

Feições de exploração florestal de impacto reduzido na Flona do Tapajós utilizando imagens Landsat e filtros texturais

Tássio Franco Cordeiro¹
Igor da Silva Narvaes¹
Hugo Macedo Buchmann⁴
Lucas Jose Mazzei de Freitas³
Sandra Maria Neiva Sampaio³
Janaina Santana Maia²
Marcos Adami¹
Dalton de Morrison Valeriano⁵
Alessandra Rodrigues Gomes¹
Silvio Brienza Junior³
Rodrigo Rafael Souza de Oliveira¹
Marilia Gabriela Lopes¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Centro Regional da Amazônia - CRA - Av. Perimetral, 2651 – Belém - PA, Brasil
{tassio.cordeiro; igor.narvaes; marcos.adami; alessandra.gomes; rodrigo.oliveira;
marilia.lopes}@inpe.br

²Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais – FUNCATE
Avenida Doutor João Guilhermino, 429 - 12210-131 – São José dos Campos – SP, Brasil
janaina.maia@funcate.org.br

³Embrapa Amazônia Oriental - EMBRAPA/ CPATU
Caixa Postal 48 - 66095-903 - Belém - PA, Brasil
{sandra.sampaio; lucas.mazzei; silvio.brienza}@embrapa.br

⁴Universidade de Brasília – UNB/ Embrapa Amazônia Oriental
EMBRAPA/ CPATU - Caixa Postal 48 - 66095-903 - Belém - PA, Brasil
hugo.efl@gmail.com

⁵ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Av. dos Astronautas, 1.758 – São José dos Campos – SP, Brasil
dalton@dsr.inpe.br

Abstract: In the Amazon, the suitable of natural forests is recurring theme in the last years on the world, considering if the same has a huge potential of contribution in products and services. In this context, the reduced impact logging is fundamental in the biodiversity conservation and their forest feedstock sustainable use. Thus, to evaluate a mapping the reduced impact logging in the National forest of Tapajós, Para State, a quantity of information's and Landsat8 - OLI series merged to orbit-points 227/062 was used to apply in the DETEX methodology (Selective logging Detection), to detect forest exploitation. The results showed significant relationships at use of coherence matrixes of gray levels based on texture characteristics related with remained basal area in fields regarded as reduced impact logging, notably to contrast, entropy, homogeneity and angular second moment texture variables, for the majority of them after the forest exploitation in the area. In addition, the longest filters windows size obtained significant statistical results, aligned with specialized literature about the theme. In this way, is recommended the use of methodology in

¹ Estudante de Bacharelado em Geografia da Universidade Federal do Pará; E-mail: tassiofc@hotmail.com.
Bolsista do PIBIC_CNPQ

areas with higher exploitation intensity than used in this study, in order to establish comparisons and identify levels of intensity in forest exploitation distinct.

Palavras-chaves: Textural analysis, reduced impact logging, remaining basal area, análise textural, exploração florestal de impacto reduzido, área basal remanescente, DETEX.

1. Introdução

Com o passar dos anos, a Floresta Nacional do Tapajós (FNT), criada pelo Decreto no. 73.684 de 19/02/74, um ambiente único, composto por um conjunto de ecossistemas complexos e heterogêneos, vem sofrendo muito com as pressões de uso e ocupação do solo (LBA, 1995), sobretudo nas áreas ocupadas antes de sua criação, com estabelecimento de comunidades que as utilizam principalmente com agricultura de subsistência e em pequena escala.

Para diminuir a pressão sobre as áreas de floresta, algumas unidades de conservação vêm recebendo concessões para a exploração seletiva, autorizadas pelo Serviço Florestal Brasileiro (SFB) por meio do Plano Anual de Outorga Florestal – PAOF (SFB, 2014). Este plano vem sendo editado anualmente desde 2013, previsto pela Lei 11.284, de 2 de março de 2006 e autorizado algumas Florestas Nacionais a receberem projetos de exploração florestal com impacto reduzido.

Assim, para se entender o processo de exploração seletiva em um ambiente controlado, com plano de manejo aprovado pelo SFB, principalmente em áreas com grande extensão territorial como em alguns trechos concedidos na FNT, a geotecnologia assume papel estratégico.

As imagens de satélite série Landsat têm uma aplicabilidade cada vez maior em ambientes tropicais como a Amazônia, cujas características permitem uma melhor caracterização da dinâmica de transição da paisagem. No monitoramento de áreas de exploração florestal na Amazônia, em particular, alguns estudos vêm sendo desenvolvidos para o seu mapeamento e verificação da intensidade de exploração (Asner et al., 2002; Barbosa et al., 2009; Souza et al., 2011; Matricardi et al., 2005; 2010; 2013). Desta forma, a aplicação da metodologia experimental do programa de Detecção de Exploração Madeireira em Tempo Quase Real (DETEX), é adequada para esta análise, pois é executada uma série de técnicas de processamentos digitais de imagens com intuito de verificar áreas com exploração madeireira, assim como aplicação de filtro texturais pois possibilita a análise contextual das áreas exploradas, além de permitir a extração de informação estrutural da floresta (Wulder, 1998).

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo mapear algumas áreas sob concessão para exploração florestal na Floresta Nacional do Tapajós (FNT), utilizando modelo linear de mistura espectral e aritmética de bandas, realizadas no projeto DETEX, além de filtros texturais de co-ocorrência de Haralick visando subsidiar a proposição de critérios e procedimentos técnico-científicos para direcionar ações de proteção ambiental e de desenvolvimento econômico e social na Flona do Tapajós.

2. Material e Métodos

2.1 Área de estudo

A Floresta Nacional do Tapajós (FNT), está situada na região conhecida como Baixo Amazonas, no oeste do Estado do Pará, compreendendo 600.000 hectares (Fig. 1). É circundada pelos municípios de Aveiro, Itaituba, Placas, Rurópolis (PA) e limita-se a Oeste pelo Rio Tapajós, a leste pela Rodovia Cuiabá – Santarém (BR-163) e ao sul com a Rodovia Transamazônica e os rios Cupari e Cuparaitinga ou Santa Cruz.

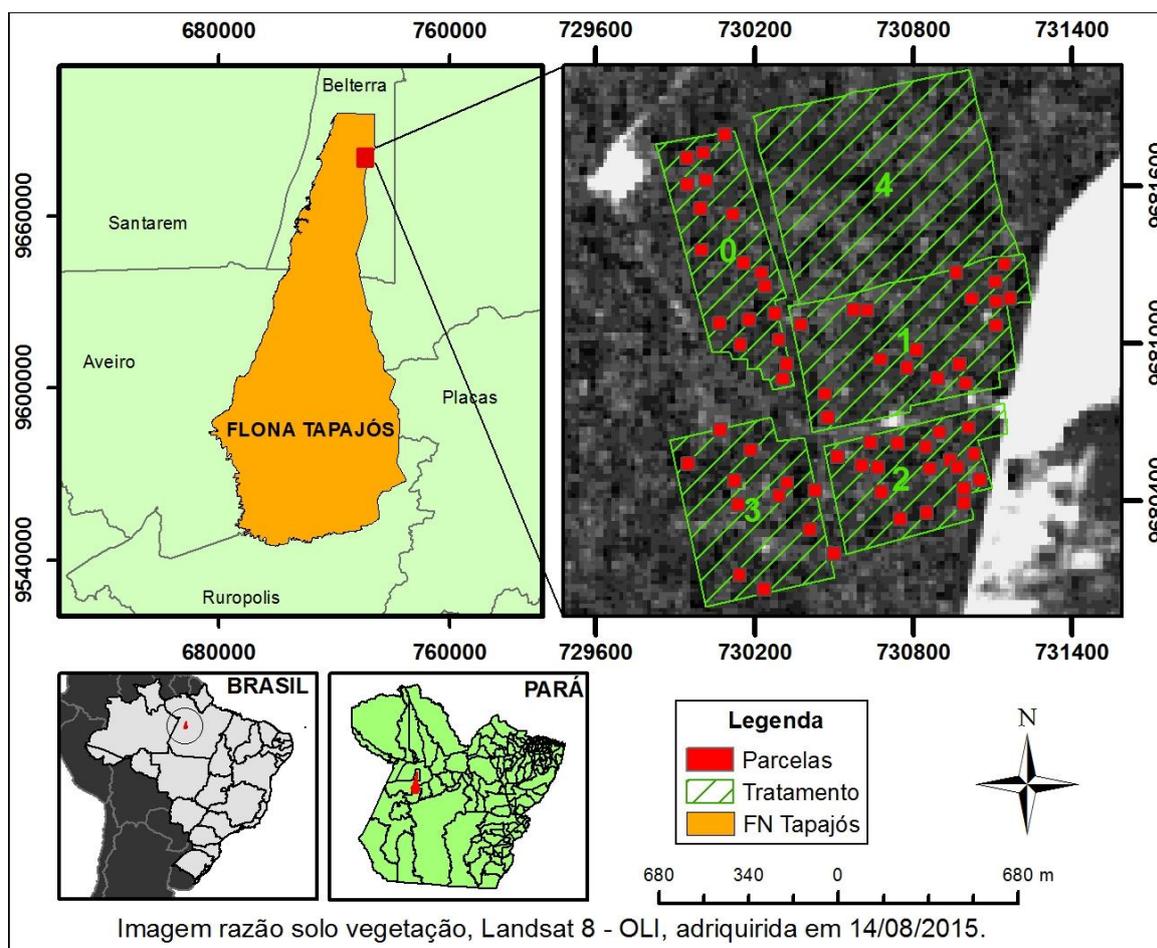


Figura 1 – Mapa de localização das unidades amostrais e tratamentos – T0 a T4, na região do Km 67 da Flona do Tapajós, com atividade de exploração florestal, realizada em novembro de 2014. Ao fundo a imagem razão solo/vegetação oriunda do MLME.

O estudo foi realizado em um sítio de 185 ha, localizada as margens da BR – 163 no km 67, sob as coordenadas $2^{\circ} 52' 25''$ a $2^{\circ} 53' 39''$ latitude Sul e $54^{\circ} 56' 7''$ a $54^{\circ} 55' 12''$ longitude Oeste. O clima da região é classificado como Ami no sistema Köppen, ou seja, tropical úmido com variação térmica anual inferior a 5°C , apresentando temperatura média anual de $25,5^{\circ}\text{C}$, umidade relativa média de 90% e precipitação anual média de 1820 mm, concentrada especialmente entre os meses de janeiro e maio.

A vegetação predominante na FNT é classificada por IBGE (2012) como Floresta Ombrófila Densa, cuja principal característica são os ambientes ombrófilos, associada especialmente aos latossolos amarelos distróficos, altamente intemperizado e profundo, os quais as variações ambientais e de relevo resultam em diferentes subtipos vegetacionais, onde todas estas apresentam dossel uniforme ou com árvores emergentes.

A Tabela 1 apresenta informações sobre o histórico do manejo florestal experimental conduzido no sítio do Km 67, apresentando as áreas de cada tratamento e os parâmetros da exploração florestal (diâmetro mínimo de corte, volume colhido e intensidade de exploração) para o primeiro e segundo ciclo de corte, 1979 e 2014, respectivamente.

Tabela 1: Caracterização das áreas de manejo florestal utilizada na análise.

Floresta Nacional do Tapajós - Sítio Km 67								
Trat.	Área (ha)	1979			2014			2015
		Ø min de exploração (cm)	Vol (m ³)	Int. (m ³ ha ⁻¹)	Ø min de exploração (cm)	Vol (m ³)	Int. (m ³ ha ⁻¹)	G remanescente (m ²)
T0	27,5	Testemunha			Testemunha			
T1	39	>45	4608	72	>50	643	16,5	-
T2	25	>55			Testemunha do 1º ciclo de corte			
T3	31,5	Sem exploração			>50	440,3	14	29,21
T4	62	Sem exploração			Testemunha do 2º ciclo de corte			

2.2 Análise dos dados

Foram utilizadas imagens multiespectrais ortorretificadas, da série Landsat utilizando as bandas espectrais 6, 5 e 4, adquiridos no catálogo do serviço geológico americano (USGS), disponível em <http://earthexplorer.usgs.gov/> e transformadas em refletância no topo da atmosfera. Após, foi aplicada a metodologia do programa de Detecção de Exploração Madeireira em Tempo Quase Real - DETEX (Guimarães, 2012), baseado na geração do Modelo Linear de Mistura Espectral (Shimabukuro e Smith, 1991), seguido da razão entre as frações solo e vegetação com aplicação de ganho e *offset*, nas quais foram aplicados filtros texturais propostos por Haralick (Haralick et al., 1973) baseados em matriz de co-ocorrência (Figura 2).

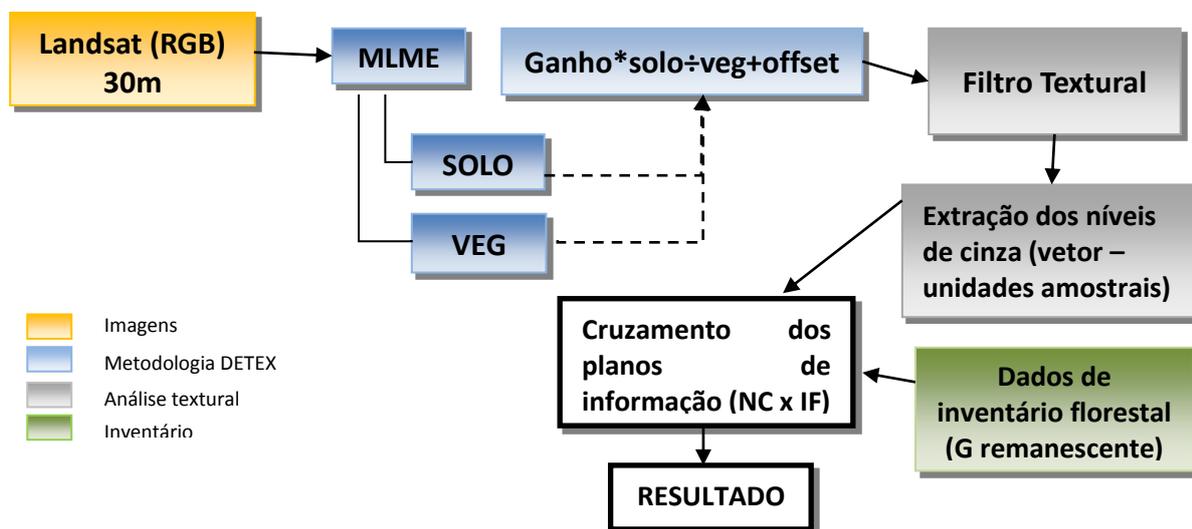


Figura 2 – Metodologia aplicada na análise.

O *software* utilizado para a geração dos resultados foi o Spring 5.2.6 (INPE, 2002). A localização das unidades amostrais deu-se pela materialização dos quatro vértices das unidades amostrais (50 x 50 m), com a utilização de GPS de navegação. Os dados gerados por técnicas de PDI foram recortados com base nos arquivos vetoriais e então extraídos os valores de níveis de cinza dos elementos de resolução, para cada unidade amostral e

comparados com as variáveis levantadas no inventário florestal (área basal remanescente por hectare de indivíduos ≥ 40 e 60 cm de DAP e com copa com iluminação parcial e total). O critério de iluminação da copa segue o preconizado por Silva et al. (2005), pois esta variável indica o nível de exposição da copa à luz, assim como o grau de competição existente com copas de árvores vizinhas. Esta variável é importante, pois representa um dos fatores que influenciam significativamente o crescimento (Silva et al., 1995). Em cada uma das unidades amostrais ($n=12$), composta em média por valores de 4 pixels, foram extraídos os seus valores médios e relacionados com os valores de área basal remanescente para o cálculo do coeficiente de determinação (R^2) e do valor-p.

Com base nesta análise, foi possível estabelecer a relação entre os dados oriundos de sensoriamento remoto e dados obtidos no inventário florestal, realizado em 2014 e 2015.

3. Resultados e Discussão

Os valores obtidos da relação entre a textura de atributos texturais de Haralick e a área basal remanescente são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Textura de Haralick com matriz de co-ocorrência, em direções e janelas distintas para os anos de 2014 e 2015 (antes e após a exploração florestal, respectivamente), nos tratamentos T1 (2 ciclos de corte) e T3 (apenas 1 ciclo de corte). Os valores de R^2 grifados em negrito são os considerados de maior significância ($p < 0,05$).

ANO	HOMOGENEIDADE		ENTROPIA		CONTRASTE		Segundo momento Angular (SMA)		CORRELAÇÃO	
	Janela	Direção	Janela	Direção	Janela	Direção	Janela	Direção	Janela	Direção
TRATAMENTO T3										
2015 após	11x11	5x5	11x11	4x4	11x11	5x5	11x11	5x5	7x7	4x4
	DAP > 60cm		DAP > 60cm		DAP > 60cm		DAP > 60cm		DAP > 60cm	
	0,38*		0,41*		0,43*		0,38**		0,31**	
	DAP > 40cm		DAP > 40cm		DAP > 40cm		DAP > 40cm		DAP > 40cm	
2014 antes	7x7	4x4	7x7	4x4	7x7	4x4	9x9	4x4	3x3	3x3
	0,24**		0,30**		0,24**		0,33*		0,28**	
TRATAMENTO T1										
2015	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	–		–		–		–		–	
2014	DAP > 60cm		DAP > 60cm		DAP > 60cm		DAP > 60cm		DAP > 60cm	
	11x11	0x3	9x9	1x1	11x11	0x3	3x3	5x5	7x7	5x5
0,07**		0,05**		0,07**		0,05**		0,07**		

* Valores com significância estatística ($p < 0,05$); **valor não significativo a 95% de probabilidade de confiança.

As maiores relações entre os valores de G remanescente e os valores texturais foram estabelecidos para as áreas em que a exploração florestal já tinha sido realizada (2015), encontradas no tratamento T3, com valores de R^2 de 0,43; para o contraste, 0,41 para a

entropia, 0,38 para a homogeneidade, enquanto que apenas os valores de textura da variável SMA ($R^2 = 0,38$), encontrados antes da exploração florestal foram considerados estatisticamente significativos a 95% de probabilidade de confiança ($\alpha = 95\%$), evidenciando que a textura de Haralick é sensível a pequenas variações de intensidade de exploração, mesmo as de baixo impacto preconizadas nos planos de manejo realizados pela EMBRAPA. Desta forma, os valores de coeficiente de determinação indicaram que os valores da proporção da variância da variável dependente (G remanescente) em torno de sua média podem ser explicados satisfatoriamente pelas variáveis predictoras (a textura de Haralick).

A forma de manejo dos tratamentos influenciou na resposta da textura gerada, pois o número de ciclos de exploração foi fundamental no estabelecimento da relação entre os dados de sensoriamento remoto e as condições de exploração da área. Em adição, é possível verificar a coerência dos resultados encontrados, já que para o T1 todos os valores de tamanho de janela e direção de filtro de textura possuem valores não significativos antes da materialização da estrutura de exploração florestal no campo, mesmo com a ocorrência de dois ciclos de corte ao longo do monitoramento.

Os resultados encontrados são similares aos encontrados por De Almeida (2009) quando analisados os fragmentos de floresta ombrófila densa em uma população considerada uniforme, todavia quando analisados de forma estratificada em classes diamétricas, os valores do coeficiente de determinação foram superiores. Além disto, neste mesmo estudo, tamanho de janelas maiores, também foram os que obtiveram maior resposta na avaliação das variáveis estruturais da floresta em questão, elucidados neste mesmo estudo como consequência do nível de variação da remoção de indivíduos na exploração florestal. Em Nascimento (2003) tamanhos de janelas maiores também foram responsáveis pela melhora da acurácia da classificação de áreas de floresta quando da utilização de matrizes de co-ocorrência de níveis de cinza, baseados em características de textura, o que evidencia a importância da variação na dimensão de janelas e direção dos filtros texturais na avaliação da exploração florestal em imagens de sensores ópticos.

4. Conclusões

Com base nos resultados encontrados é possível concluir que:

- Os maiores filtros de janela para a verificação da intensidade de exploração de baixo impacto foram mais apropriados, o que confirma os resultados encontrados na literatura;
- A utilização de imagens de média resolução para áreas com exploração de baixo impacto não são as mais recomendadas, desta forma, as técnicas de fusão e/ou utilização de imagens de alta resolução tendem ser as mais adequadas para este tipo de regime de exploração;
- Recomenda-se a utilização da metodologia em áreas com intensidade de exploração mais intensas de forma a estabelecer comparações e identificar graus de intensidade de exploração distintos.

Referências

- ASNER, G. P.; KELLER, M., PEREIRA, R.; ZWEEDE, J. C. Remote sensing of selective logging in Amazonia Assessing limitations based on detailed field observations, Landsat ETM+, and textural analysis. *Remote Sensing of Environment*, v.80, p. 483-496, 2002.
- BARBOSA, A. M.; SALUM, M. R.; ALMEIDA, C. A. VALERIANO, D. M. **Identificação multitemporal da exploração seletiva de madeira na Floresta Nacional do Jamari – RO**. In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. p. 5625-5632. 2009.

DE ALMEIDA, P. G. C. S. (2009). "Análise de textura de imagem de alta resolução para a classificação dos estágios sucessionais de mata Atlântica do Sul da Bahia."

SILVA, J. N. M. et al. Growth and yield of a tropical rain forest in the Brazilian Amazon 13 years after logging. **Forest Ecology and Management**. v. 71, p. 267 - 274, 1995.

SILVA, J. N. M. et al. **Diretrizes para instalação e medição de parcelas permanentes em florestas naturais da Amazônia Brasileira**. EMBRAPA Amazônia Oriental - CPATU- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 68 p il.. 2005.

SOUZA, A. A. A.; GOMES, A. R.; BARRADAS, D. C. M.; SALUM, M. R. B.; FARIAS, T. P.; GUIMARAES, U. S. Avaliação das potencialidades do sensor AWIFS para a detecção de corte seletivo de madeira na Amazônia. In: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. p. 1599-1605, 2011.

MATRICARDI, A. T.; SKOLE, D. L.; COCHRANE, M. A.; QI, J. CHOMENTOWSKI, W. Monitoring Selective Logging in Tropical Evergreen Forests Using Landsat: Multitemporal Regional Analyses in Mato Grosso, Brazil. **Earth Interactions**, v. 9, n. 24, p. 1-24, 2005.

MATRICARDI, A. T.; SKOLE, D. L.; PEDLOWSKI, M. A.; CHOMENTOWSKI, W.; FERNANDES, L. C. Assessment of tropical forest degradation by selective logging and fire using Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p. 1117-1129, 2010.

MATRICARDI, A. T.; SKOLE, D. L.; PEDLOWSKI, M. A.; CHOMENTOWSKI, W. Assessment of forest disturbances by selective logging and forest fires in the Brazilian Amazon using Landsat data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 34, n.4, p. 1057-1086, 2013.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. <http://www.mma.gov.br>, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 24 de Outubro de 2014.

NASCIMENTO, J. P. R. (2003). "Análise e classificação de imagens baseadas em características de textura utilizando matrizes de co-ocorrência"

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, 1991.

Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA). 1995. The ecological component of an integrated Amazon study: the effect of conversion. [on line] (<http://lba.cptec.inpe.br/lba/index.html>). Workshop Report, Manaus. 55p.

RADAMBRASIL. FOLHA SA.21-Santarém: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1976.

ROUSE, J. W., Jr.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: ERTS Symposium, 3., 1973. **Proceedings...**NASA SP-351, NASA, Washington, DC, v. 1, p. 309-317, 1973.

QI, J., CHEHBOUNI, A., HUETE, A. R., KEER, Y. H., & SOROOSHIAN, S.; A modified soil adjusted vegetation index. **Remote sensing of environment**, v. 48, n. 2, p. 119-126, 1994.

DEPARTMENT OF THE INTERIOR U.S. GEOLOGICAL SURVEY. Landsat 4-5, Landsat 7 Surface Reflectance (Provisional) Product Guide: EarthExplorer Version Disponível em:<http://landsat.usgs.gov/documents/cdr_sr_product_guide_ee.pdf>. 18 agosto 2015.

GUIMARÃES, U. S.; GOMES, A. R.; "Detecção De Exploração Seletiva De Madeira Utilizando Os Satélites Landsat 5 Tm E Resourcesat 1 Liss-3 Em Áreas De Manejo Florestal Do Leste Do Estado Do Acre, Brasil. In: **Symposium SELPLER**, 15, 2012, Cayenne – Guiana Francesa. Anais... Cayenne – Guiana Francesa, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. Spring versão 5.2.6. São José dos Campos: INPE, 2002. 1 CD-ROM.

EXELISVIS. ENVI. versão 4.7. :EXELIS 2015. Disponível em: <http://www.exelisvis.com/ProductsServices/ENVIProducts/ENVI/ENVIModules.aspx>. Acesso em 20 agosto 2015.

WULDER, Mike. Optical remote-sensing techniques for the assessment of forest inventory and biophysical parameters. **Progress in physical Geography**, v. 22, n. 4, p. 449-476, 1998.