

Dados multitemporais do sensor MODIS para o mapeamento de queimadas na Amazônia

Luaê Andere¹
Liana Oighenstein Anderson^{2, 3}
Valdete Duarte¹
Egídio Arai¹
Júlio Aragão⁺
Luiz Eduardo Oliveira e Cruz de Aragão¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Av. dos Astronautas, 1758, 12.227-010 – São José dos Campos, SP, Brasil, (luae, valdete, egídio, laragao@dsr.inpe.br)

²Centro Nacional de Monitoramento de Desastres Naturais – CEMADEN
Parque Tecnológico de São José dos Campos, Estrada Doutor Altino Bondensan, 500, São José dos Campos - São Paulo, 12247-016

³Environmental Change Institute – ECI, University of Oxford
South Parks Rd, Oxford OX1 3QY, United Kingdom
(liana.anderson@cemaden.gov.br)

⁺ *In memoriam*

Abstract. The aim of this article was to describe the steps for the production of a thematic classification of burned areas in Amazonia through the application of a semi-automated burnt scar detection method. We used two products (MOD09GAGQ and MOD09A1Q1) derived from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) onboard the Terra satellite. The classification procedure included the segmentation of the shadow images derived from a linear spectral mixing model (SLMM), and a subsequent classification of burned areas with a manual post-classification edition. All stages of the mapping process are explained, such as the particularities of the unsupervised classification and the choice of ancillary data used for reducing classification errors after de classification process. The methods presented here aims to depict the current knowledge for subsiding a near-real time mapping of burned areas. It is expected that with advances in the burned area mapping for different regions in Amazonia, new procedures maybe incorporated to this methodology in order to generate a site-specific and a more robust procedure.

Palavras-chave: MODIS sensor, Remote Sensing, burn scars mapping, sensor MODIS, sensoriamento remoto, cicatrizes de queimadas, mapeamento.

1. Introdução

Segundo o relatório de Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação florestal, REDD no Brasil: um enfoque amazônico, SAE (2011), a conversão de áreas de floresta em áreas destinadas a produção agropecuária, na Amazônia, tem sido a mais significativa fonte nacional de emissões dos Gases do Efeito Estufa (GEE) nas últimas décadas.

Aragão e Shimabukuro (2010) destacaram que a prática do fogo nas pastagens, áreas agrícolas e no processo de desmatamento são fontes de ignição dos incêndios florestais. Além destas atividades humanas, outros fatores do clima como a seca assim como a estrutura da vegetação exercem uma importante contribuição na ocorrência e na abrangência destes incêndios florestais (Silva *et al.*, 2013).

O mapeamento das áreas queimadas reduzem as incertezas referentes às emissões antrópicas de GEE, ocasionadas pelas dinâmicas do uso e cobertura da terra, permitindo que estes dados sejam usados como ferramenta de gestão para a efetivação de políticas públicas. O

gerenciamento dos incêndios florestais é relevante para que as emissões de GEE sejam controladas e seus impactos climáticos globais possam ser minimizados (Aragão *et al.*, 2014).

Considerando esta premissa, um dos objetivos do projeto Panamazônia II, (<http://www.dsr.inpe.br/laf/panamazonia/>) foi desenvolver uma metodologia de detecção de cicatrizes de áreas queimadas e a subsequente geração de mapas temáticos que classificam toda a extensão territorial afetada pelo fogo.

O estudo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento e aprimoramento da metodologia para mapeamento de cicatrizes de queimadas através da análise de imagens, tempo de persistência visível das cicatrizes, trabalho de campo e desenvolvimento de um modelo conceitual para subsidiar a execução de um procedimento operacional.

Especificamente, são apresentadas análises de três situações que visam demonstrar a potencialidade e limitações da utilização de produtos MODIS, assim como as soluções encontradas para subsidiar a operacionalização do uso destes produtos para uma região mais abrangente.

2. Área de estudo

Foram selecionadas três áreas com características distintas, de forma a caracterizar a potencialidade da metodologia para o mapeamento de cicatrizes de áreas queimadas:

Leste da Bolívia (Área 1): Localiza-se na região de Santa Cruz ao oeste da divisa do estado do Mato Grosso. Esta região faz parte da Planície Amazônica, onde a vegetação é composta por floresta densa amazônica (bosque sempre verde) e por floresta densa transicional para a Amazônia (Navarro e Ferreira, 2008). A temperatura média foi de 23,26°C no período de junho a outubro de 2010 e a pluviosidade foi de 23,64 mm, (SENAMHI, 2014), para este mesmo período.

Nordeste do Estado do Mato Grosso (Área 2): Esta região é próxima ao rio Xingu. A vegetação desta área de estudo distribui-se em fragmentos de floresta ombrófila densa (floresta tropical fluvial) e intercessões do bioma Cerrado em mosaicos com áreas produtivas com predomínio de pastagens. A temperatura média é de 33°C e de acordo com o mapeamento da precipitação pluviométrica de Marcuzzo *et al.* (2010), a média desta área é de 20 mm para o trimestre da estação seca.

Sul do Estado do Acre (Área 3): A mesorregião do Vale do Acre, que compõe 47,90 % da área total do estado e é dividida em três regiões onde duas compuseram a área do trabalho de campo, são elas: Regional Baixo Acre, que compõe 13,54% da proporção da área e a Regional Alto Acre com 9,69%, ambas as regiões com grandes concentrações urbanas e consequente antropização (IBGE, 2014).

Segundo Lorena (2001), nesta região, há o predomínio da floresta aberta com palmeiras, ocorrendo em menor grau a floresta aberta de cipó. Nas regiões percorridas foram predominantes as áreas rurais e fragmentos de florestas em estado avançado de degradação. A temperatura média anual é de 24°C e a precipitação pluviométrica acumulada foi de 1698 mm, (Bioclima, 2014), no período de junho de 2010 a junho de 2011.

3. Materiais e Métodos

3.1. Base de dados

a) Dados MODIS: Os produtos de reflectância de superfície selecionados para gerar os mapas temáticos foram provenientes do sensor MODIS a bordo da plataforma Terra e referem-se a mosaicos de oito dias derivados dos produtos MOD09A1, MOD09Q1 e imagens diárias dos produtos MOD09GQ e MOD09GA. Foram utilizadas três bandas espectrais destes produtos: banda 6 (1628nm – 1657nm/ infravermelho médio) que possui 500 metros de resolução espacial, reamostrada para 250 metros (ver seção 3.2), além das bandas 1 (620nm –

670nm/ Vermelho) e banda 2 (841nm – 876nm/ infravermelho próximo), ambas com resolução espacial de 250 metros.

Os mosaicos de 8-dias possuem as vantagens de exigir menor capacidade de armazenamento, menor demanda de tempo para seleção das imagens e contém as informações de um período de tempo de oito dias, porém não mantêm as características visuais das cicatrizes e pode conter sombras de nuvens. Já os produtos com resolução temporal diária possuem a vantagem de manter as características visuais das cicatrizes, porém contém nuvens, demandam muito tempo na seleção das imagens, requerem maior capacidade de armazenamento e não são capazes de manter um padrão de seleção de datas de imagens no período das datas selecionadas (Tabela 1).

Tabela 1. Exemplo de datas dos mosaicos de oito dias MOD09A1, MOD09Q1 e as datas das imagens diárias MOD09GA, MOD09GQ empregadas no mapeamento de 2010 e 2012.

2010	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	2012	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	OBSERVAÇÕES
DATAS MOD09 A1Q1 mosaico 8 dias	26	28	29	30	16	DATAS MOD09 A1Q1 mosaico 8 dias	25	27	12	22	7	Período dos mosaicos de oito dias empregado na classificação
DATAS MOD09GAGQ imagem diária						DATAS MOD09GAGQ imagem diária						datas das imagens diárias usadas para cobrir a area de estudo
ACRE	27	24	23	26	5	ACRE	29,31	30	28			
MATO GROSSO	28	24	23	12	13	MATO GROSSO	14	31	9	13, 29		
BOLIVIA			23	26		BOLIVIA	31	30	29	1		

b) Dados Landsat TM e ETM+: Foram utilizadas como dados de apoio. Possuem resolução espacial de 30 metros (Tabela 2).

Tabela 2. Imagens Landsat TM e ETM+ empregadas nas áreas de estudo.

Localidade	Satélite/ Sensor	Órbita/ Ponto	Data (JULIANO)	observação
Area 1. Bolívia	LANDSAT 5 TM/	231/70	2010: 240, 264, 280	Cicatriz em floresta visível por 12 meses.
	LANDSAT 7 ETM+		2011: 219, 259, 283	
Area 2. MT Grosso	LANDSAT 5 TM/	224/67	159, 207, 215, 255, 263, 271	identificação de cicatriz em floresta
	LANDSAT 7 ETM+	225/67	270	
Area 3. Acre	LANDSAT 5 TM/	002/067,	204, 220, 227, 235, 236, 268	conferência mapa temático 2010 em trabalho de campo
	LANDSAT 7 ETM+	002/68,		

c) Dados auxiliares:

i) Dados vetoriais contendo os limites das Unidades da Federação, limites da Amazônia Legal e América do Sul, malha hidrográfica, grade Landsat com órbitas-pontos.

ii) Focos de calor, oriundos do produto MODIS MDC14ML, filtrados para satélite Terra e com nível de confiança acima de 80%, de forma a aumentar a confiança na detecção de cicatrizes de queimadas em áreas de alagamento sazonal.

iii) mosaico de imagem Geocover Zulu do ano 2000 e outras imagens livres de nuvens dos produtos MODIS MOD09GAGQ também foram incorporados como dados auxiliares.

3.2. Pré-processamentos

A reamostragem de 500 metros para 250 metros da banda 6 do produto MOD09A1 foi feita utilizando o algoritmo “vizinho mais próximo” e posteriormente o dado foi convertido de *HDF* para o formato *Geotiff*, com projeção geográfica e datum WGS 1984, com o auxílio da ferramenta para reprojecção MODIS *Reprojection Tool* (MRT).

Das imagens-fração derivadas do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), (Shimabukuro e Smith 1991), foram utilizadas as frações sombra e aplicadas técnicas de segmentação e classificação não supervisionada, encontradas em Anderson *et al.* (2005) e em

Shimabukuro *et al.* (2009), com o programa SPRING (Sistema para Processamento de Informações Georeferenciadas), versão 4.3, (Câmara *et al.*, 1996).

3.3. Classificações de Imagens

Considerando os fatores que interferem no mapeamento das queimadas por possuírem resposta espectral similar (áreas escuras ou de baixa reflectância), como as áreas com água, fez-se necessário o emprego de uma máscara hídrica contendo os principais cursos e reservatórios, no processamento, para a redução do erro associado.

Os mapas temáticos gerados dos produtos MODIS MOD09A1, MOD09Q1, tiveram os polígonos corrigidos com a aplicação da sobreposição comparativa de imagens auxiliares com datas passadas e futuras na edição matricial final para minimizar erros de comissão e omissão (Lima *et al.*, 2009).

3.4. Verificação em Campo

Além dos procedimentos de verificação dos mapas temáticos, com imagens independentes do MODIS e Landsat, houve a verificação da ocorrência das cicatrizes por meio de trabalho de campo.

A área de validação cobriu a região do Baixo Acre e do Alto Acre por possuir a maior concentração populacional e maior antropização. O trabalho de campo ocorreu no período de 08 a 14 de junho de 2011, com o objetivo de validar em campo os vestígios de cicatrizes de queimadas ocorridas na estação da seca no ano de 2010.

O trajeto incluiu os municípios de Acrelândia, Assis Brasil, Brasiléia, Bujari, Capixaba, Epitaciolândia, Manoel Urbano, Plácido de Castro, Senador Guimard e Xapuri. Para a localização das cicatrizes foi utilizado o GPS *Garmin* acoplado ao programa Trackmaker para a espacialização dos dados.

Os pontos identificados foram descritos de acordo com a presença de cicatrizes e o estado de recuperação da vegetação. Para cada ponto foi gerada uma descrição em uma planilha, contendo as características da fisionomia da vegetação, relacionada ao mapa temático e ao trajeto traçado.

Cada ponto demarcado foi associado a fotografias do local e relacionado com uma imagem TM da cena selecionada para maior caracterização da descrição.

4. Resultados e Discussão

As atividades foram desenvolvidas para aprimorar o entendimento dos processos que envolvem a detecção de cicatrizes de queimadas em imagens MODIS e suas relações com feições no terreno. Isto permitirá a melhora na qualidade dos dados relativos a cicatrizes de queimadas, explorar as possibilidades de utilização dos produtos de satélites com passagem diária, padronizar os procedimentos para minimizar a margem de erros operacionais, otimizar o tempo de execução e diminuir o espaço de armazenamento dos dados.

Os procedimentos adotados inicialmente sofreram adequações como a substituição das imagens diárias por mosaicos de período de oito dias. Houve a inclusão de produtos auxiliares com melhor resolução espacial ou temporal e a correção dos mapas com o auxílio da sobreposição comparativa. Os produtos auxiliares com maior resolução espacial deixaram de ser processados e são obtidos em formato com extensão JPG, diretamente do site USGS Earth Resources Observation & Science Center (EROS) o que permitiu maior agilidade ao acesso e otimização no armazenamento dos dados.

4.1. Variações na detecção visual de cicatrizes

Devido a heterogeneidade da paisagem nas diferentes regiões estudadas, o tempo de permanência visual das cicatrizes de queimadas nas imagens é variável.

Nas florestas mais densas o sensor pode detectar a resposta espectral da cicatriz por meses, como observado na imagem Landsat TM da Bolívia (órbita/ponto 231/70) em setembro de 2010. A intensidade do fogo e a intensidade com que a floresta foi afetada foram os fatores responsáveis pela possibilidade da detecção e o tempo de permanência. Este caso de incêndio em floresta foi incorporado ao banco de dados e empregado em análises comparativas que registrou o tempo de permanência da cicatriz de 12 meses.

Torna-se importante ressaltar que a perda da sensibilidade do sensor para a detecção das cicatrizes após os 12 meses foi ocasionada pela regeneração da vegetação que veio a substituir a área de floresta impactada, como ilustrado a seguir na Figura 1.

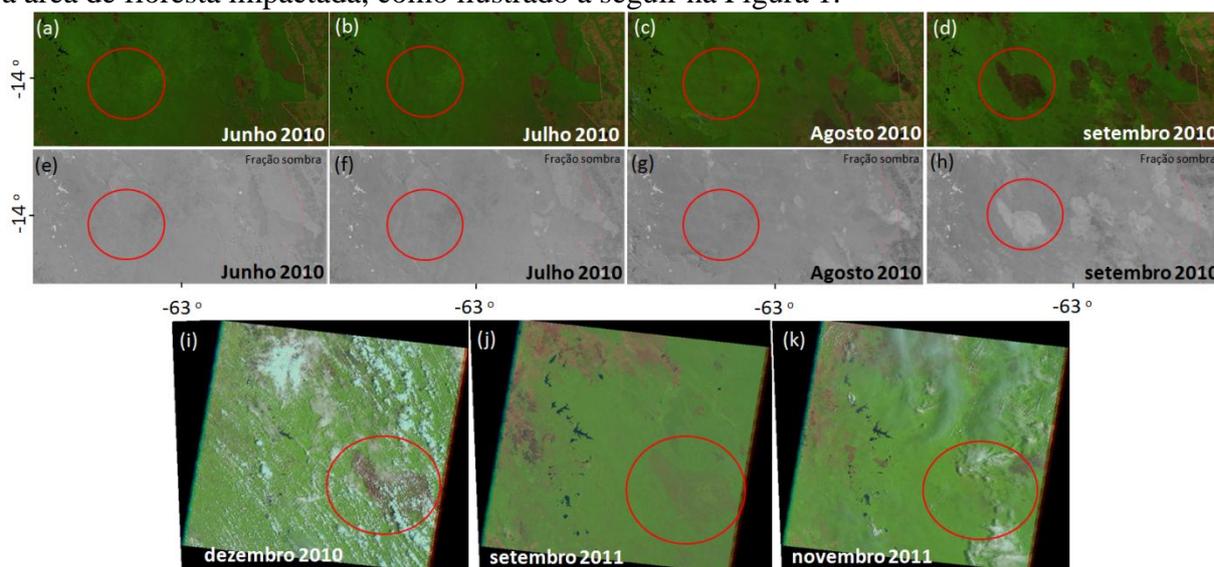


Figura 1. Sequência de imagens produto MOD09GA, MOD09GQ, sensor MODIS de (a) julho a (c) setembro de 2010, (d) temático de setembro e imagens fração-sombra de (e) a (h); imagens LANDSAT sensor TM, de (e) dezembro de 2010, (f) setembro de 2011 e (g) novembro de 2011, evidenciando a permanência da cicatriz na (área 1).

Os incêndios que ocorrem em áreas de cerrado possuem cicatrizes com menor tempo de permanência visível na imagem, provavelmente devido as características ecológicas de savanas e cerrado, onde há predomínio de gramíneas, e portanto apresentam rápida recuperação da biomassa.

As observações das variações nas cicatrizes de queimadas foram inicialmente classificadas qualitativamente (Tabela 3).

Tabela 3. Variações na detecção visual de cicatrizes e produtos MODIS utilizados;

identificação da CICATRIZ	Difícil Visualização	Longa Duração	Curta Duração	MOD09GAGQ Diária	MOD09A1Q1 Mosaico	Landsat TM/ETM	google earth outros
FLORESTA	x	x			x	x	x
NÃO FLORESTA			x	x			x

A partir do aprendizado sobre as variações das áreas queimadas em produtos satelitais apresentado aqui, iniciou-se uma rotina metodológica para geração de mapas temáticos para os períodos secos na Amazônia.

4.2. Resultados obtidos com as classificações

Os mapas temáticos obtidos com a metodologia estão ilustrados para as áreas dos estudos (figura 2).

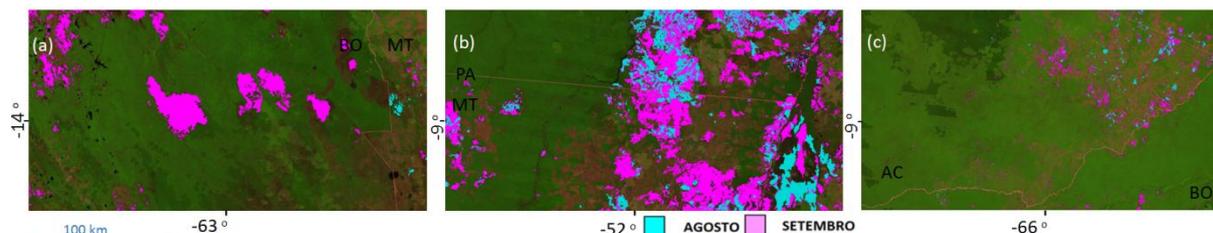


Figura 2. Mapas temáticos resultado das classificações para os meses de agosto e setembro: (a) Área 1: Leste Bolívia, (b) Norte do Mato Grosso e (c) Sul do Acre, ano de 2010.

4.3. Resultados obtidos na verificação em campo

Foram aferidos 88 pontos em campo onde 45 coincidiram com os polígonos identificados como queimadas em 2010. Em 8 polígonos detectados como queimadas, não foram encontrados vestígios de cicatrizes do local, 3 foram erros relacionados a resposta espectral de antropização e de água e representam erro de inclusão e os outros 5 casos podem estar relacionados a regeneração da vegetação já que tratavam-se de áreas de pastagens. Foram aferidos 35 pontos em que haviam cicatrizes de queimadas porém não foram detectados nas imagens como áreas queimadas. Possivelmente estes pontos representam incêndios que ocorreram após o período das datas das imagens utilizadas. A figura 3 a seguir ilustra os resultados:



Figura 3. Resultados dos pontos aferidos em trabalho de campo em 2011 em relação a cicatrizes de queimadas observadas nas imagens de 2010.

4.4. Modelo conceitual para o mapeamento de cicatrizes de queimadas.

O fluxograma da Figura 4 a seguir, ilustra as etapas da metodologia aplicada na classificação não supervisionada (Isoseg) e edição matricial final.

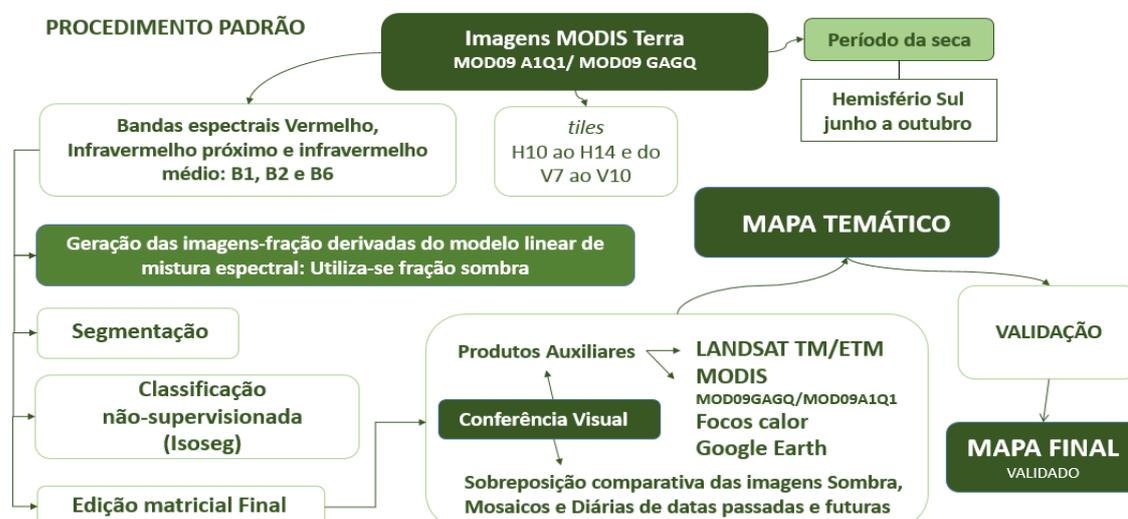


Figura 4: Fluxograma da metodologia para mapeamento de cicatrizes de queimadas.

Este método não estima em seus resultados áreas cobertas por nuvem ou outra perda de informação como sombra do relevo e zonas alagadas que eventualmente queimam na estiagem.

5. Conclusões

De forma geral o produto “mosaico de oito dias” do sensor MODIS mostrou-se mais adequado à identificação e classificação não supervisionada de áreas queimadas do que os produtos diários. As imagens diárias foram relevantes para a conferência da classificação e diminuíram erros de comissão e omissão.

A análise temporal das cicatrizes de queimadas evidenciou que em floresta densa a cicatriz pode ser aparente e de longa duração indicando que o dossel foi afetado e danos na sua estrutura são evidentes espectralmente. Os erros de omissão ocorreram em incêndios de sub-bosque com baixa intensidade que não gera uma resposta espectral de possível visualização do efeito do fogo. A cicatriz de curta duração aconteceu principalmente no cerrado e a cicatriz de característica visual com tempo médio de permanência aconteceu em floresta rasa ou em vegetação degradada.

A detecção de cicatrizes abaixo do dossel em florestas e de cicatrizes de curta duração ocorridas nos intervalos das datas das imagens selecionadas foram possíveis com a utilização dos produtos auxiliares previamente descritos.

O trabalho realizado com a visita ao campo foi fundamental para o melhor entendimento de fatores que podem afetar a detecção de queimadas, como por exemplo, a presença de corpos d’água, cultivos e os diferentes estados da paisagem. A avaliação das cicatrizes de queimadas em campo destacou que fatores como a resolução espacial da imagem de conferência, a representação da máscara hídrica e da perda de informação causada por sombra de nuvens nos mosaicos de oito dias são críticos para o aumento da exatidão do mapeamento.

Conclui-se que é possível aplicar sistematicamente este processo para a geração de mapas temáticos de queimadas e que seus resultados quantitativos poderão ser empregados para diversas finalidades.

6. Agradecimentos

Ao PCI do CNPQ (Processo Institucional: 551006/2011-0, Processo Individual: 3006776/2011-5) e ao DTI do CNPQ (Processo: 458022/ 2013-6).

7. Citações e Referências

Anderson, L. O.; Aragão, L.E.O.C; Lima, A; Shimabukuro, Y.E. Detecção de cicatrizes de áreas queimadas baseada no modelo linear de mistura espectral e imagens índice de vegetação utilizando dados multitemporais do sensor MODIS TERRA no estado do Mato Grosso, Amazônia brasileira. *Acta Amazônica* 35(2005): 445-456.

Aragão, L. E. O. C., and Y. E. Shimabukuro. The incidence of fire in Amazonian Forests with implications for REDD. *Science*, n.328, p.1275-1278. 2010.

Aragão, L. E. O. C.; Poulter, B.; Barlow, J. B.; Anderson, L. O.; Malhi, Y.; Saatchi, S.; Phillips, O. L.; Gloor, E. Environmental change and the carbon balance of Amazonian forests. *Biological Reviews*, v. 00, (campo ausente ou vazio: 'pages') 2014. doi: <10.1111/brv.12088>.

Arai, E; Freitas, R. M. Pré-processamento. In: Rudorff, B. F. T; Shimabukuro, Y. E; Ceballos, J. C. (Org.). O sensor Modis suas aplicações ambientais no Brasil. São José dos Campos: Editora Parêntese 2007. cap.5, p.71-82.

Bioclima estação pluviométrica. Universidade Federal do Acre. Disponível em:<http://www.acrebioclima.net/PluvD_UFAC11.html>. Acesso em: 07 nov. 2014.

Camara, G; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M.; Garrido, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers & Graphics*, v. 20, n.3, p. 395-403, 1996. (INPE-6416-PRE/2455).

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estados/ Perfil/ Acre. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=ac>> Acesso em 14 out. 2014.

INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/laf/panamazonia/>>. Acesso em: 16 out. 2014.

Lima, A., Shimabukuro, Y. E., Adami, M., Freitas, R. M., Aragão, L. E., Formaggio, A. R., Lombardi, R. 2013 Mapeamento de Cicatrizes de Queimadas na Amazônia Brasileira a partir da aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral em imagens do sensor MODIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 5925-5932. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-15917-PRE/10527). Disponível em: <<http://marte/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.14.49>>. Acesso em: 15 out. 2014.

Lorena, R. B. **Evolução do uso da terra em porção da Amazônia ocidental (Acre), com uso de técnicas de detecção de mudanças**. 2001. 116 p. (INPE-9650-TDI/846). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/04.22.14.15>>. Acesso em: 06 nov. 2014.

Marcuzzo, F.F.N; Rocha, H.M; Melo, D.C.R. Mapeamento da precipitação pluviométrica no bioma Amazônia do estado do Mato Grosso. In: **Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste (SRHN)**, 5, 2010, Fortaleza. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/Evento_Precipitacao_Marcuzzo.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2014.

National Aeronautics and Space Administration, NASA; Earth observing system data and information system, EOSDIS. Disponível em: <<http://verb.echo.nasa.gov/verb/>> Acesso em: 16 out. 2014.

Navarro, G. and Ferreira, W. **Mapas de vegetación, potencial forestal ecológico y protección de la vegetación del departamento de Santa Cruz**. Gobierno Departamental Santa Cruz: Santa Cruz de la Sierra, 2008. <<http://www.santacruz.gob.bo/turistica/mapas/descargas/index.php?IdMenu=30067>>. Acesso em: 08 nov. 2014

NASA - National Aeronautics and Space Administration; DAAC Land Processes Distributed Active Archive Center LP; MODIS Reprojection Tool MRT. Disponível em: < <https://lpdaac.usgs.gov/tools>>. Acesso em 16 out. 2014.

SAE - Secretaria de Assuntos Estratégicos. REDD no Brasil: um enfoque amazônico. 3ª Edição. Disponível em: <<http://www.sae.gov.br/site/?p=5501>> Acesso em: 14 out. 2014.

SENAMHI - Servicio Nacional Meteorologia e Hidrologia Del Bolívia. Estacion meteorologica Concepcion. Datos mensuales de precipitacion. Disponível em: <<http://www.senamhi.gob.bo/sismet/index.php>>. Acessado em: 07 nov. 2014.

Silva, S.S; Alencar, A.A.C; Mendonza, E.R.H; Brown, F. Dinâmica dos incêndios florestais no Estado do Acre nas décadas de 90 e 00. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 8799-8806. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00066-9 (Internet), 978-85-17-00065-2 (DVD). Disponível em: <<http://marte/3ERPFRTRW34M/3E7GLQ6>>. Acesso em: 15 out. 2014.

Shimabukuro, Y.E; Duarte, V; Arai, E; Freitas, R.M; Martini, P.R; Lima, A. Monitoring land cover in Acre State, western Brazilian Amazonia, using multitemporal remote sensing data. *International Journal of Image and Data Fusion*, v. 1, n. 4, p. 325 - 335, Dec. 2010. doi:<[10.1080/19479832.2010.505177](https://doi.org/10.1080/19479832.2010.505177)>.

Shimabukuru, Y. E; Duarte, V; Arai, Egídio; Freitas, R. M; Lima, A; Valeriano, D. M; Brown, I. F; Maldonado, M.L.R. Fraction images derived from Terra Modis data for mapping burnt areas in Brazilian Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**, v. 30, n. 6, p. 1537-1546, Mar. 2009. doi: <[10.1080/01431160802509058](https://doi.org/10.1080/01431160802509058)>.

Shimabukuro Y.E; Smith, J.A. The Least-Squares Mixing Models to Generate Fraction Images Derived From Remote Sensing Multispectral Data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n. 1, p. 16-20, January 1991.