

Incêndios florestais de sub-bosque na zona de florestas úmidas do sul de Roraima: área atingida e biomassa morta

Paulo Eduardo Barni¹
Ebelize Barros Rocha Silva¹
Francisco das Chagas Ferreira Silva¹

¹ Universidade Estadual de Roraima – UERR, *Campus Rorainópolis*
Av. Senador Helio Campos, s/nº, 69375-000, Rorainópolis, Roraima, Brazil;
{paulinpa2007, ebelize684, chagasferreirasilva}@gmail.com.

Abstract. Understory forest fires threaten the integrity of the forest because they cause the degradation and loss of functions of water recycling, soil renewal and maintenance, and carbon storage. Because the intensification and frequency increase of events as prolonged droughts by the El Niño phenomenon, changes in land use and cover and by selective logging, the incidence of those events in the Amazon is reaching areas of humid forests with insignificant numbers of those occurrences. The objectives of this study were: (i) to estimate the area impacted by understory forest fires and; (ii) to estimate the dead biomass by forest physiognomy as a result of the fire effect. The analyzes were anchored in field data (frequency and mortality of trees by fire), in satellite images in a GIS environment. The total area burned reached 1,861.5 km², affecting 68.0 x 10⁶ Mg of biomass, of which 15.3 x 10⁶ Mg (22.4%) died. The Dense Ombrophylous Forest (Ds) was the most affected by the fires, as it covers Settlement Projects along the two main access roads of the State. Selective logging, coupled with the inappropriate use of fire and abnormal drought conditions, contributed to the spread of fire in the region. More detailed studies are needed in this wetland of Roraima to assess other impacts of fires (hydrological and social) and the main consequences on the forest structure and ecology of animal and plant species.

Keywords: Remote Sensing, Image Processing, Maximum Likelihood Method, Fire Ecological Zoning.

1. Introdução

Incêndios florestais de sub-bosque são uma ameaça à integridade da floresta porque promovem a degradação e a perda das suas funções de reciclagem da água, de renovação e manutenção dos solos e de armazenamento de carbono. Devido a intensificação e aumento da frequência de eventos de secas prolongadas dirigidas pelo fenômeno El Niño, por mudanças de uso e cobertura da terra e por Extração Seletiva de Madeira – ESM predatória, a incidência desses eventos na Amazônia está alcançando áreas de florestas úmidas com insignificante número dessas ocorrências (e.g., BARNI et al. 2015). Um desses recentes exemplos ocorreu no início do ano de 2016 na região das florestas ombrófilas úmidas do sul do estado de Roraima, quando um grande incêndio florestal (área de 1.504,8 km²) foi documentado (dados não publicados) a partir de visualização e edição manual de imagens de satélites em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas – SIG. Na ocasião foram utilizadas imagens Landsat 8 (USGS 2016) com data de passagem em 24/01/2016 (Orb. / Pt. 232 59) e de 18/02/2016 (Orb. / Pt. 231 59 e 60). Estes incêndios foram causados pela prática do uso do fogo por pequenos agricultores familiares e fazendeiros, se alastrando para o sub-bosque da floresta devido à forte e prolongada seca dos biênios 2014/2015 e 2015/2016.

No presente trabalho aplicamos técnicas de mapeamento automático das áreas atingidas pelo fogo de sub-bosque derivado do biênio 2015/2016. Isto foi feito a partir do algoritmo da máxima verossimilhança (*MaxVer*) em que o mapeamento foi realizado pela distinção de classes de uso da terra de modo supervisionado pelo usuário/especialista. No entanto, o treinamento supervisionado do algoritmo foi calibrado com observações da ocorrência das manchas ou cicatrizes dos incêndios diretamente no campo por Sistema de Posicionamento Global – GPS e as outras classes de uso por conhecimento empírico da região de estudo.

Esse mapeamento é de suma importância por proporcionar subsídios às políticas públicas de combate aos incêndios, para subsidiar estimativas de emissões de GEE na região e

contribuir para a melhora da representação dos cálculos de biomassa afetada pelos incêndios. Vale ressaltar que o Inventário Nacional de Emissões de GEE (e.g., BRASIL, MCTI 2014) ainda não considera as emissões por incêndios florestais de sub-bosque nos cálculos das emissões por mudanças de uso da terra e florestas. Este fato persiste devido ao pequeno volume de trabalhos realizados nesta área do conhecimento e às grandes incertezas envolvidas nos cálculos.

Portanto, os objetivos desse estudo foram: (i) estimar a área impactada pelos fogos florestais de sub-bosque e; (ii) estimar a biomassa morta por fitofisionomia florestal em decorrência do efeito do fogo de sub-bosque.

2. Metodologia

2.1 Área de estudo

A área de estudo foi restrita à Zona Sem Influência da Savana – ZSIS (BARNI et al. 2015) e abrangeu partes de quatro cenas Landsat 8 cobrindo a região sul de Roraima e com data de passagem no ano de 2016 (Figura 1). Após a manipulação das imagens em ambiente SIG, a área de estudo se restringiu apenas às áreas de floresta (Figura 1B).

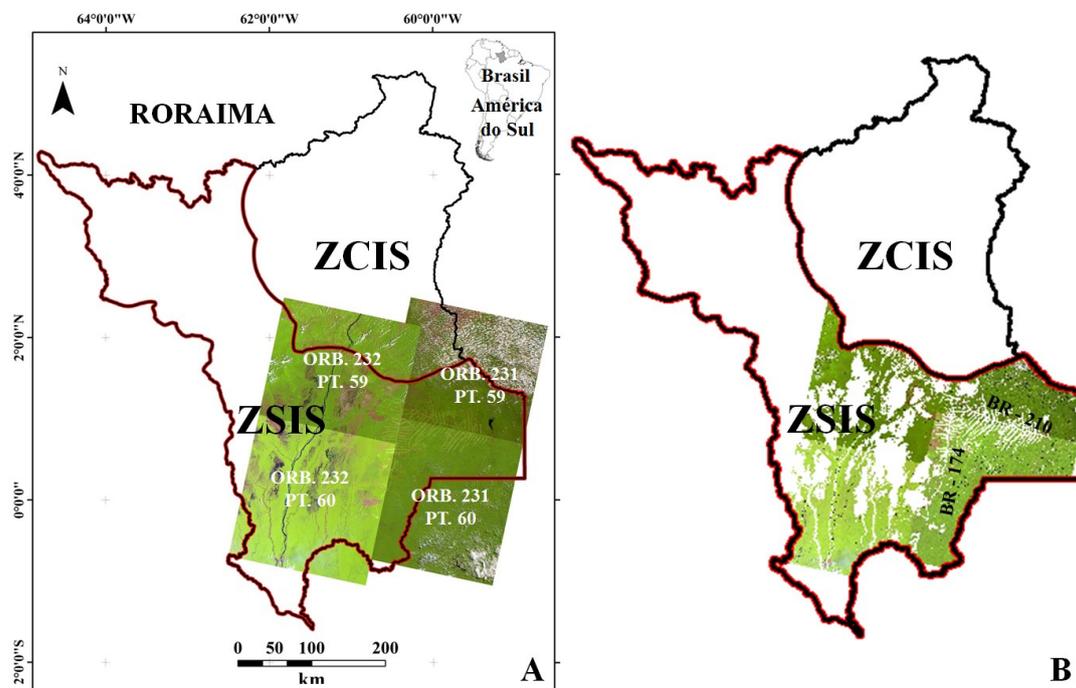


Figura 1. Em (A) a área de estudo proposta inserida no Sul do Estado de Roraima e em (B) a área de estudo após a aplicação da máscara de desmatamento e não-floresta do PRODES (BRASIL, INPE 2016), para extração apenas das áreas de florestas. ZCIS: Zona Com Influência da Savana; ZSIS: Zona Sem Influência da Savana (BARNI et al. 2015).

2.2 Material

Foram utilizadas **1.** Imagens Landsat 8 das Orb. / Pt. 232 ; 231 / 59; 60 do ano de 2016 (USGS 2016); **2.** Mapa vetorial da ZSIS (BARNI et al. 2015); **3.** Mapa vetorial de fitofisionomias florestais (BRASIL, PROBIO 2013); **4.** Mapa de desmatamento e de não-floresta do PRODES (BRASIL, INPE 2016); **5.** Mapa de biomassa de Roraima (BARNI et al. 2016); **6.** Mapa vetorial de incêndios florestais (dados não publicados); **7.** Dados de inventários florestais da região (literatura especializada) e; **8.** Dados de mortalidade de árvores pelo incêndio ocorrido na área de estudo em 2016.

2.3 Métodos

A metodologia utilizada no estudo combinou mapas de distribuição espacial de fitofisionomias florestais com mapas de incêndios florestais e de biomassa florestal. A estrutura horizontal e vertical da floresta foi representada a partir de dados de inventários florestais acima de 10 cm do Diâmetro Acima do Peito – DAP (1,3 m do solo) e por dados de mortalidade de árvores coletados em áreas atingidas por incêndios florestais de sub-bosque. A extrapolação das áreas atingidas pelos incêndios em toda área estudada foi realizada por técnicas de mapeamento automático supervisionado (MAXVER) e foi resumida no fluxograma abaixo (Figura 2).

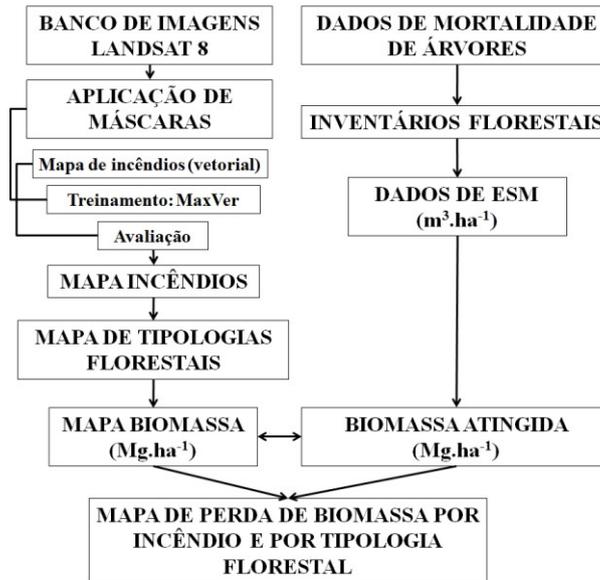


Figura 2. Fluxograma da metodologia aplicada na área de estudo para obtenção do mapa de área incendiada e de perda de biomassa atingida (Mg ha^{-1}) por incêndios nas tipologias florestais. **ESM:** Extração Seletiva de Madeira.

2.3.1 Mapeamento da área atingida por incêndios florestais de sub-bosque

Neste estudo o mapeamento das cicatrizes de incêndios florestais foi realizado aplicando-se o algoritmo da Máxima Verossimilhança nas quatro imagens individualmente. Isto foi feito devido aos diferentes padrões da paisagem causados pela diferente data de passagem do satélite entre uma órbita e outra, o que, provavelmente, modifica as respostas espectrais de uma determinada classe entre uma cena e outra. Para a máxima performance do algoritmo a análise foi executada somente nas áreas de floresta (máscara), sendo eliminados os pixels representando outras classes de uso da terra como, por exemplo, o desmatamento acumulado e áreas de não floresta. No caso da classe representando os incêndios o mapeamento foi realizado a partir de dados auxiliares de observações de campo e edição manual das cicatrizes diretamente nas imagens Landsat 8.

2.3.2 Estimativa da perda de biomassa por fitofisionomia florestal

Foram utilizados dados de inventário florestal realizado em 21 transectos de 4 x 250 m ($1000 \text{ m}^2 * 21 = 2,1 \text{ ha}$) nas áreas afetadas pelos incêndios. Neste inventário, realizado entre um a três meses após a ocorrência dos incêndios, foram contabilizadas 137 árvores e palmeiras com $\text{DAP} \geq 10 \text{ cm}$ mortas em decorrência dos incêndios. Estes números apontam para uma mortalidade de 19,7% nesta categoria ($\text{DAP} \geq 10 \text{ cm}$). As árvores mortas pelo incêndio foram distinguidas das árvores mortas por ESM (árvores quebradas e tocos da ESM:

3,7%) e por Causas Naturais (árvores mortas sem *causa mortis* aparente: 7,4%). Para a estimativa de perda de biomassa para as árvores mortas abaixo de 10 cm de DAP foi utilizado o índice de 2,4% da biomassa total (Mg ha^{-1}) utilizado por Barbosa e Fearnside (1999) para a estimativa de biomassa perdida pelo grande incêndio de 1998/1999 acontecido em Roraima na ZCIS. Assim, para estimar a perda de biomassa em decorrência dos incêndios na área de estudo foi utilizado o índice de 22,1% ($19,7 + 2,4\%$) sobre o valor de biomassa total em cada pixel representando a biomassa nos mapas de tipologias florestais. Isto foi realizado utilizando-se a função de calculadora raster (*raster calculator*) do SIG.

2.3.3 Caracterização da ESM na área de estudo

Para caracterizar a ESM, em termos de percentual de área (%) de floresta explorada atingida pelos incêndios de sub-bosque e de produção madeireira ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) em toda área de estudo foi aproveitado dados de Barni e Silva (2016) realizado em um recorte de aproximadamente 4.500 km^2 abrangendo a região sul do município de Rorainópolis (atual polo madeireiro do Estado) ao longo de 90 km da Rodovia BR – 174 e que liga Manaus – AM a Boa Vista – RR (Figura 3). Neste local a ESM foi atingida em 67,1% da área explorada por incêndios. Por outro lado, esse percentual foi semelhante ao levantado nas 21 parcelas de 1000 m^2 cada uma (transectos: $4 \times 250 \text{ m}$) do inventário de mortalidade de árvores por incêndios, em que 14 delas (66,7%) foram observados vestígios de ESM (Figura 4). Nesse caso foi utilizado o índice de 66,9%, valor médio entre os dois valores observados independentemente. Quanto à produção madeireira foi utilizada a taxa média de $41,9 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ observada no período de 2007 a 2016 neste recorte e que foram autorizadas pela Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – FEMARH, para o aproveitamento da madeira em projetos de “corte raso” (legalização do desmatamento) (BARNI e SILVA 2016). Essa taxa foi multiplicada pela densidade básica média ($0,769 \text{ g} \cdot \text{cm}^3$) de nove espécies madeiras (SILVEIRA et al. 2013) para transformar o volume comercial ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) em biomassa seca (Mg ha^{-1}). Nessa abordagem foi considerada apenas a biomassa da madeira explorada comercialmente (tronco) ignorando a biomassa de outros componentes como galhos grossos e a copa, por exemplo.

2.3.4 Avaliação do mapeamento

A avaliação do mapeamento foi realizada de acordo com Pontius & Millones (2011). Nessa abordagem o mapeamento automático foi comparado com o mapeamento realizado manualmente considerando a “quantidade em desacordo” (*Quantity disagreement*) e a localização em desacordo (*allocation disagreement*) entre os dois mapeamentos. Também foi realizada a validação cruzada com os pontos utilizados para o teinamento do algoritmo do MaxVer com o resultado do mapeamento das cicatrizes de fogo. Neste caso utilizou-se apenas os pontos para a classificação das áreas de incêndios descartando-se os pontos utilizados para o mapeamento das outras classes de uso da terra.

3. Resultados e Discussão

3.1 Área atingida e biomassa afetada por incêndios florestais de sub-bosque

A área total mapeada incendiada foi de $1.861,5 \text{ km}^2$ considerando as partes das quatro cenas Landsat 8 referentes a Zona Sem a Influência da Savana – ZSIS. A maior área incendiada foi registrada no grupo Ombrófila ($1.054,8 \text{ km}^2$; 67,4% da área total), sendo a Floresta Ombrófila Densa (Ds) a mais atingida no grupo (96,1%). O grupo Ecótono foi o segundo mais atingido pelos incêndios (21,5%) da área de estudo. A Campinarana foi o terceiro maior grupo a ser atingido, com $365,4 \text{ km}^2$ (11,1%) de área incendiada. Apesar da

floresta Estacional estar presente na área estudada (12,8 km²) não foram verificadas áreas de incêndio nesse grupo (Tabela 1).

A estimativa de biomassa afetada pelos incêndios foi de 68,0 x 10⁶ Mg em toda a extensão da área estudada. A biomassa morta em função dos incêndios foi estimada em 15,3 x 10⁶ Mg (Tabela 1). A maior quantidade de biomassa afetada pelos incêndios foi registrada para o grupo das florestas Ombrófilas (44,0 x 10⁶ Mg; 96,1%), sendo a fitofisionomia Ds (média de 435,5 Mg.ha⁻¹ de biomassa total, acima e abaixo do solo) a mais afetada dentro desse grupo (9,7 x 10⁶ Mg; 22,1%). No caso da biomassa exportada pela ESM esta foi estimada em 3,3 x 10⁶ Mg sendo a fitofisionomia Ds a mais afetada (68,9%) (Tabela 1).

Tabela 1. Tipos florestais, área atingida, biomassa afetada e morta pela passagem do fogo de sub-bosque na área sem a influência da savana de Roraima.

Grupo	Tipo	Área (km ²)	Biomassa total (Mg x 10 ⁶)	Média (Mg.ha ⁻¹)	Fogo (km ²)	Biomassa atingida (Mg x 10 ⁶)	Biomassa morta (Mg x 10 ⁶)	Biomassa ESM (Mg x 10 ⁶)
Ombrófila	As	3.975,1	164,3	413,2	42,3	1,7	0,4	0,1
	Da	735,5	27,8	377,9	1,6	0,1	0,013	0,0
	Db	7.637,0	317,6	415,8	0,0	0,0	0,0	0,0
	Dm	735,2	28,2	383,1	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ds	27.061,7	1.178,5	435,5	1.010,9	44,0	9,7	2,2
Sub total	-	40.144,5	1.716,3	427,5	1.054,8	45,8	10,1	2,3
Campinarana	La	1.326,4	31,3	236,2	12,8	0,3	0,1	-
	Ld	15.988,8	328,8	205,6	352,6	7,3	1,8	-
Sub total	-	17.315,2	360,1	208,0	365,4	7,6	1,9	-
Ecótono	LO	11.650,8	397,4	341,1	356,4	12,2	2,7	0,8
	ON	426,5	12,6	294,8	84,8	2,5	0,6	0,2
	SO	184,5	6,6	358,8	0,13	0,0	0,001	0,0
Sub total	-	12.261,8	416,6	339,7	441,3	14,7	3,2	1,0
Estacional	Sa	12,8	0,1	75,6	0,0	0,0	0,0	-
Total	-	69.734,3	2.493,1	357,5	1.861,5	68,0	15,3	3,3

A maior incidência dos incêndios na fitofisionomia Ds pode ser explicada pela sua grande distribuição abrangendo a região da BR – 174 e da BR – 210 e em toda região sul de Roraima (e.g., BARNI et al. 2016). Com isso, essa fitofisionomia comporta e faz interface com praticamente todos os Projetos de Assentamento – PAs dessa região e sofre todo tipo de fragmentação florestal, tanto pelo desmatamento como pela ESM praticada de forma predatória (e.g., BROADBENT et al. 2008; BARNI et al. 2012) (Figura 3).

O percentual de 22,1% utilizado para estimar a perda de biomassa pelos incêndios nas fitofisionomias florestais variou, em média, de 45,4 Mg ha⁻¹ para Ld a 96,2 Mg ha⁻¹ para Ds, a classe de maior biomassa florestal total no mapa apresentado por Barni et al. (2016) utilizado no estudo. Estes valores foram, em média, 2,8 vezes maiores que o valor de 23,3 Mg ha⁻¹ (classe ON) de biomassa utilizado por Barbosa & Fearnside (1999) estimando as emissões de GEE no grande incêndio de 1997/98 ocorrido na ZCIS de Roraima. No entanto esses valores médios de biomassa perdida na classe ON (65,2 Mg ha⁻¹) foram 1,3 (30%) vezes maiores do que o valor calculado por Cochrane & Schulze (1999) de 50 Mg ha⁻¹, em Tailândia, Pará.

O percentual de mortalidade de 19,7% das árvores ≥ 10 cm de DAP encontrado neste estudo foi 2,2 vezes menor do que o percentual de 44% registrado por Holdsworth & Uhl (1997); 3,1 vezes menor do que o valor de 60,3% relatado por Kauffman (1991), ambos os estudos realizados no município de Paragominas, Pará. Também foi 1,8 vezes menor do que o valor de 36% calculado por Haugaasen et al. (2003) em um estudo realizado próximo a Santarém, Estado do Pará. No entanto este percentual foi 2,1 vezes maior que o percentual de 9,5% utilizado por Barbosa & Fearnside (1999).

Considerando que esses estudos foram realizados pelo menos oito meses após os eventos de incêndios, enquanto que em nosso estudo o inventário foi realizado entre um (1) e três (3) meses após esses eventos, é esperado que o percentual de mortalidade também cresça em nossa área de estudo com o passar do tempo.

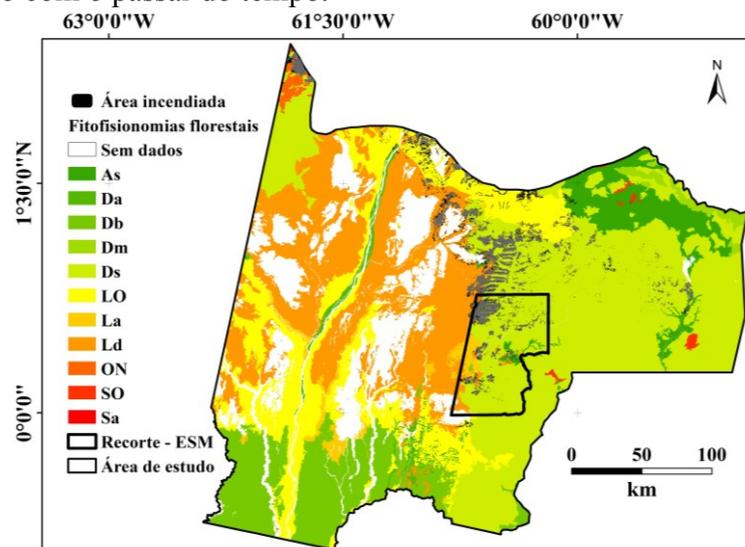


Figura 3. Fitofisionomias florestais atingidas por incêndios florestais de sub-bosque e área de Extração Seletiva de Madeira - ESM (recorte). **FONTE:** Brasil, PROBIO (2013).

3.2 Estimativa de biomassa da ESM nas áreas atingidas por incêndios

A taxa de $41,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ utilizada nos cálculos de impacto da ESM nas áreas incendiadas foram duas vezes maiores que a taxa de $19,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ calculada por Nepstad et al. (1999) para a ESM em Roraima entre 1996 e 1997. Esta taxa gerou um valor de biomassa de $32,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ considerando Ds, sendo 1,2 vezes maior do que o valor de 26 Mg ha^{-1} utilizado por Fearnside et al. (2013). Esses valores altos se justificam devido a característica particular da ESM praticada em Roraima que é baseada em projetos de manejo para o corte raso. Esse sistema é utilizado para legalização do desmatamento em Roraima e oferece margens amplas para práticas predatórias de extração madeireira com grande possibilidade de burlar a fiscalização promovida pelos órgãos ambientais (e.g., MONTEIRO et al. 2010; BARNI et al. 2012). Estas taxas elevadas de ESM utilizadas pela indústria madeireira na região nos oferece um indicativo da severidade e da magnitude do que foi a passagem dos incêndios de sub-bosque ocorridos no início do ano de 2016 na região Sul de Roraima (e.g., SOUZA JR. et al. 2005).

3.3 Avaliação do mapeamento

A avaliação do mapeamento considerando a comparação com o mapeamento manual de $1.504,8 \text{ km}^2$ de área incendiada (dados não publicados) registrou divergências de quantidade de área de 19,4% ($361,4 \text{ km}^2$) e de localização de 26,1% ($487,0 \text{ km}^2$) perfazendo um total de 45,5% de discordância e 54,5% ($1.017,8 \text{ km}^2$) de concordância entre os dois mapeamentos (e.g., PONTIUS & MILLONES 2011; BARNI et al. 2015). Quanto à validação cruzada esta obteve um percentual de 74,3% de acerto e 25,7% de erro. O que pode explicar, em parte,

esses erros de quantidade de área e de localização são: **1.** Maior cobertura de nuvens nas imagens utilizadas no mapeamento manual comparadas com as imagens utilizadas neste estudo e; **2.** A maior “fragmentação” do mapeamento automático em relação ao mapeamento manual. No primeiro caso, provavelmente, a quantidade de nuvens “escondeu” áreas incendiadas contribuindo para a verificação de menor área. No caso do segundo fator a fragmentação causada pelo mapeamento no nível de pixel concorre para a formação de maior área visto que o algoritmo compara a curva de resposta dos pixels de treinamento com todos os pixels da cena. Este fato fez o algoritmo confundir pixels representando não-floresta com pixels que representariam incêndios, devido à proximidade e semelhança da resposta espectral entre essas duas classes (Figura 4). Esses erros de localização ocorreram com maior frequência na parte centro / norte das cenas 231 / 59 e 232 / 59, local de ocorrência de campinaranas não-florestadas (Lg: Vegetação gramínea-lenhosa e Lb: Vegetação oligotrófica espessa, ambas ocorrentes em áreas pantanosas e arenosas) e que fazem interface com áreas de assentamento humano ao longo da BR – 174 e ao longo da RR – 170 em Novo Paraíso, município de Caracaraí (e.g., BARNI et al. 2016).

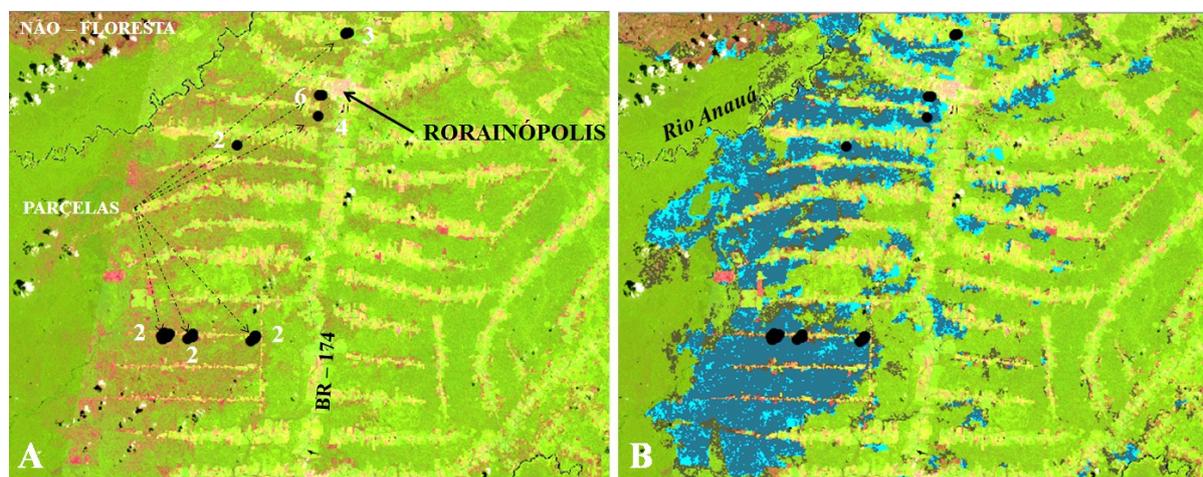


Figura 4. Em (A) mosaico de imagens Landsat 8 (1: 400.000) exibindo cicatrizes de incêndios florestais de sub-bosque entre as estradas vicinais do PA Anauá. Pontos pretos (A e B) localização das 21 parcelas da amostragem de campo (2,1 ha). Em (B) comparação entre os mapeamentos automático (80% de cinza e com 30% de transparência) sobreposto ao mapeamento manual (azul céu). **FONTE:** USGS (2016).

4. Conclusões

A floresta ombrófila densa (Ds) foi a mais afetada pelos incêndios devido à sua ampla distribuição especial na região, englobando PAs dispersos ao longo das duas principais vias federais de acesso do Estado. A ESM, realizada de forma predatória, juntamente com o uso inadequado do fogo e condições anormais de seca contribuíram para o grande espalhamento do fogo na região. São necessários estudos mais aprofundados nas áreas atingidas pelos incêndios nesta zona úmida de Roraima para se avaliar os demais impactos do fogo (hidrológico, social) e as principais consequências na estrutura da floresta e na ecologia das espécies animais e vegetais.

Agradecimentos

Agradecemos a Universidade Estadual de Roraima – UERR pelo apoio institucional, a Reinaldo Imbrozio Barbosa pelos excelentes comentários e sugestões ao manuscrito e Tatiane Marie Martins Gomes de Castro pela tradução do resumo para o inglês.

Referências

- Barbosa, R. I.; Fearnside, P. M. Incêndios na Amazônia: Estimativa da emissão de gases de efeito estufa pela queima de diferentes ecossistemas de Roraima na passagem do evento —El-NiñoI (1997/1998). **Acta Amazonica**, 29: 513-534, 1999.
- Barni, P. E.; Fearnside, P. M.; Graça, P. M. L. A. Desmatamento no sul do Estado de Roraima: padrões de distribuição em função de Projetos de Assentamento do INCRA e da distância das principais rodovias (BR-174 e BR-210). **Acta Amazonica**, v. 42, n. 2, 2012.
- Barni, P. E.; Pereira, V. B.; Manzi, A. O.; Barbosa, R. I. Deforestation and forest fires in Roraima and their relationship with phytoclimatic regions in the Northern Brazilian Amazon. **Environmental Management**, 55, 1124–1138, 2015.
- Barni, P. E.; Silva, E. B. R. Extração seletiva de madeira em Rorainópolis: a floresta em perigo. In: XI Semana Nacional de Ciência e Tecnologia no Estado de Roraima –SNCT-RR. Ciência alimentando o Brasil. No prelo. **Anais...** <<https://snctoraima.wordpress.com/publicacoes-boletins-snct-roraima/>>. 2016.
- Barni, P. E.; Manzi, A. O.; Condé, T. M.; Barbosa, R. I.; Fearnside, P. M. Spatial distribution of forest biomass in Brazil's state of Roraima, northern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, 377, 170–181, 2016.
- Brasil, INPE. 2016. Projeto PRODES – **Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, São Paulo, Brazil. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>>. Acesso em 20/10/2016.
- Brasil, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI. **Estimativas anuais de Emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Segunda edição. CEP: 70.067-900 – Brasília – DF. 168 p., 2014. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0235/235580.pdf>. Acesso em: 11 de out de 2016.
- Brasil, PROJETO DA BIODIVERSIDADE BRASILEIRA - PROBIO. **Mapas de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros**. Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm>>. Acesso em: 21 de set de 2013.
- Broadbent, E. N.; Asner, G. P.; Keller, M.; Knapp, D. E.; Oliveira, P. J. C.; Silva, J. N. Forest fragmentation and edge effects from deforestation and selective logging in the Brazilian Amazon. **Biological Conservation**, 141: 1745-1757, 2008.
- Fearnside, P. M.; Barbosa, R. I.; Pereira, V. B. Emissões de gases do efeito estufa por desmatamento e incêndios florestais em Roraima: Fontes e sumidouros. **Revista Agroambiente On-line**, 7: 95-111, 2013.
- Haugaasen, T.; Barlow, J.; Peres, C. A. Surface wildfires in central Amazonia: shortterm impact on forest structure and carbon loss. **Forest Ecology and Management**, 179: 321-331, 2003.
- Holdsworth, A. R., ; Uhl, C. Fire in eastern Amazonian logged rain forest and the potential for fire reduction. **Ecological Applications**, 7(2): 713-725, 1997.
- Kauffman, J. B. Survival by sprouting following fire in tropical forests of the Eastern Amazon. **Biotropica**, 23(3): 219-224, 1991.
- Monteiro, A.; Cardoso, D.; Conrado, D.; Veríssimo, A.; Souza Jr, C. **Boletim Transparência Manejo Florestal- Estado do Pará 2008 a 2009**. Belém: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia – Imazon, 16 p, 2010.
- Nepstad, D. C.; Veríssimo, A.; Alencar, A.; Nobre, C.; Lima, E.; Lefebvre, P.; et al. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. **Nature**, 398: 505-508, 1999.
- Pontius, R. G. Jr.; Millones, M. Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. **International Journal of Remote Sensing**, 32:4407–4429, 2011. doi:10.1080/01431161.2011.552923.
- Silveira, L. H. C.; Rezende, A. V.; Vale, A. T. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. **Acta Amazonica**, 43(2): 179 – 184, 2013.
- Souza Jr., C. M.; Roberts, D.; Cochrane, M. A. Combining Spectral and Spatial Information to Map Canopy Damages from Selective Logging and Forest Fires. **Remote Sensing of Environment**, 98. 329-343, 2005.
- USGS – U.S. Department of the Interior U.S. **Geological Survey**. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 20 de out de 2016. 2016.