

Mapeamento e monitoramento de cicatrizes de queimadas na REBIO do Gurupi-MA utilizando imagens orbitais de média resolução espacial

Magda Valéria Corrêa Miranda¹
Tamires de Fátima Pinto Lisboa Guimarães²
Marcos Adami²
Igor da Silva Narvaes²
Alessandra Rodrigues Gomes²

¹Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologias Espaciais (FUNCATE). Avenida Dr. João Guilhermino, 429, 11º Andar, Centro, 12.210-131, São José dos Campos/ SP.
Caixa Postal 96 - 13416-000 - Piracicaba - SP, Brasil
magda.miranda@org.funcate.br

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Centro Regional Amazônia – INPE/CRA
Parque de Ciência e Tecnologia do Guamá, 2651, Av. Perimetral – CEP: 66077-830 Belém-PA, Brasil.
{tamires.lisboa, alessandra.gomes, igor.narvaes, marcos.adami}@inpe.br

Abstract. The remote sensing techniques have an essential role in environmental monitoring, as it has been done in Legal Amazon for over twenty years now, by the National Institute of Spatial Research (INPE). In this context, the “Queimadas” Project monitors hotspots and forest fires, besides of calculating and previewing the vegetation’s fire risk. The Gurupi Biological Reserve (REBIO Gurupi) located in the State of Maranhão is a conservation unit that suffers constantly with invasions, fauna threats, illegal wood extraction and deforestation, and thereby being also a target of intense and frequent burnings. Accordingly, this paper has as main objective to map and monitor burnt scars inside the REBIO Gurupi, using medium resolution orbit images, considering the hotspots dynamic presented in the area, in the period of August, 2015 to April, 2016. Images of three different dates were analyzed (August, 2015; December, 2016 and March, 2016), with 12.326 hotspots in the period and 11.151,72 km² of burnt scars in the area, continuous and of great dimension, indicating recurring burnings, according to the literature. The burnings and hotspots distribution in the REBIO Gurupi is associated to the type of existing occupation, which in the north is majorly established by medium and big farm owners and in the south, by rural producers, where it was mapped the biggest burning area. Therefore, it is extremely necessary to keep monitoring this area, in order to prevent and control the burnings inside the REBIO Gurupi.

Palavras-chave: *remote sensing*, sensoriamento remoto, *image processing*, processamento de imagens, *burned*, queimadas, *Amazon*, Amazônia, *conservation units*, unidades de conservação.

1. Introdução

A sociedade brasileira conta com diversas ferramentas que auxiliam na gestão do espaço geográfico e também na proteção do meio ambiente, entre elas, destaca-se aqui o uso do Sensoriamento Remoto. A Amazônia Legal é monitorada há mais de vinte anos por projetos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por meio de sensoriamento remoto por meio de diversos projetos. Entre os projetos que realizam este monitoramento, a Amazônia conta com o Projeto Queimadas, que é responsável por realizar o monitoramento operacional de focos de queimadas e de incêndios florestais detectados por satélites, e o cálculo e previsão do risco de fogo da vegetação (INPE, 2012; INPE, 2016 a).

Dentre todas as regiões que compõem o bioma Amazônia a Amazônia Maranhense é a região mais desmatada (INPE, 2016 d). Como estratégia para combater o desmatamento foram implantadas 1.153 Unidades de Conservação (UC) no Brasil, das quais 21 estão no Maranhão. Dentre elas a REBIO do Gurupi, criada pelo Decreto nº 95.614 de 12/01/1988 é gerenciada pelo ICMBio, a única de proteção integral e a segunda mais antiga do Estado do

Maranhão. Esta UC é constantemente ameaçada por invasões, pela extração ilegal de madeira, pelo desflorestamento e pelas queimadas. A Rebio do Gurupi está inserida em uma importante área para a preservação dos recursos naturais brasileiros. Juntamente com as terras indígenas (TI) Awá, Alto Turiaçu e Caru, forma uma importante faixa de floresta considerada como Área Prioritária para a Conservação (MMA, 2007). Porém a área da Rebio, sendo o último remanescente de floresta Amazônica no Estado do Maranhão, em um cenário de atividades agropecuárias e extrativistas, é vista também como última fonte de recurso madeireiro e tem sido alvo de recorrentes queimadas. Estas ameaças são motivo de preocupação para os gestores da Rebio e para a sociedade como um todo, uma vez que podem comprometer a geração de serviços ambientais realizados pela floresta. Mas segundo Granemann e Carneiro (2009), a proteção de florestas contra incêndios deve ser um trabalho contínuo, pois trata-se de um perigo constante e de um evento que caso ocorra, tem consequências desastrosas para o meio ambiente, causando perda de biodiversidade e danos patrimoniais.

Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo mapear e monitorar as cicatrizes de queimadas no interior da Rebio do Gurupi, através da utilização de imagens orbitais de média resolução espacial, considerando a dinâmica dos focos de incêndio apresentados na área no período de agosto de 2015 a abril de 2016.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Área de estudo

A Rebio do Gurupi localiza-se na região nordeste do Brasil, na transição entre os biomas Amazônia e Cerrado, inserida na Área de Endemismo Belém (AEB; SILVA et al. 2005). Compreende uma área de 2.711,82 km², no Estado do Maranhão, entre as coordenadas geográficas de longitude 46°27' e 46° 58' (oeste) e latitude 3° 9' e 4° 08' (Sul) (BRASIL, 1999). Abrange parte dos municípios de Centro Novo do Maranhão (MA), São João do Caru e Bom Jardim (BRASIL, 1999). Possui como limites a Reserva Indígena Alto-Turiaçu ao norte, Caru e Awá a oeste, além de limitar-se ao norte com o rio Gurupi, a leste com os rios Turiaçu e Pindaré (MIRANDA, 2014). O relevo é formado por depressões e tabuleiros. A região está inserida em uma zona climática do tipo Aw, equatorial, úmida, de temperatura quente a média em todos os meses, com três meses secos, onde o clima é, segundo a classificação de Köppen. Segundo Costa et al. (2011), a Amazônia maranhense, apesar de localizar-se em uma região com características de clima úmido, apresenta déficit hídrico sazonais. A fitofisionomia é composta por Floresta Ombrófila densa de terras baixas, Floresta Ombrófila densa submontana e vegetação secundária e atividades agrosilvopastoris (Figura 1).

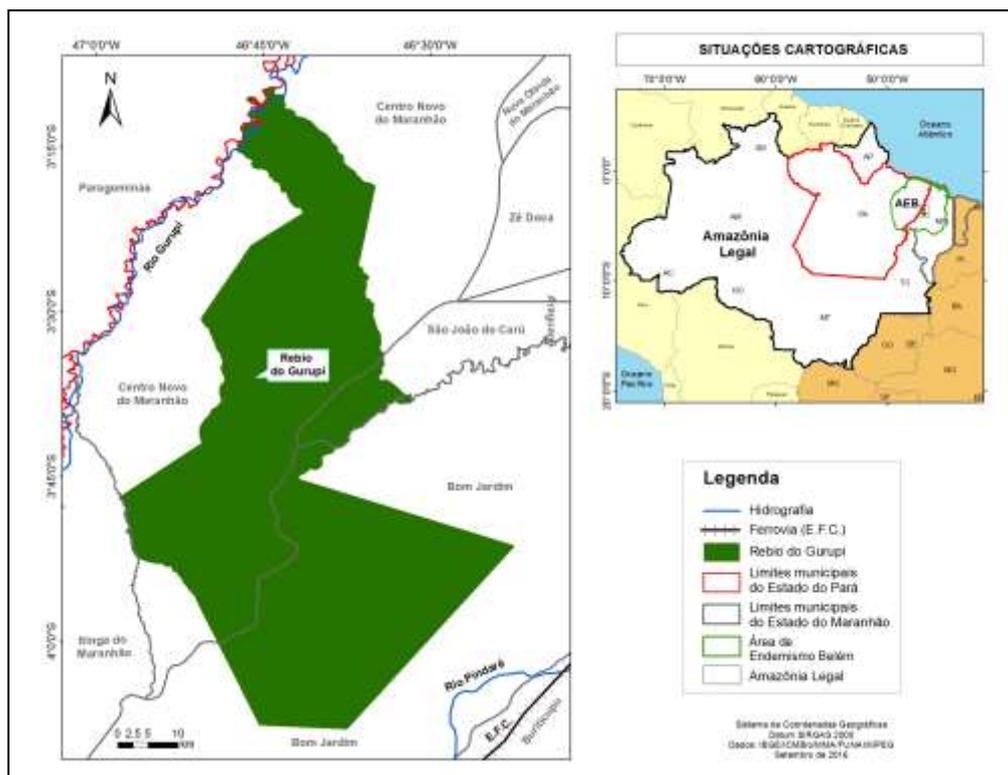


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo.

2.2. Etapas de trabalho

Inicialmente foi realizada a seleção e *download* das imagens de média resolução espacial que foram realizados na coleção de dados da *Global Land Cover Facility* (GLCF) disponíveis no site da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) (USGS, 2016), e no catálogo de imagens do INPE (INPE, 2016 d). Foi realizada também a seleção e *download* de focos identificados pelo satélite de referência para os meses de agosto de 2015 a abril de 2016 (<http://www.dpi.inpe.br/queimadas/>).

Baseado na disponibilidade de imagens para o período de agosto de 2015 a abril de 2016 e na intensidade da cobertura de nuvens, foram selecionadas três imagens com datas distintas, sendo duas Landsat – 8 e uma AWiFS – IRS 2, ambas pré-registradas (Tabela 1).

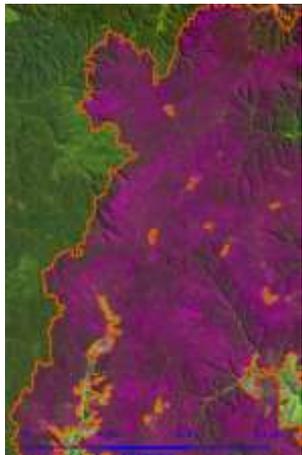
Tabela 1. Informações das imagens utilizadas no mapeamento de cicatrizes.

Satélite/Sensor	Órbita/Ponto	Data de aquisição da cena	Resolução espacial
Resourcesat II/ AWiFS	327/080 (Quadrante A)	14-Ago-2015	56 m
Landsat 8/ OLI	222/62-63	01-Dez-2015	30 m
Landsat 8/ OLI	222/62-63	23-Abr-2016	30 m

Posteriormente foi criado o banco de dados geográfico no *software* livre TerraAmazon versão 4.5.1., com Sistema de Coordenadas Geográfico Lat/Long e Datum SAD-69. Neste banco foram inseridas as imagens AWiFS e OLI, o vetor do limite da Rebio e os focos de calor do período de análise. Posteriormente foi realizada a composição colorida R5G4B3 para AWiFS e R6G5B4 para OLI. Como última etapa de processamento digital de imagens, foi aplicado contraste linear.

Na etapa de edição foi realizado mapeamento manual de nuvens e interpretação visual das imagens baseada nos critérios de fotointerpretação para a classe “Queimada” (Tabela 2).

Tabela 2. Critério para fotointerpretação de cicatrizes de queimadas.

QUEIMADA	COR	TONALIDADE	TEXTURA	FORMA	CONTEXTO
	Roxa ou magenta escuro na composição R5G4B3 (AWiFS) e R6G5B4 (OLI).	Alta/Média	Lisa	Regular com limites bem definidos.	Predomínio de solo exposto.

Para dimensionar a área afetada por cicatrizes de queimada na Reserva do Gurupi, estas áreas foram identificadas e mapeadas na reserva, uma vez que a importância da detecção e monitoramento de cicatrizes está além do problema do desmatamento, implicando em modificações climáticas, ecológicas e ambientais diversas (GRANEMANN E CARNEIRO, 2009). A detecção dos focos, feita através de imagens de baixa resolução espacial, apesar de não permitir quantificar áreas afetadas pelo fogo, constitui um importante indicativo de locais que sofrem as queimadas. Em relação às datas dos focos, elas são importantes pois indicam as datas mais prováveis do início das queimadas (SETZER et al. 1983; GRANEMANN E CARNEIRO, 2009).

3. Resultados e Discussão

Segundo dados do Programa de Monitoramento de Queimadas realizado pelo INPE, no período de agosto de 2015 a abril de 2016 foram identificados na área 12.326 focos de incêndio (<https://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/bdqueimadas>). A ocorrência de focos de calor apresentou crescimento a partir do mês de outubro de 2015, começando a declinar em janeiro de 2016. A maior ocorrência de focos de calor deu-se no mês de dezembro de 2015, representando 71 % do total verificado para o período todo e 72 % do total verificado em 2015. O município de Bom Jardim apresentou o maior número de focos de calor, com 8.107 focos, seguido de Centro Novo do Maranhão com 4.206 focos. Na UC em estudo, o período com maior incidência de focos de calor foram os meses de novembro e dezembro, com mais de 95% dos focos observados durante o período monitorado (Tabela 3).

A cena adquirida em 14/08/15 foi a com menor cobertura de nuvem, próxima do período de verificação do aumento do número de focos. Da mesma maneira, a do dia 23/04/16, última imagem analisada, foi a com menor cobertura de nuvem, com data próxima à da diminuição dos focos, porém com grande verificação de queimadas na área (a- as cicatrizes identificadas na imagem são referentes a queimadas mais “antigas”; b- apesar de menor, o número de focos foi verificado em grandes áreas, associado a cicatrizes de grande dimensão). Não foram verificados focos de calor na Reserva, no período de 09/08/15 até a data da primeira imagem. No segundo período que vai de 15/11/15 a 01/12/15, foram identificados pelo projeto

Queimadas, 3.769 focos de calor. No terceiro período que vai de 07/04/16 a 23/04/16, não ocorreram focos de calor na área. Para o período completo de 09/08/15 a 23/04/16, foram observados 12.326 focos de calor na Rebio do Gurupi (Tabela 3) e a área mapeada equivaleu a 1.151,72 km² de cicatrizes (Tabela 4).

Tabela 2. Evolução dos focos de incêndio na área da Rebio do Gurupi Ago 2015/ Abr 2016.

Ano	2015					2016				Total
Mês	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	
Nº de focos	-	5	243	3.097	8.756	214	11	-	-	12.326

Tabela 4. Mapeamento de cicatrizes de queimada na área da Rebio do Gurupi Ago 2015/ Abr 2016.

Data	Cicatrizes	
	Área (km ²)	Polígonos (unidade)
T1 (14/08/2015)	17,63	22
T2 (01/12/2015)	363,67	72
T3 (23/04/2016)	1.151,72	93

As queimadas apresentaram-se em diferentes tamanhos e localizações. Através da comparação entre a poligonal definida, pelas cicatrizes de incêndio mapeadas e pela análise dos focos de queima, é possível saber a definição do local onde ocorreu queima. Quando há focos de várias datas, e as áreas de interesse não se conectam com outras cicatrizes, isto indica que o incêndio teve duração de poucos dias e talvez de apenas um dia (SETZER et al. 1983). O contrário foi verificado na área da Rebio, onde as cicatrizes se conectaram, indicando queimadas contínuas e crescentes.

Granemann e Carneiro (2009) apontam que a maioria dos incêndios ocorre geralmente entre os meses de maio e setembro, devido aos baixos índices pluviométricos neste período. Segundo Moura et al. (2011), o regime pluvial na região da UC em estudo concentra as chuvas no período entre dezembro e junho, com picos entre março e maio, de modo que as queimadas concentram-se no segundo semestre do ano, com máxima intensidade entre setembro e novembro, o que foi verificado na área da Rebio, que apresentou a maioria dos focos no mês de dezembro e decréscimo a partir de janeiro.

Na primeira data analisada, foram mapeados 17,63 km² de cicatrizes de queimadas, com 22 observações e ausência de focos para este período. Na segunda data, foram mapeados 363,67 km² de cicatrizes de queimadas, com 72 observações e 2.548 focos para o período, associados às áreas de queimadas, ou seja, 67,60 % do total (3.769 focos) na área da Rebio e apenas 195 pontos em áreas cobertas com nuvem. Na terceira e última data analisada, houve um incremento de 788,05 km² com 93 polígonos, em relação ao segundo período, onde 77,16 % (9.511) dos focos estavam associados às áreas de queimadas e 718 focos em áreas cobertas por nuvem.

As cicatrizes de queimada na imagem representam a área afetada pela queima. Por outro lado, os focos representam apenas as frentes de fogo no momento da passagem do satélite. Deste modo, uma cicatriz de queimada pode estar associada a queimadas em qualquer data e hora anterior a passagens do satélite, ou ainda a requeimas, enquanto os focos são mais específicos temporalmente (JESUS et al. 2011).

As áreas de queimadas mapeadas e os focos de calor na Rebio do Gurupi, no período analisado, podem ser observadas na Figura 2.

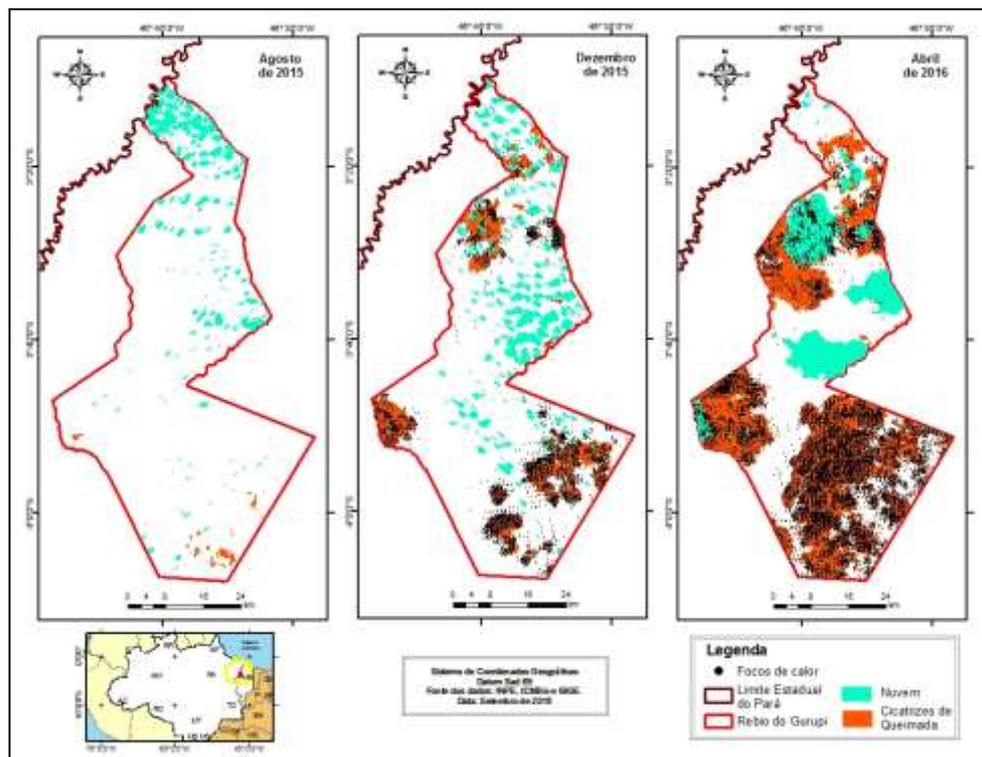


Figura 2. Cicatrizes de queimadas e focos de calor na área de estudo nas três datas analisadas.

Miranda (2014), observou que a partir de 2005 na Rebio, área desmatada diminuiu e a alteração da cobertura florestal passou a se dar através da exploração seletiva de madeira, atividade que continua sendo verificada na área de estudo, além de na porção norte da RG. Esta atividade pode ser a causadora de incêndios florestais já que segundo Moura et al. (2011), nesta região há grande concentração fundiária por parte de pecuaristas e empresas madeireiras. Segundo Fearnside (2005), a extração seletiva da madeira aumenta a inflamabilidade da floresta pois as aberturas no dossel permitem ao sol e ao vento atingirem o solo da floresta, resultando em microclimas mais secos aumentando a vulnerabilidade da floresta ao fogo.

A presença de pessoas desenvolvendo atividades econômicas na área mantém a Rebio em constante risco de degradação pelo fogo. Esta relação foi confirmada, pois a localização das queimadas foi predominante na porção sul onde existe a presença de assentamentos e pequenos produtores. Além disto, segundo Moura et al. (2011), a maior concentração de focos de calor coincide com as regiões ocupadas por pequenos produtores rurais, os quais não dispõem de assistência técnica e praticam agricultura de corte e queima.

Nas regiões central e norte da UC, caracterizadas por médias e grandes propriedades, respectivamente, os focos de calor estão mais relacionados à renovação de pastagens e a áreas de roçado implantadas pelos funcionários das fazendas. Isto corrobora com Teixeira (2005), ao considerar a ocupação humana em UCs, um dos aspectos polêmicos e desafiadores na administração destas áreas, uma vez que esta ocupação ameaça a conservação da biodiversidade. De acordo com Moura et al. (2011), no ano de sua análise, a ocorrência de incêndios florestais de grandes proporções era rara, porém já havia sido constatada por meio de imagens de satélite. Neste trabalho, analisando imagens de satélite de 2015 e 2016, verifica-se o comportamento atual das queimadas na área, onde elas ocorrem em grandes extensões e proporções (Tabela 4), estando associadas a áreas de grandes fazendas e também de pequenos assentamentos rurais.

4. Conclusão

Na Rebio do Gurupi foi observado que a ocorrência de queimadas está associada ao período de secas na região, porém esta ocorrência é intensificada devido às atividades antrópicas realizadas no interior desta UC. Além da intensa ocorrência de queimadas que abrangem grande parte desta importante área de proteção integral, a exploração seletiva de madeira e o desflorestamento também ameaçam a biodiversidade, indicando a necessidade do monitoramento contínuo e da proteção mais efetiva desta área para que ela cumpra seu papel de conservação e de proteção integral da biodiversidade.

O sensoriamento remoto, aliado aos sistemas de informações geográficas, auxiliou na identificação das queimadas, permitindo a elaboração de mapas das cicatrizes de queimadas e que podem auxiliar na prevenção e controle de incêndios na área da Rebio do Gurupi. Porém, diante do observado desde a criação desta reserva, as ações de repressão, fiscalização e monitoramento, precisariam ser mais eficazes na proteção desta área, uma vez que existe ocupação humana, em seu interior, associada à ocorrência de queimadas na área.

Recomenda-se portanto, a necessidade de maior articulação política por parte do Estado para lidar com os agentes antrópicos de degradação na área, investindo em assistência técnica e rural, diálogo e orientação de maneira a incentivar os cuidados com manuseio de fogo no período seco.

Referências bibliográficas

Araújo, E. P. de. Lopes, J. R. Carvalho Filho, R. **Aspectos socioeconômicos e de evolução do desmatamento na Amazônia maranhense.** In MARTINS, M. B. OLIVEIRA, T. G. de. **Amazônia Maranhense: Diversidade e Conservação.** Belém: MPEG, 2011. 328 p.: il.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Plano de Manejo da Reserva Biológica de Gurupi. Brasília, junho de 1999. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/rebio_gurupi.pdf. Acesso em: jul 2014.

Costa, K. S. P., et al. **Estudo da potencialidade hídrica da Amazônia maranhense através do comportamento de vazões.** In MARTINS, M. B. OLIVEIRA, T. G. de. **Amazônia Maranhense: Diversidade e Conservação.** Belém: MPEG, 2011. 328 p.: il.

Fearnside, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. **Megadiversidade**, vol. 1, n. 1, julho de 2005.

Florenzano, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 128 p.

Granemann, D. C. Carneiro, G. L. Monitoramento de focos de incêndio e áreas queimadas com a utilização de imagens de sensoriamento remoto. Paraná: Revista de Engenharia e Tecnologia, 2009. 8 p.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Risco de Fogo: Metodologia do Cálculo – Descrição sucinta da Versão 9. 2012. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas>. Acesso em: 28 set. 2016. Disponível em: http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/documentos/RiscoFogo_Sucinto.pdf. Acesso em: 14 nov. 2016 a.

INPE. **Monitoramento de Focos.** Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas>. Acesso em: 28 set. 2016 b.

INPE. **Programa Queimadas – Monitoramento por satélites.** Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas#wrapper>. Acesso em: 20 Out. 2016 c.

INPE. Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação (MCTI). **Divulgação do PRODES 2015**. Taxa estimada do desmatamento da Amazônia legal para o período ago/2014 – jul/2015. Brasília – DF, 2015. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/Prodes_Taxa2015_estimativa.pdf>. Acesso em: 28 set. de 2016 d.

INPE. **Catálogo de imagens**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em: 14 nov. de 2016 e.

Jesus, S. C. de. et al. Validação de focos de queimadas no Cerrado em imagens TM/Landsat-5. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15, 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0899.pdf> . Acesso em: 10 Out 2016.

Martins, M. B. Oliveira, T. G. de. **Amazônia Maranhense: Diversidade e Conservação**. Belém: MPEG, 2011. 328 p.: il.

Miranda, M.V.C. **Análise multitemporal da dinâmica do uso e cobertura do solo na Reserva Biológica (Rebio) do Gurupi no Estado do Maranhão**. Monografia (TCC) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém. 2014.

Moura, W. C. de, et al. **A Reserva Biológica do Gurupi como instrumento de conservação da natureza na Amazônia Oriental**. In MARTINS, M. B. OLIVEIRA, T. G. de. **Amazônia Maranhense: Diversidade e Conservação**. Belém: MPEG, 2011. 328 p.: il.

Setzer, A. et al. **Laudo sobre queimadas e incêndios na vegetação ocorridos no interior do Parque Nacional da Serra da Canastra, MG em agosto de 2008**. Monitoramento de Focos de Queimadas. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1983. 52 p. (INPE-2791-PRE/354).

Silva, J. D., et al., 2005. **O destino das áreas de endemismo da Amazônia**. Megadiversidade, vol.1, 124-131. 2005.

Teixeira, C. O desenvolvimento sustentável em unidade de conservação: a “naturalização” do social. **Revista Brasileira de Ciências Sociais** – RBCS vol. 20, n. 59, outubro de 2005.

United States Geological Survey (USGS). Global Land Cover Facility. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>> Acesso: 10.ago.2016.