

# 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

Ulisses Silva Guimarães <sup>1</sup>  
Alessandra Rodrigues Gomes <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Centro Regional da Amazônia -  
INPE/CRA  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{ulisses.guimaraes, alessandra.gomes}@inpe.br

**Abstract.** The selective logging of high commercial value species is an intense practice in rainforest areas. Remote sensing techniques are commonly used to measure canopy loss allowing the detection of undisturbed intact forest and disturbed areas such as canopy gaps, trails, roads, storage yards and terraces. The aim of this study is to compare the estimates of canopy loss between LANDSAT 5 TM RESOURCESAT 1 LISS-3 images on forest management site, in east of Acre State, Amazon, Brazil. The method consisted in applying the following Digital Image Processes: atmospheric correction, geometric correction, linear spectral mixture model, simple vegetation index and slicing. The classification accuracy was evaluated by the Kappa coefficient and Confusion Matrix using as reference in situ GPS. Statistical analysis revealed that LANDSAT and RESOURCESAT classifications are distinct according to TStudent test. The main results shows that the open canopy measured in LANDSAT and RESOURCESAT data reached respectively 1,123.90 ha (0.11%) and 2,046.07 ha (0.36%) of area. The Kappa coefficient was of 0.66 for the LANDSAT and 0.59 for the RESOURCESAT data, they are considered respectively very good and good. The highest statistical errors show omissions for the open canopy classification in the order of 18% to 42%, this could lead to an underestimation of selective logging areas.

**Palavras-chave:** Selective Logging, Digital Image Processing and Evaluation of Accuracy

## 1 Introdução

A Amazônia é a maior expressão contínua de floresta tropical úmida do mundo em termos de cobertura vegetal e biodiversidade (FAO, 2005). Até meados da década de 60, a região amazônica experimentou a exploração madeira restrita a áreas de várzeas com inundação anual. A partir dos anos 60, este cenário se modificou com a abertura de estradas em terra firme adentrando as áreas florestais, logo foram possíveis à expansão da extração madeireira em um processo de exploração que vai desde o corte seletivo, degradação ambiental até o estágio de corte raso (Uhl & Vieira, 1989; Uhl et al., 1997). Este bioma merece atenção especial em função da crescente pressão exercida por mudanças demográficas, econômicas e sociais, em especial pelo avanço de fronteiras agropastoris e migrações espontâneas ou subsidiadas (Peres et al., 2010).

O corte seletivo de espécies de alto valor comercial é uma prática intensa em áreas de floresta tropical, demandando diversos estudos com fins de detecção, mensuração, qualificação e estimativas dos impactos para florestas intactas (Asner et al., 2005; Peres et al., 2006; Grogan et al., 2008; Matricardi et al., 2010). Existem diversos métodos desenvolvidos para estudar esta feição sutil, contudo há uma complexidade na identificação, atrelado a condicionantes como estrutura do dossel florestal, iluminação, sombras, características ambientais e o instrumento sensor utilizado (Graça, 2004; Souza Junior et al., 2005; Asner et al., 2006). Estes fatores aplicados especificamente a áreas restritas podem vir a serem superados, entretanto o monitoramento sistemático e padronizado para diferentes áreas é um desafio.

O governo brasileiro visando à conservação dos recursos naturais em terras federais criou estrategicamente áreas institucionalmente protegidas (Bensusan, 2006). Simultaneamente, diversas componentes sociais demandam por alternativas sustentáveis

de utilização dos recursos naturais, e é por esse aspecto que a prática de manejo florestal se enquadra em áreas especialmente protegidas, já que opera como atividade econômica que seleciona espécies florestais específicas de âmbito comercial, com baixo impacto ambiental, permitindo assim, a eficiente capacidade de regeneração em florestas tropicais úmidas (Barreto et al., 2005, Pinto et al., 2010).

Uma resposta governamental, tendo em vista a legislação brasileira, é a lei de concessões florestais nº 11.284 de 2006 que responsabiliza o Serviço Florestal Brasileiro (SFB) e normatiza a gestão de florestas públicas para produção sustentável. O monitoramento de florestas sob manejo é imprescindível para agenda política de conservação de áreas protegidas, já que trata de um mecanismo eficiente na tomada de decisões no que tange os aspectos temporais e de escala, permitindo assim a melhor gestão e fiscalização dos recursos florestais, e a conseqüente manutenção da biodiversidade, ciclos biogeoquímicos e climáticos.

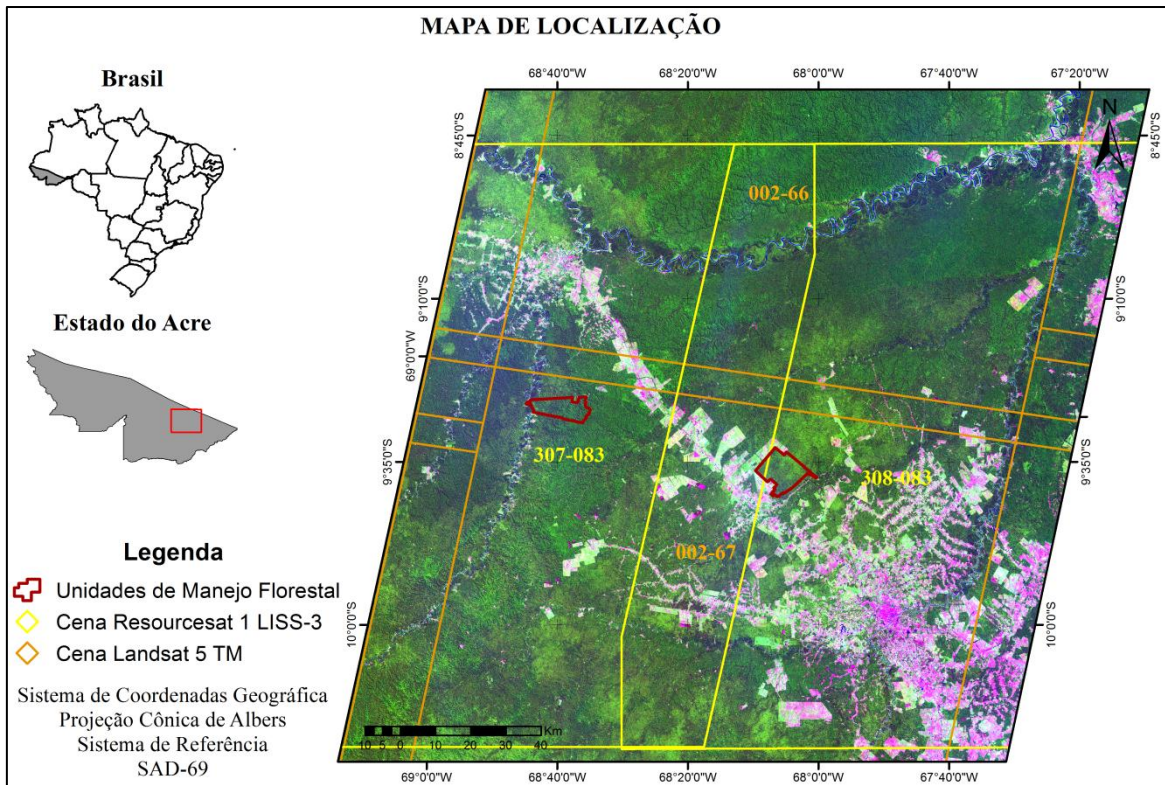
Formalizado os atores da concessão florestal no Brasil, houve a necessidade de informação sistemática e confiável por parte da administração pública. Deste modo, o SFB demandou o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para uma cooperação institucional que viabilizasse a detecção e mensuração de corte seletivo de madeira em áreas de floresta pública. Atualmente, estes dados são gerados sob solicitação do SFB para áreas em processo de manejo florestal dentro do sistema de Detecção de Exploração Seletiva de Madeira (DETEX), o qual utiliza técnicas de processamento digital de imagens para sensores de média resolução espacial.

Diversos estudos demonstram a importância da percepção do sistema sensor na identificação da perda de dossel e a relação entre o estrato arbóreo com a unidade de paisagem subjacente, distinguindo variações de assinatura espectral entre alvos (Graça, 2006; Graça et al, 2008). Para tanto, o aprimoramento da capacidade de detecção de corte seletivo está atrelado à resolução espacial e a radiometria das imagens (Ponzoni et al., 2002; Wasseige & Defourny, 2003; Souza Jr et al., 2003).

O objetivo deste trabalho é comparar a detecção de corte seletivo de madeira em a partir das imagens dos satélites LANDSAT 5 TM e RESOURCESAT 1 LISS-3. Para esta comparação são mensuradas as áreas de corte seletivo e floresta primária, bem como sua qualidade de classificação temática em oposição a dados de campo coletados no período de 2010 para específicas cenas em unidades de manejo florestal no leste do Estado do Acre, Brasil.

## **2 Área de estudo**

A área utilizada para o teste de sensores quanto à técnica de detecção de áreas de exploração seletiva de madeira está localizada no leste do Estado do Acre. Esta área de estudo abrange a região nordeste do município de Sena Madureira, centro-oeste e noroeste do município de Bujari, e o norte do município de Rio Branco (ver Figura 01).



**Figura 1** – Mapa de localização da área de estudo no leste do Estado do Acre.

### 3 Materiais e Métodos

#### 3.1 Materiais

Os dados primários utilizados na pesquisa foram imagens dos satélites LANDSAT 5 e RESOURCESAT 1 e seus respectivos sensores multiespectrais TM e LISS-3 (ver Tabela 01). As imagens foram adquiridas livremente no endereço eletrônico da Divisão de Geração de Imagens (DGI) do INPE em <http://www.dgi.inpe.br/CDSR>.

**Tabela 1** – Principais características dos dados matriciais utilizados.

Satélite/Sensor	Cenas	Data de Aquisição	Faixa (km)	Banda	$\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )	Resolução (m)
LANDSAT 5 TM	002-066	24/08/2010	185 x 185	1	0,45-0,52	30
				2	0,52-0,60	30
				3	0,63-0,69	30
				4	0,76-0,90	30
	002-067			5	1,55-1,75	30
				6	10,40-12,50	120
				7	2,08-2,35	30
RESOURCESAT 1 LISS-3	307-083	05/08/2010	141 x 141	2	0,52-0,59	23,5
	308-083			3	0,62-0,68	23,5
				4	0,77-0,86	23,5
				5	1,55-1,70	23,5

Os dados vetoriais foram necessários para delimitar as áreas de manejo florestal que efetivamente praticam corte seletivo de madeira a partir de 2010. Deste modo, existem duas fazendas, São Jorge e Floresta, as quais praticam técnicas de manejo

florestal. Estas fazendas são propriedades da empresa <sup>1</sup>Triunfo a qual é parceira da ONG WWF-Brasil. As áreas florestais e desflorestadas no leste do estado do Acre para o ano de 2010 foram obtidas através dos dados do Programa de Cálculo de Desflorestamento da Amazônia (PRODES<sup>2</sup>) no endereço eletrônico da divisão de Observação da Terra (OBT) do INPE em <http://www.obt.inpe.br/prodes>.

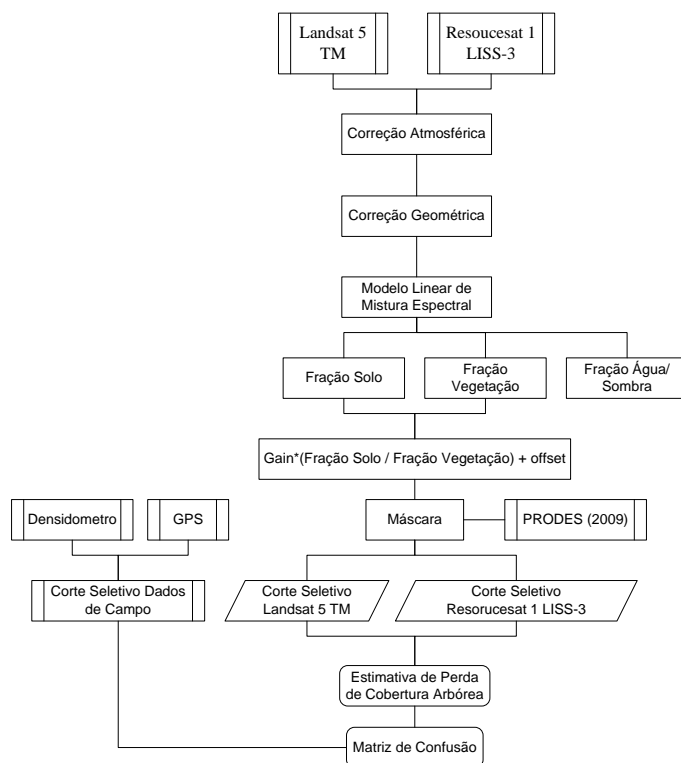
Para realizar o levantamento de campo foram necessários os equipamentos: GPS de Navegação Garmin® 76 Map, capaz de qualificar os pontos de campo e fornecer coordenadas geográficas; uma câmera Ricoh® que realizou os registros fotográficos; e, um densidômetro que qualificou o tipo de dossel amostrado.

O conjunto dos referidos dados de entrada foram integrados para a base cartográfica de projeção cônica equivalente de Albers com datum SAD-69, para o meridiano central adotou-se 69°0'0" de longitude oeste e como paralelos padrões 1 e 2, respectivamente, 9°35'0" e 9°40'0" de latitude sul.

Os aplicativos utilizados para o tratamento das imagens foi o ENVI 4.8 e para a consultas espaciais e quantificações se elaborou um banco de dados geográfico no aplicativo TerraView versão 4.2.

### 3.2 Métodos

A pesquisa consistiu em avaliar a capacidade de detecção de corte seletivo em diferentes instrumentos sensores para áreas que estão submetidas a atividades de manejo florestal desde o ano de 2010. O fluxo dos procedimentos realizados pode ser visto na Figura 02:



**Figura 2** - Fluxo de procedimentos realizados para avaliar a capacidade de detecção dos satélites Landsat 5 TM e Resourcesat 1 LISS-3.

<sup>1</sup> Triunfo é uma empresa de compensados com várias filiais nos estados do Acre, Rondônia, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

<sup>2</sup> O PRODES é o programa responsável pelo cálculo do desflorestamento na Amazônia Legal o qual as categorias de interesse nesse estudo foram: Desflorestamento Total, Desflorestamento Sobre Nuvens, Resíduos e Floresta.

### **3.2.1 Processamento de Imagens de Satélite**

O primeiro procedimento consistiu na correção atmosférica pelo método de subtração de pixel escuro (CHAVEZ, 1988). Os efeitos da atmosfera nas bandas do visível e infravermelho próximo foram removidos para os três sistemas sensores com base no comportamento de sombras de nuvens e corpos d'água com baixíssima turbidez, simulando feições escuras que deveriam apresentar reflectância nula.

Para a correção geométrica das imagens aplicou-se um registro polinomial de 1º ordem com o intuito de obter alta correlação espacial entre as imagens. Coletou-se 30 pontos de controle de terreno para cada cena, e foi possível conseguir um erro quadrático médio residual (RMS) de 0,33 e 0,32 para as cenas Landsat 5 TM e 0,41 e 0,45 para as cenas Resourcesat 1 LISS-3.

O principal processamento realizado foi o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME). Este é capaz de estimar proporções de materiais a partir de amostras de referências, o qual informações no nível de subpixel contemplam um modelo matemático regressivo linear que resulta em imagens fração dos materiais solo, vegetação e água/sombra (Ponzoni e Shimabukuro, 2007). Segundo Pizarro (2001) e Santos (2003), o pré-requisito fundamental para obtenção de imagens fração está na significância da coleta de amostras pura, o que permite encontrar o padrão das curvas espectrais para os elementos homogêneos de solo, vegetação e água/sombra, consideradas como solução única e inequívoca para as cenas e datas em questão.

De posse das imagens fração solo e vegetação fotossinteticamente ativa, partiu-se para a elaboração de uma imagem índice de vegetação simples, a qual a razão de bandas aumenta a distinção entre pixels de floresta e pixels de áreas de solo exposto (Jordan, 1996). As imagens resultantes foram escalonadas para o intervalo de 0 a 255.

As cenas estudadas apresentavam áreas desflorestadas em diferentes estágios, desde o corte raso até o corte seletivo. Parra fins de detecção de corte seletivo em áreas de manejo há a necessidade de se avaliar apenas áreas florestais. Deste modo, os dados do PRODES foram compilados no banco de dados geográfico, e em seguida, houve uma seleção das classes de interesse com a delimitação vetorial das áreas que são diferentes da classe Floresta. Deste modo, formulou-se uma máscara que posteriormente foi aplicada nas imagens resultantes da operação de razão entre bandas.

Ao final, para detectar e delimitar áreas de perda de cobertura de dossel se aplicou um fatiamento. Os limiares que melhor satisfizeram a identificação de feições de corte seletivo, observando os valores máximos e mínimos em uma análise visual, foram: i) [127; 148] para o Landsat 5 TM; e, ii) [127; 255] para o Resourcesat 1 LISS-3.

### **3.2.2 Quantificação de Corte Seletivo**

Para estimar o corte seletivo, partiu-se para a compilação dos dados do PRODES para o ano de 2010, e deste, foram consultadas e exportadas as áreas referentes à classe Floresta na forma vetorial. Esta área serviu como base para as estimativas, a qual somente feições consideradas no processo de fatiamento das imagens como a classe Corte Seletivo, ou seja, estradas primárias, secundárias, trilhas de arraste, esplanadas, pátios e desbaste, seriam considerados no cômputo para não haver elevada confusão com feições naturais em áreas sem distúrbio (variações locais de espécimes vegetais, quedas naturais de árvores, afloramentos rochosos e outras especificidades da área estudada).

Para comparar os dados quantitativos levou-se em conta a imagem Landsat 5 TM como tratamento controle, isto por sua áreas de abrangência que contempla as demais cenas. De forma qualitativa os dados classificados foram comparados com os dados de campos que foram amostrados.



### 3.2.3 Levantamento de Campo

Para validar os procedimentos de detecção de corte seletivo nas imagens foi realizado o trabalho de campo no período de 27 a 30 de Setembro de 2010. Este considerou visitar feições de esplanadas, pátios, estradas primárias e secundárias, trilhas de arraste e as clareiras de desbaste dentro de áreas de manejo que realizam atividade de extração madeireira desde 2008.

O levantamento procedeu com a coleta das coordenada geográfica no GPS o que totalizou 568 pontos para um DOP<sup>3</sup> médio de 3,21 metros. Posteriormente, eram registradas as fotos e descritos as condições de abertura de dossel com uso do densidômetro (ver Figura 03).



Dossel Aberto



Dossel Fechado

**Figura 3** – Dossel aberto e fechado observados a partir do densidômetro.

### 3.2.4 Avaliação de Acurácia

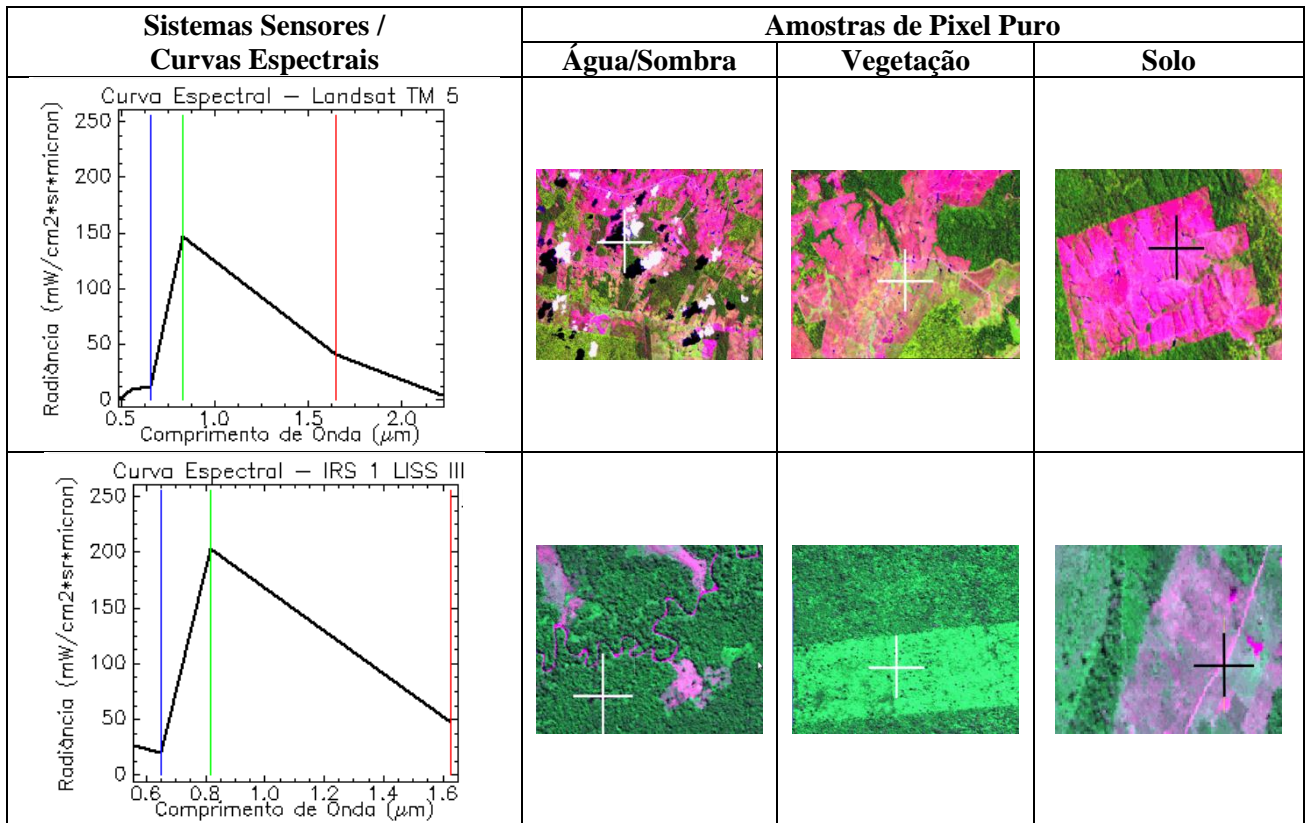
Para se determinar a acurácia temática de detecção de corte seletivo de madeira nos diferentes instrumentos sensores se recorreu a Matriz de Confusão, esta matriz faz referência ao conjunto de pixels classificados no produto temático (corretos e errôneos contidos nas linhas) e a um conjunto de amostras de referência representando a realidade terrestre (dados de campo ou outras imagens contidos em coluna) (Congalton, 1991). As informações temáticas de campo foram contrapostas com os dados elaborados pelo processamento de imagens sem intervenção por procedimentos de edição.

## 4 Resultados e Discussões

No método semi-assistido proposto, as etapas fundamentais são os pré-processamentos, sobretudo o MLME, pois o enfoque foi em aumentar o contraste entre áreas de floresta primária e as feições de corte seletivo. Para tanto, a geração das imagens fração do MLME precisa de amostras de pixel puro fidedignas com curvas espectrais de referência para solucionar o modelo matemático. Foram coletadas amostras das feições correspondentes à água/sombra, vegetação fotossinteticamente ativa e solo exposto conforme a Figura 4:

---

<sup>3</sup> *Dilution of Precision*: é o erro de posicionamento estimado para as coordenadas tridimensionais, e, estes são considerados bem fixos entre 2 e 5 (GARMIN, 2012).



**Figura 4** – Curvas espectrais de vegetação e feições de coleta para pixel puro de uso no MLME.

A partir das imagens fração elaboradas para os três sistemas sensores, houve a necessidade de melhorar ainda mais o contraste floresta primária e corte seletivo. Desse modo, aplicou-se o índice de vegetação simples que é a razão entre as imagens fração solo e fração vegetação, com um fator de ganho de 90 e offset de 50, estes coeficientes foram encontrados por tentativa e erro (ver Figura 5).

SISTEMAS SENSORES	MLME		ÍNDICE DE VEGETAÇÃO SIMPLES
	Fração Solo	Fração Vegetação	$90 * (\text{Fração Solo} / \text{Fração Vegetação}) + 50$
<b>Landsat 5 TM</b>			
<b>Resourcesat 1 LISS-3</b>			

**Figura 5** – Principais produtos matriciais resultantes do MLME e operações aritméticas.

Para as cenas estudadas, a quantificação de corte seletivo não ultrapassou dos 0,4% do total de áreas florestais definidas pelo PRODES (2010). As medidas de corte seletivo são apresentadas em termos absolutos com limites distintos entre os dados na Tabela 2:

**Tabela 2** – Quantitativo de feições de corte seletivo nas cenas estudadas.

QUANTIFICAÇÃO	Landsat 5 TM		Resourcesat 1 LISS-3	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Corte Seletivo (ha)</b>	1.123,90	0,11	2.046,07	0,36
<b>Floresta Primária (ha)</b>	909.337,28	97,25	566.306,71	99,91
<b>TOTAL FLORESTA (PRODES, 2010)</b>	1.021.727,27	100,00	568.352,78	100,00

As avaliações de classificação temática para o sistema sensor Resourcesat 1 LISS-3 foi considerada boa e para o Landsat 5 TM foi considerado muito boa, segundos os critérios de Landis e Koch (1977), com respectivos coeficientes Kappa de 0,59 e 0,66. Ao se observar as feições de corte seletivo, que no produto classificado foram chamadas de Dossel Aberto, é perceptível uma maior frequência nos erros de omissão que poder levar a uma subestimativa do corte seletivo da ordem dos 18% a 42% (ver Tabela 4).

Matriz de Confusão para Cenas (%)	Resourcesat 1 Liss-3 x Campo			Landsat 5 TM x Campo		
	Da	Df	∑ Linha	Da	Df	∑ Linha
<b>Dossel Aberto (Da)</b>	<b>69,81</b>	4,09	73,90	<b>81,54</b>	7,69	89,23
<b>Dossel Fechado (Df)</b>	18,39	<b>84,26</b>	102,65	12,40	<b>86,47</b>	98,87
<b>Não-Classificado</b>	11,80	11,65	23,45	6,06	5,84	11,90
∑ Coluna	100,00	100,00	-	100,00	100,00	-
<b>Omissão</b>	30,19	15,74	-	18,46	13,53	-
<b>Comissão</b>	6,80	14,89	-	4,57	22,01	-
<b>Acurácia do Produtor</b>	69,81	84,26	-	81,54	86,47	-
<b>Acurácia do Usuário</b>	93,20	85,11	-	95,43	77,99	-
<b>Exatidão Global</b>	77,83	-	-	83,20	-	-
<b>Coefficiente Kappa</b>	<b>0,59</b>	-	-	<b>0,66</b>	-	-

## 5 Conclusões

A detecção de corte seletivo em imagens Landsat e Resourcesat é plenamente executável e replicável, levando-se em conta o método semi-assistido utilizado e as condições específicas das imagens utilizadas.

Os procedimentos de PDI foram decisivos para a identificação do desbaste dentro da área florestal, sobretudo, a definição de amostras de pixel puro, a aplicação do MLME e o índice de vegetação simples.

As estimativas realizadas foram direcionadoras a frequência e magnitude dos impactos na floresta em atividade de manejo. Entretanto, conclusões na estimativa real de perda de cobertura arbórea ou na perda de biomassa devem considerar mais dados de entrada e modelos matemáticos robustos, para superar efeitos de atenuação dos sistemas



sensores, peculiaridades ambientais e/ou erros próprios da função de inversão entre dados indiretos e o fim em unidades físicas.

Dentre as cenas estudadas e após as validações de campo, é observado que o produto temático mais eficiente foi o referente às imagens Landsat com maior coeficiente kappa. Isto entra em acordo com o método aplicado que corresponde a coeficientes de ganho e off-set amplamente testados para imagens Landsat. Entretanto, a disponibilidade de imagens Landsat está comprometida bem como suas correções radiométricas, atmosféricas e geométricas.

Uma possibilidade para melhorar as classificações por sistema sensor seria a utilização de tratamentos específicos de correção radiométrica e atmosférica, além de maiores subsídios em relação às possíveis variações de dossel relacionadas a espécimes endêmicas, quedas naturais de árvores e/ou dados a cerca do substrato como relevo, geologia, morfologia, pedologia e dentre outros temas relevantes a área estudada.

## Referências

Asner, G. P., Knapp, D. E., Broadbent, E. N., Oliveira, P. J. C., Keller, M., & Silva, J. N. (2005). Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science*, 5747(310), 480–482.

Barreto, P.; Souza Júnior, C.; Anderson, A., Salomão, R.; Wiles, J.; **O Estado da Amazônia: Pressão Humana no Bioma Amazônia**. IMAZON. 2005.

Bensusan, |N. **Conservação da biodiversidade em áreas protegidas**. Rio de Janeiro: Editora da FGV, 2006.

Congalton, R.G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1): 35-46.

FAO – Food and Agriculture Organization. **Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005: 15 resultados claves**, Nações Unidas, 2005.

Grogan, J.; Jennings, S. B.; Landis, R. M.; Schulze, M.; Baima, A. M.V.; Lopes, J. do C. A.; Norghauer, J. M.; Oliveira, L. R.; Pantoja, F.; Pinto, D.; Silva, J. N. M.; Vidal, E.; Zimmerman, B. L. What loggers leave behind: Imapcts on big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) commercial populations and potential for post-logging recovery in the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*. 255, 269-281, 2008.

Matricardi, E. 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*, 114, 1117-1129, 2010.

Peres, C. A., Barlow, Laurance, J. W. F. (2006). Detecting anthropogenic disturbance in tropical forests. *Trends in ecology & evolution*, vol. 21, No5., 227-229.

Peres, C; Gadner, T; Barlow, J; Zuanon, J; Michalski, F, Lees, A; Vieira, Ima; Moreira, F; Feeley, K; **Biodiversity conservation in human-modified Amazonian forest landscape**. *Biological Conservation*, 143, 2314-2327, 2010.