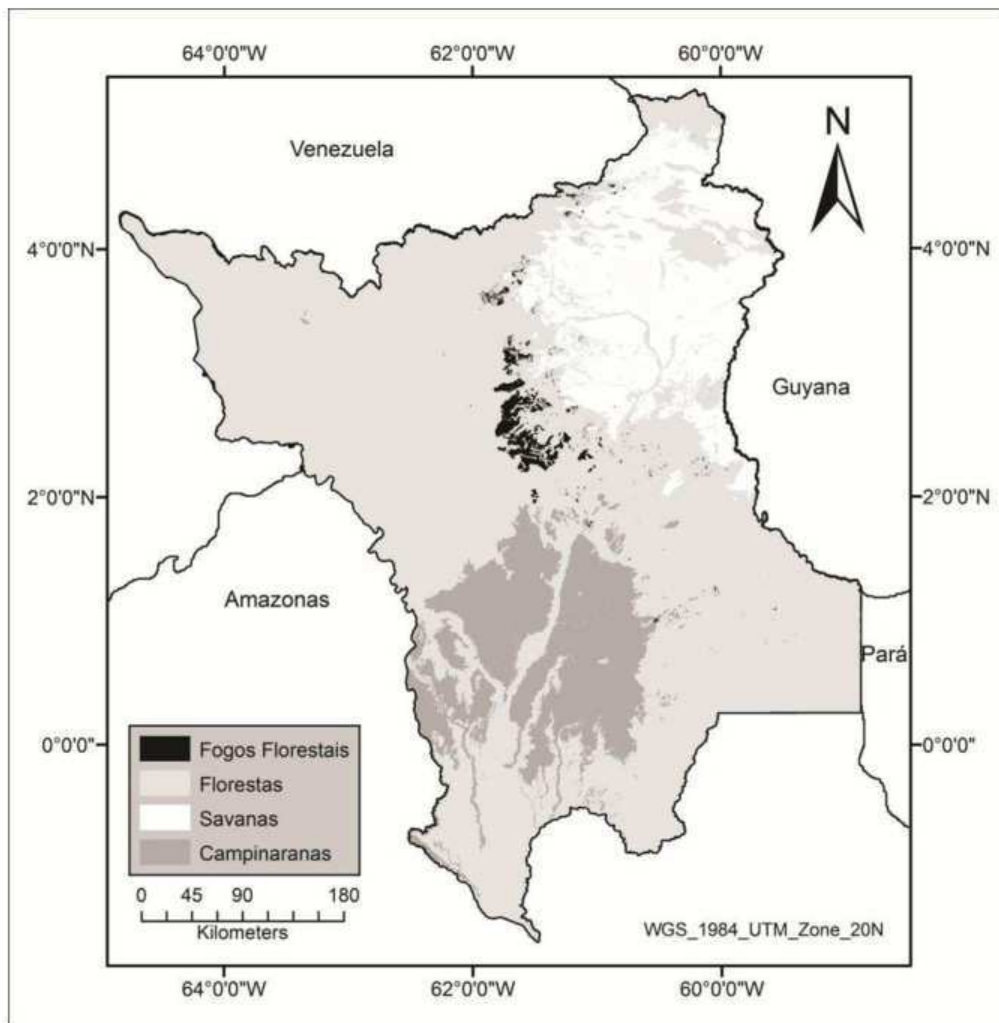


Figura 1. Distribuição espacial das áreas impactadas por fogos florestais em Roraima (2000 a 2010).  
Figure 1. Spatial distribution of the areas impacted by forest fires in Roraima (2000-2010).

## DISCUSSÃO

Nosso estudo indica que, na média, a área atingida por incêndios florestais em Roraima entre 2000-2010 ( $278 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$ ) é similar à média histórica das áreas desmatadas em todo o Estado ( $250\text{-}260 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$ ). Esse resultado reflete a tendência pontuada por vários estudos na Amazônia, indicando que os incêndios florestais estão fortemente associados não somente a períodos secos prolongados (El Niño), mas também ao aumento da atividade humana na região (UHL et al. 1988; KAUFFMAN, 1991; NELSON, 1992; HOLDSWORTH e UHL, 1997). Nosso estudo demonstra que em Roraima, já não é mais necessário um forte evento El Niño para o alastramento do fogo por áreas de floresta não-perturbada contínua. Anos considerados como dentro da normal climática (e.g. 2001) também propagaram incêndios significativos ( $> 155 \text{ km}^2$ ), em especial em áreas de floresta de contato (sazonais e ecótonos).

Nós detectamos que os desmatamentos são os responsáveis pela grande maioria dos incêndios florestais ocorridos em Roraima entre 2000 e 2010. Os fogos derivados das savanas e que adentraram em sistemas florestais proporcionaram uma área média impactada de  $\sim 7,6 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$  neste período; um valor 35 vezes inferior ao observado nos fogos originados das áreas de desmatamento ( $> 270 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$ ). Provavelmente isto esteja relacionado ao fato de que fogos de savanas provocam calor de pouca intensidade nas bordas da floresta, com uma probabilidade baixa de alastramento pelo sub-bosque (BIDDULPH e KELLMAN, 1998).

Além disto, as características químicas do material combustível de florestas atingidas por fogos derivados de savanas também podem influenciar um menor ou maior alastramento do fogo. Por exemplo, diferentes conteúdos de cinzas ou energia liberada podem retardar ou acelerar a ignição do material combustível (KAUFFMAN et al., 1988).

Nossas observações também indicam que as áreas perturbadas por extração seletiva ou com florestas secundárias antigas (adjacentes aos lotes desmatados) são uma porta de entrada dos incêndios em áreas não-perturbadas. No pico do período seco (janeiro e fevereiro), a matéria orgânica depositada no chão do sub-bosque destes sistemas se transforma muito rapidamente em um combustível facilmente inflamável devido a um dossel mais aberto (COCHRANE e SCHULZE, 1999). Este fato torna os ambientes antropizados muito mais susceptíveis aos fogos. Por outro lado, a frequência de fogos em sistemas florestais não-perturbados, em especial os da zona de transição, fragilizam a estrutura do sistema pela perda de diversas árvores de grande porte (e.g. 10 a 40% a mortalidade de árvores com DAP  $\geq$  10cm) (ver HOLDSWORTH e UHL, 1997; BARBOSA e FEARNside, 1999; BRANDO et al., 2011;). Desta forma, embora não haja corte raso ou qualquer outra interferência humana relacionada à extração de madeira, estas áreas ficam com a estrutura florestal original completamente comprometida. Isso pode provocar um sistema de retroalimentação positiva (positive feedback), onde a entrada de novos incêndios em uma mesma área é facilitada pelas novas condições estruturais da floresta, fazendo com que ela se torne cada vez mais susceptível à novos fogos (COCHRANE, 1998; COCHRANE et al., 1999; BARLOW e PERES, 2008).

O protocolo amostral de nosso estudo indica ser adequado para incêndios com intensidades média e alta. Por exemplo, na vistoria aérea realizada por BARBOSA et al. (2003), foi relatado um total 2.000-2.500 km<sup>2</sup> de área incendiada em 2003. Nosso estudo quantificou pouco mais de 2.165 km<sup>2</sup>, indicando paridade com os resultados apresentados à época. Contudo, fogos de baixa intensidade não puderam ser detectados por nosso método, pois não estressam as copas das árvores suficientemente para gerar uma assinatura espectral diferente do padrão da floresta sem perturbação, podendo então ser detectados pela varredura visual. Equipes regionais que estejam familiarizadas com as regiões de maior impacto de desmatamento podem facilmente utilizar este protocolo para gerenciar as áreas incendiadas. Essa é uma ferramenta de grande importância para o Comitê de Prevenção e Controle de Queimadas e Incêndios Florestais de Roraima, que atua localmente auxiliando com decisões pontuais sobre gestão territorial e monitoramento ambiental.

## CONCLUSÕES

Anos com fortes secas conduzem a maiores chances de ocorrência de fogos florestais contínuos. Contudo, anos considerados como dentro das normais climáticas também podem produzir pequenos incêndios que, somados, conduzem a áreas significativamente impactadas. Isso está associado ao aumento da atividade humana em Roraima nos últimos anos.

Técnicas de procura visual, identificação e detecção de áreas incendiadas podem produzir resultados positivos quando realizados por corpo técnico local. A identificação de localidades com maior potencial de incêndios florestais pode otimizar a aplicação dos recursos utilizados na fiscalização.

## REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A.N. Roraima: os paradoxos de um grande incêndio ao fim do milênio. *Estudos Avançados*, v. 12, n. 33, p. 227-231, 1998.
- ALENCAR, A. et al. Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENSO and non-ENSO years: area burned and committed carbon emissions. *Earth Interactions*, v. 10, n. 6, p. 1-17, 2006.
- BARBOSA, R.I. Distribuição das chuvas em Roraima. In: Barbosa, R.I.; Ferreira, E.; Castellon, E. (Eds.), *Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima*. Manaus: INPA, 1997, Cap. 15, p. 325-335.
- BARBOSA, R.I.; FEARNside, 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.; FEARNSIDE, P.M. Fire frequency and area burned in the Roraima savannas of Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, v. 204, p. 371-384, 2005.

BARBOSA, R.I. et al. Forest fires in Roraima, Brazilian Amazonia. *International Forest Fire News*, v. 28, n. jan-jun, p. 51-56, 2003.

BARBOSA, R.I. et al. The "Lavrados" of Roraima: biodiversity and conservation of Brazil's Amazonian Savannas. *Functional Ecosystems and Communities*, v. 1, n. 1, p. 29-41, 2007.

BARLOW, J.; PERES, C.A. Ecological responses to El Niño-induced surface fires in central Brazilian Amazonia: management implications for flammable tropical forests. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London - Series B: Biological Sciences*, v. 359, n. 1443, p. 367-380, 2004.

BARLOW, J.; PERES, C.A. Fire-mediated dieback and compositional cascade in an Amazonian Forest. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London - Series B: Biological Sciences*, v. 363, p. 1787-1794, 2008.

BIDDULPH, J.; KELLMAN, M. Fuels and fire at savanna-gallery Forest boundaries in southeastern Venezuela. *Journal of Tropical Ecology*, v. 14, p. 445-461, 1998.

BRANDO, P.M. Fire-induced tree mortality in a Neotropical forest: the roles of bark traits, tree size, wood density and fire behavior. *Global Change Biology*, doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02533.x.

BRASIL. Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (Vol. 1 e 2). Brasília: MCT/Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/310581.html>. Acessado em: 02 fev. 2011. 2010a.

BRASIL. Emissões de gases de efeito estufa no setor uso da terra, mudança do uso da terra e florestas (Emissões de CO<sub>2</sub> pelo uso da terra, mudança do uso da terra e florestas). In: Santos, C.P.F. (Coord.), Segundo inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa (RELATÓRIO DE REFERÊNCIA). Brasília: MCT/Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima. 105p. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/57270.html>. Acessado em: 20 nov. 2010. 2010b.

COCHRANE, M.A. Forest fires in the Brazilian Amazon. *Conservation Biology*, v. 12, n. 15, p. 948-950., 1998.

COCHRANE, M.A.; SOUZA, C.M. Linear mixture model classification of burned forests in the Eastern Amazon. *International Journal of Remote Sensing*, v. 19, n. 17, 3433-3440. 1998.

COCHRANE, M.A.; SCHULZE, M.D. Fire as recurrent event in tropical forests of the Eastern Amazon: effects of forest structure, biomass, and species composition. *Biotropica*, v. 31, n. 1, p. 2-16, 1999.

COCHRANE, M.A. et al. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. *Science*, 284, p. 1832-1835, 1999.

ESRI – Environmental Systems Research Institute, Inc. ArcGIS Professional GIS for the desktop, version 9.3. Software. 2008.

FOLEY, J.A. et al. Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 5, n. 1, p. 25-32, 2007.

GEVAERD, R. Numerical simulation of biomass burning emissions and transportation during 1998 Roraima fires. *International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography*, 8, 2006, Foz do Iguaçu. *Proceedings of ICSHMO*, São José dos Campos, INPE, 2006. p. 883-889.

- HAUGAASEN, T. et al. Surface wildfires in central Amazonia: short-term impact on forest structure and carbon loss. *Forest Ecology and Management*, v. 179, p. 321–331, 2003.
- HOLDSWORTH, A.R.; UHL, C. Fire in Amazonian selectively logged rain forest and the potential for fire reduction. *Ecological Applications*, v. 7, n. 2, p. 713-725, 1997.
- IPCC. Forest Land. In: Eggleston, H.S.; Buendia, L.; Miwa, Ngara, T; Tanabe, K. (eds.), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Agriculture, Forestry and Other Land Use (Volume 4). Kanagawa: Intergovernmental Panel on Climate Change and Institute for Global Environmental Strategies / National Greenhouse Gas Inventories Programme, 2006, Chp. 4, p. 4.1-4.83.
- KAUFFMAN, J.B. Survival by sprouting following fire in tropical forests of the Eastern Amazon. *Biotropica*, v. 23, n. 3, p. 219-224, 1991.
- KAUFFMAN, J.B. et al. Fire in the Venezuelan Amazon 1: fuel biomass and fire chemistry in the evergreen rainforest of Venezuela. *Oikos*, v. 53, p. 167-175, 1988.
- LU, D. et al. Linear mixture model applied to Amazonian vegetation classification. *Remote Sensing of Environment*, v. 87, p. 456-469, 2003.
- MAEDA, E.E. et al. 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.
- MOTTA, R.S. et al. O custo econômico do fogo na Amazônia. *Texto para Discussão (IPEA)*, v. 912, p. 1-37, 2002.
- NELSON, B.W. Natural forest disturbance and change in the Brazilian Amazon. *World Forest Watch Meeting*, São José dos Campos, INPE, 1992, p. 1-5.
- NEPSTAD, D. et al. Forest fire prediction and prevention in the Brazilian Amazon. *Conservation Biology*, v. 12, n. 5, p. 951-953, 1998.
- NEPSTAD, D. et al. Large-scale impoverishment of Amazonian forest by logging and fire. *Nature*, v. 398, p. 505-508, 1999.
- PHULPIN, T. et al. Using SPOT-4 HRVIR and VEGETATION sensors to assess impact of tropical forest fires in Roraima, Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, v. 23, n. 10, p. 1943-1966, 2002.
- PERES, C.A. Ground fires as agents of mortality in a Central Amazonian forest. *Journal of Tropical Ecology*, v. 15, p. 535-541, 1999.
- TATE, G.H.H. Notes on the Mount Roraima region. *Geographical Review*, v. 20, n. 1, p. 53-68, 1930.
- UHL, C. et al. Fire in the Venezuelan Amazon 2: environmental conditions necessary for forest fires in the evergreen rainforest of Venezuela. *Oikos*, v. 53, p. 176-184, 1988.