

## Comparação entre imagens Landsat e MODIS para Detecção de Incrementos de Desmatamento: um estudo de caso na região do Baixo Acre

Anderson da Silva Costa  
Carlos Moreira de Souza Jr.

Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia  
Caixa Postal 5101, Ananindeua, Pará-Brasil.

[anderson@amazon.org.br](mailto:anderson@amazon.org.br)

[souzajr@amazon.org.br](mailto:souzajr@amazon.org.br)

**Abstract.** In this paper, we evaluated the relationship between the deforestation increment obtained with Landsat and 250m resolution MODIS images. This study was conducted in the state of Acre covering an area of 34.225 km<sup>2</sup>. Our results show that the 250 m MODIS images are highly accurate to detected deforestation larger than 3 ha. Additionally, MODIS can be used to estimate deforestation of areas larger than 70 ha with absolute error less than 5%, relative to the estimates obtained with Landsat images. Therefore, the 250 m-pixel MODIS images can be useful to monitor the forest changes due to deforestation in the Brazilian Amazon in more regular basis, overcoming the low temporal coverage of Landsat due to frequent cloud cover in the region.

**Palavras Chave:** remote sensing, deforestation, Amazon, MODIS, Landsat, sensoriamento remoto, desmatamento, Amazônia.

### 1. Introdução

Nos últimos três anos, o desmatamento na Amazônia aumentou significativamente com taxa média de 21.727 km<sup>2</sup>/ano. Isto representa um aumento em torno 27% em relação à taxa média de desmatamento na década de 90 (17.003 km<sup>2</sup>/ano). Essas taxas têm sido estimadas a partir de interpretações de imagens Landsat pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) através do Projeto de Desflorestamento da Amazônia (PRODES). O mapeamento anual e as estimativas das taxas de desmatamento têm ajudado na formulação de políticas governamentais para tentar conter o desmatamento na região (e.g., Casa Civil, 2003).

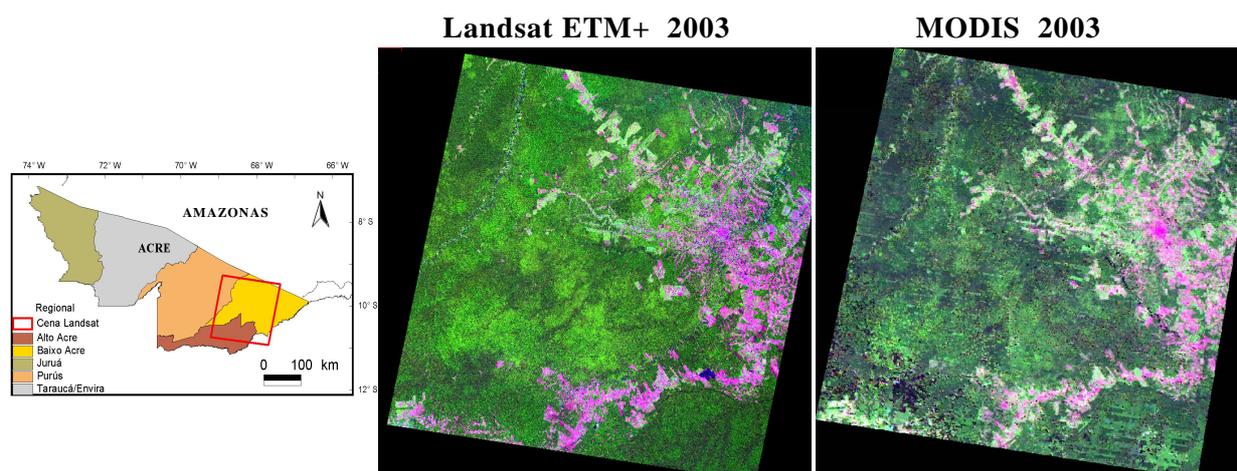
Contudo, estes dados têm sido pouco efetivos para combater o desmatamento ilegal na Amazônia. Um dos fatores que tem inibido o uso efetivo de imagens de satélite no combate do desmatamento tem sido a baixa frequência que os dados de desmatamento são gerados - em geral, de uma a duas vezes por ano (INPE, 2003). Além disso, as estimativas são geralmente defasadas, ou seja, são fornecidas de um a dois anos depois que as áreas foram desmatadas. Mesmo com resolução temporal de 16 dias, a freqüente cobertura de nuvens na Amazônia inibe a aquisição de imagens Landsat (Asner, 2001), o que contribui para a baixa frequência temporal para detectar desmatamento.

Para superar o problema da baixa frequência de detecção de desmatamento com imagens Landsat, algumas iniciativas estão sendo desenvolvidas utilizando imagens do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), que fornecem imagens com resolução temporal de aproximadamente dois dias. As iniciativas incluem o sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER) do INPE e o Sistema Integrado de Alerta de Desmatamento (SIAD) do Sistema de Proteção Ambiental da Amazônia (SIPAM). Estes sistemas têm o potencial de detectar o desmatamento ainda em fase inicial, o que pode inibir a expansão de desmatamentos ilegais na Amazônia e servindo de alerta aos órgãos ambientais.

Uma desvantagem das imagens do sensor MODIS, em relação às imagens Landsat, é a sua menor resolução espacial. Porém, muitas das mudanças na cobertura florestal ocorrem numa escala espacial próxima de 250 metros (Townshend e Justice, 1988), o que torna as imagens do sensor MODIS relevantes para o monitoramento da Amazônia. Visando contribuir com o monitoramento das florestas da Amazônia, este estudo tem como objetivos avaliar: i) a capacidade do MODIS em detectar diferentes classes de tamanho de desmatamento; e ii) comparar os incrementos de desmatamento mapeados com as imagens Landsat e MODIS.

## 2. Área de estudo

O estudo foi conduzido na região leste do Estado do Acre em uma área de 34.225 km<sup>2</sup> (**Figura 1**). A região é caracterizada por apresentar relevo ondulado, solos de origem sedimentar do tipo Latossolo Vermelho, abrigando uma vegetação composta por florestas Tropical Densa e Aberta (RADAMBRASIL, 1976). O clima é do tipo equatorial quente e úmido, caracterizado por altas temperaturas, elevados índices de precipitação pluviométrica e alta umidade relativa do ar. A temperatura média anual está em torno de 24,5 °C. Possui drenagem densa e bem distribuída (Acre, 2000).



**Figura 1.** Localização da área de estudo na região do Baixo Acre.

## 3. Metodologia

### 3.1 Aquisição e Pré-processamento das imagens Landsat ETM+

Utilizamos duas imagens Landsat ETM+ (órbita/ponto = 002/67), adquiridas em 10 de agosto 2002 e 4 de julho de 2003, e um mosaico do sensor MODIS gerado com imagens adquiridas de 26 de junho a 11 de julho de 2003. (**Figura 2**; **Tabela 1**). As imagens Landsat ETM+ foram adquiridas do INPE e o mosaico MODIS através do *Earth Observing System - EOS*.

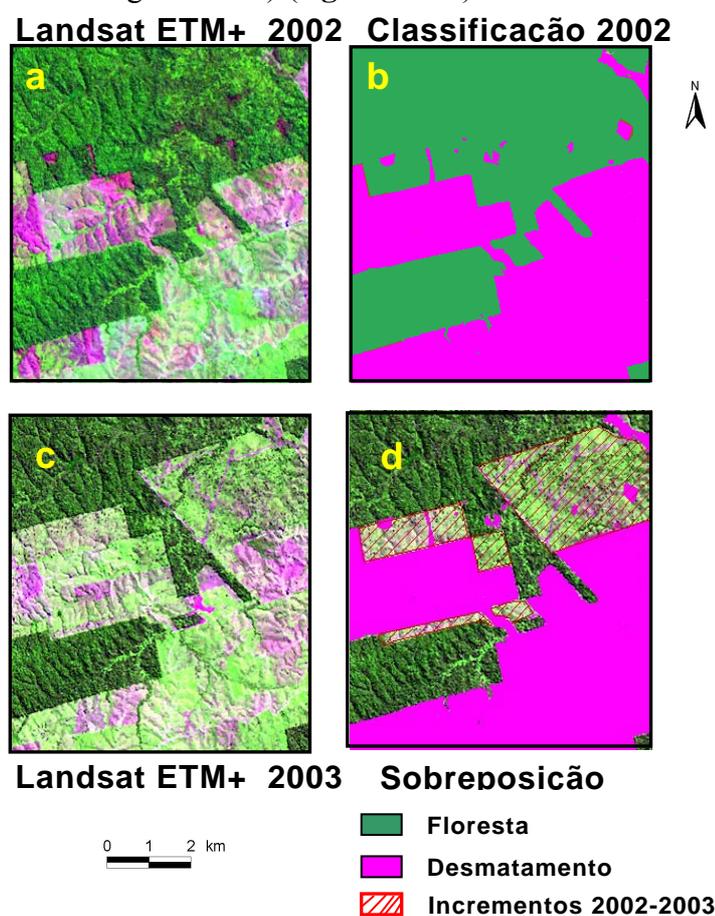
Tabela 1. Datas de aquisição das imagens Landsat e MODIS.

<i>Sensor</i>	<i>Datas de aquisição</i>	<i>Órbita-Ponto/Tiles</i>
<b>Landsat ETM+</b>	10 de agosto 2002 4 de julho 2003	002-067
<b>MODIS</b>	26 de junho a 11 julho 2003	h11v10 e h11v09

A imagem Landsat de 2002 foi escolhida como referência para classificação do desmatamento bruto, ou seja, do desmatamento ocorrido até o ano de 2002. A imagem

de referência foi georreferenciada à base cartográfica do IBGE (1997). Em seguida, a imagem de referência foi processada para extrair as seguintes classes de cobertura florestal: floresta, água e desmatamento. Utilizamos o algoritmo ISODATA para este propósito. Os erros da classificação obtida com o ISODATA foram corrigidos através de interpretação visual. Estes procedimentos permitiram gerar o mapa de desmatamento para o ano de referência (2002; **Figura 2a-b**).

A imagem Landsat de 2003 foi registrada com a imagem Landsat de 2002 utilizando 45 pontos de controle, com o algoritmo de reamostragem por vizinhança mais próxima. O próximo passo foi mapear o incremento do desmatamento entre os anos de 2002 e 2003. Para isso, utilizamos apenas interpretação visual e combinamos o mapa de desmatamento de 2002 com a imagem de 2003 no ambiente do *software ClassEdit* (SulSoft, Porto Alegre-Brasil) (**figura 2c-d**).



**Figura 2.** Sub-região da área de estudo, ilustrando a metodologia utilizada para detectar o incremento do desmatamento nas imagens Landsat: (a) composição colorida da imagem Landsat de 2002 (R5, G4, B3); (b) imagem Landsat de 2002 classificada; (c) composição colorida da imagem Landsat de 2003 (R4, G5, B3); e (d) sobreposição da classificação de 2002 na imagem Landsat de 2003 ressaltando os incrementos de desmatamento que foram digitalizados.

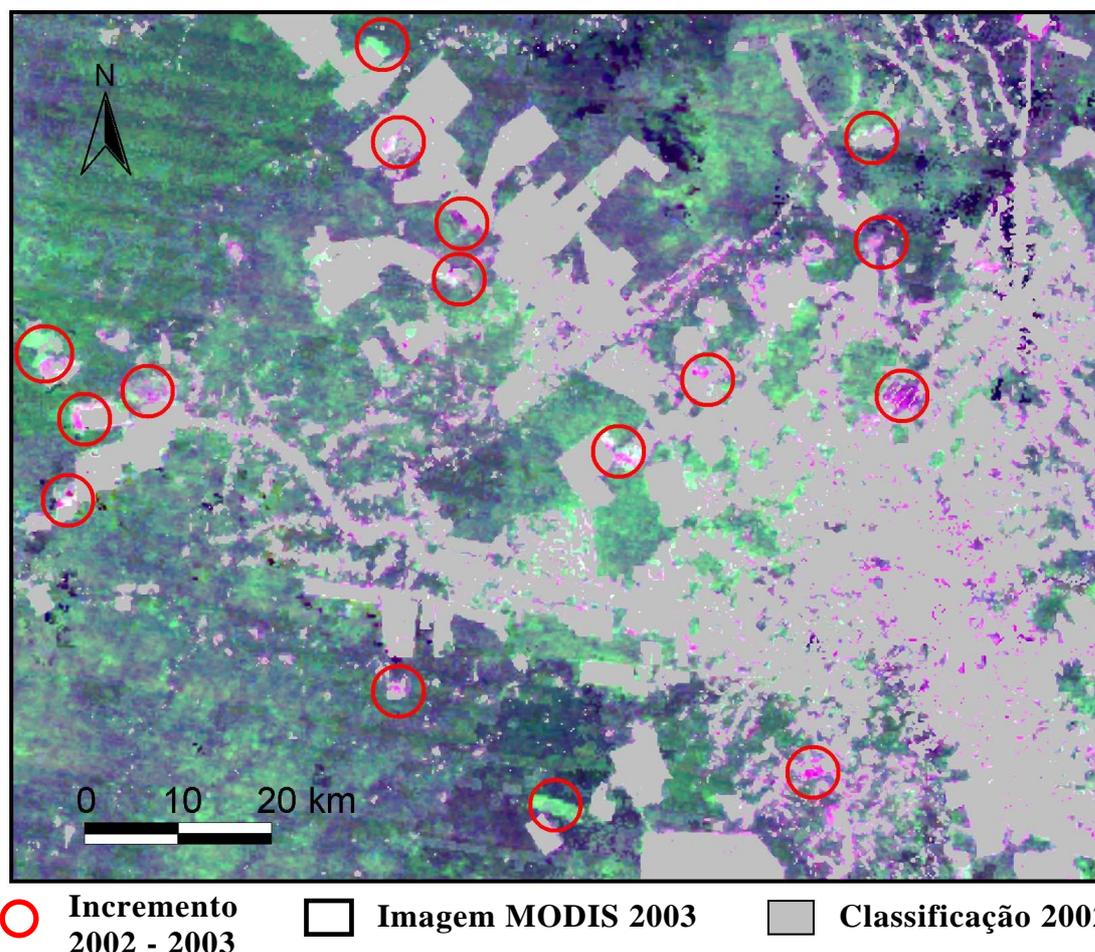
### 3.2 Aquisição e Pré-processamento das imagens MODIS

Utilizamos a imagem do produto MODIS MOD13Q1 com a resolução espacial de 250 metros. Essa imagem foi convertida para a mesma projeção das imagens Landsat (UTM, zona 19S e Datum SAD-69/Brasil) utilizando o programa MODIS Reprojection Tool (MRT). A data de composição escolhida foi de 26 de junho a 11 de julho 2003

(composição 16 dias), a qual aproxima-se à data da imagem Landsat (4 de julho de 2003) utilizada para mapear os incrementos do desmatamento (**Tabela 1**).

### 3.3 Comparação Landsat-MODIS

Inicialmente, o mapa de desmatamento obtido com a imagem Landsat de 2002 foi reamostrado do tamanho original do pixel (30 m) para o tamanho do pixel da imagem MODIS (250 m). O mapa de desmatamento com pixel de 250 m foi combinado com a imagem MODIS original para isolar o desmatamento antigo, ou seja, ocorrido até 2002. Este procedimento permitiu realçar apenas o incremento do desmatamento ocorrido entre 2002 e 2003 na imagem MODIS (**figura 3**).



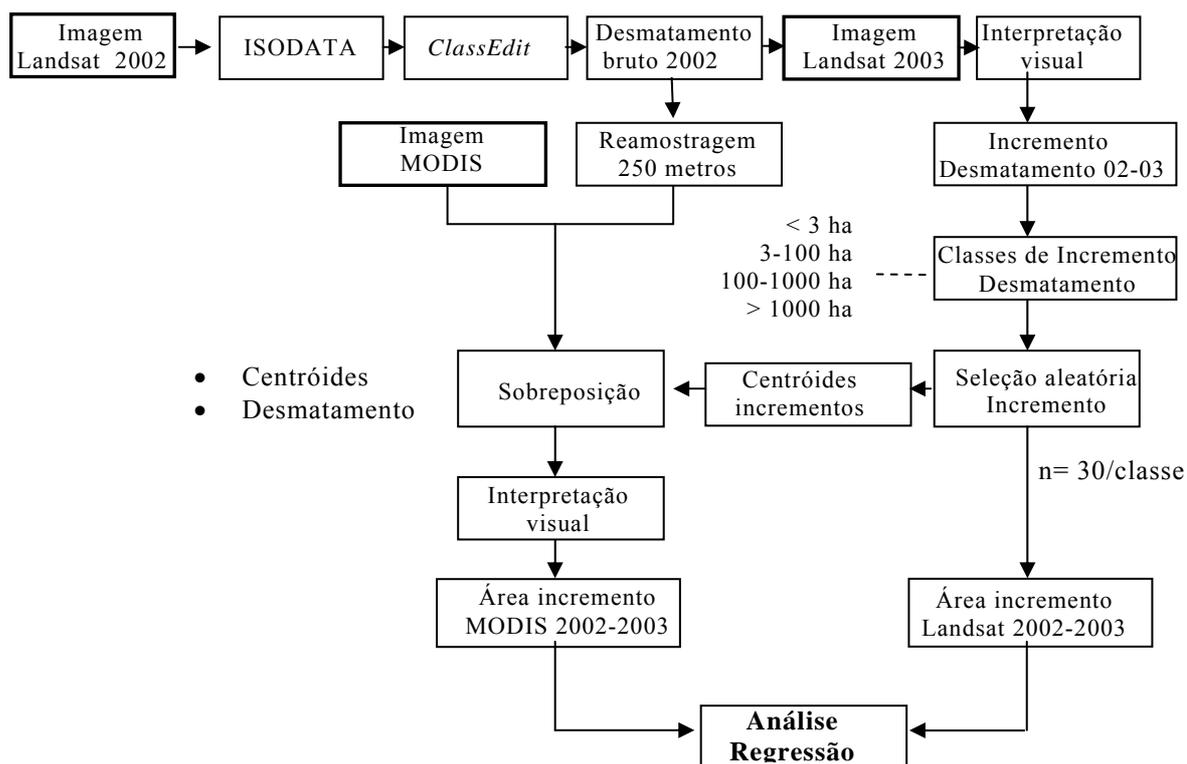
**Figura 3.** Exemplos de incrementos de desmatamento entre 2002 e 2003 detectados na imagem MODIS.

Quatro classes de tamanho de desmatamento foram consideradas para a análise do incremento de desmatamento com o MODIS: < 3 ha, 3-100 ha, 100-1000 ha e > 1000 ha. Essas classes de tamanho são utilizadas pelos órgãos governamentais de fiscalização e controle para a concessão de autorização de desmatamento, definidas na Instrução Normativa N° 3 do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA (IBAMA, 2004).

Para cada classe de tamanho, selecionamos aleatoriamente 30 polígonos que representam o incremento do desmatamento mapeado com as imagens Landsat. Os

centróides desses polígonos foram sobrepostos na imagem MODIS. Isto permitiu avaliar se os incrementos de desmatamento detectado na imagem Landsat de 2003 podiam ser detectados na imagem MODIS. Por último, digitalizamos todos os incrementos de desmatamento que foram detectados na imagem MODIS e comparamos as estimativas de áreas obtidas com os dois tipos de imagens utilizando técnicas de regressão linear.

O fluxograma abaixo sintetiza todas as etapas utilizadas nas análises do mapeamento (**Figura 4**).



**Figura 4.** Metodologia utilizada para analisar a relação dos incrementos de desmatamento detectados com imagens Landsat e MODIS.

#### 4. Resultados

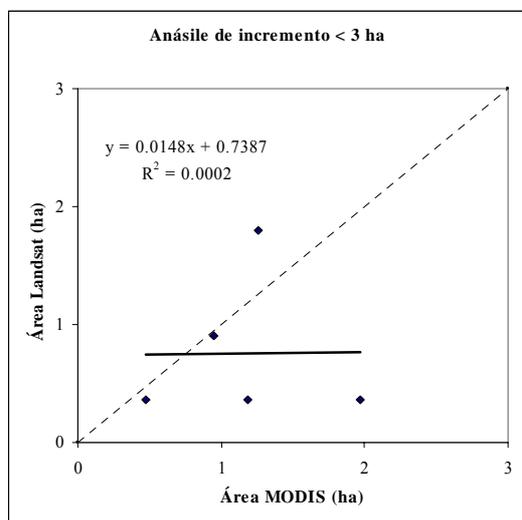
Na classe de desmatamentos < 3 ha apenas 5 incrementos, dos 30 detectados com Landsat, foram identificados na imagem MODIS. Nas demais classes de tamanho, todos os incrementos detectados com Landsat foram detectados com MODIS (**Tabela 2**). Os resultados globais mostram que 72% dos incrementos de desmatamento detectado pelo Landsat foram identificados pelo sensor MODIS. Porém, quando cada classe de tamanho é analisada separadamente, a classe < 3 ha exibiu um baixo nível de detecção de desmatamento com o MODIS (16%). As classes > 3 ha tiveram acurácia de detecção de desmatamento com o MODIS de 100% (**Tabela 2**).

**Tabela 2.** Classes amostrais por tamanho.

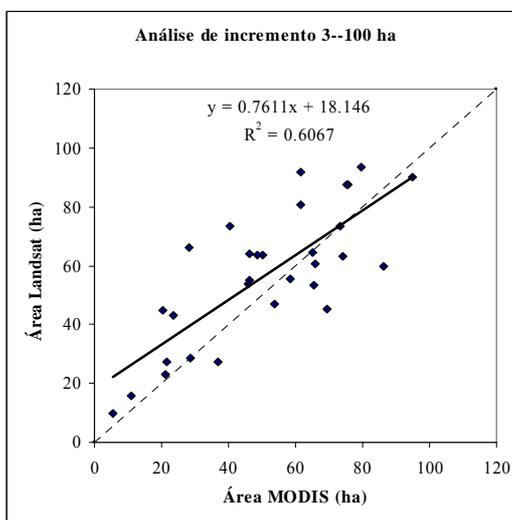
<i>Classes de Incremento</i>			
<b>MODIS/Landsat</b>			
< 3 ha	3 -100 ha	100-1000 ha	> 1000 ha
<b>5/30</b>	30/30	30/30	1/1

A **Figura 5** mostra a comparação da estimativa de área com os dois tipos de imagens. A classe de tamanho < 3 ha mostrou um baixo coeficiente de correlação de *Pearson* (1,3%) entre as estimativas de área feitas com o Landsat e com o MODIS. Esse resultado já era esperado visto que a menor unidade mapeável (MUM) com pixel de 250 m (MODIS) na escala 1:150.000 é 9 vezes maior que a MUM com pixel de 30 m (Landsat) na escala de 1:50.000. Para classe de tamanho entre 3-100 ha, a correlação foi razoável (78%), e para a classe de 100 – 1000 ha houve um aumento significativo na correlação destes dois tipos de imagens, chegando a um  $R^2$  de 0.92 e correlação de 96% (**Figura 5**). Não foi possível estabelecer correlação para classe de tamanho >1000 ha porque havia apenas um polígono de desmatamento nesta classe. A correlação global entre Landsat e MODIS, para estimativa de área, foi ainda maior chegando a 98%, com um  $R^2$  de 0.97 (**Figura 5**).

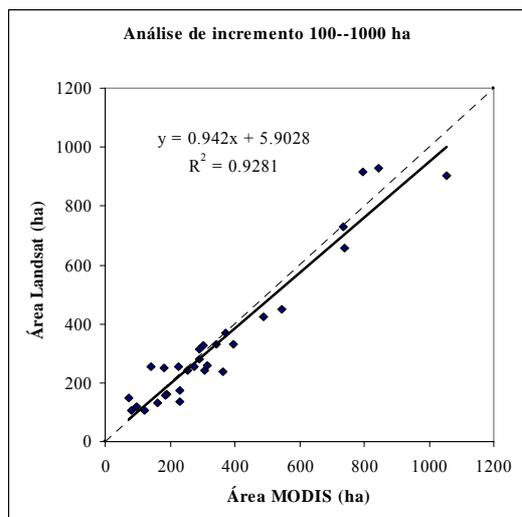
a. Análise do incremento < 3 ha.



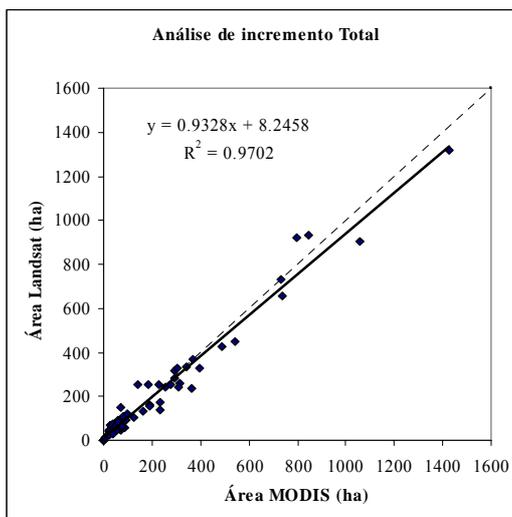
b. Análise do incremento 3 -100 ha.



c. Análise de incremento 100 -1000 ha.



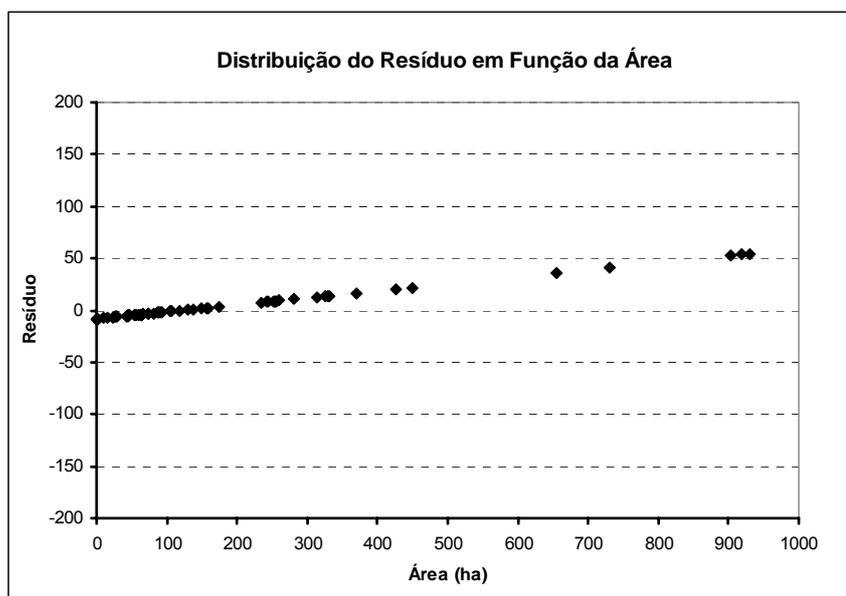
d. Análise do incremento Total.



**Figura 5.** Resultados obtidos com análise de regressão entre as estimativas de áreas dos incrementos de desmatamentos mapeados com as imagens LANDSAT ETM+ e MODIS; (a) < 3 ha; (b) 3 – 100 ha; (c) 100 - 1000 ha; e (d) > 1000 ha.

A análise da distribuição de resíduos da regressão da **Figura 5d** permite avaliar os tipos de erros associados com estimativas de desmatamento feitas com MODIS em relação às estimativas obtidas com Landsat (**Figura 6**). Os resíduos foram negativos para desmatamentos menores que 120 ha, e positivos para desmatamentos maiores que esse valor. Isso significa que para áreas menores que 120 ha, a estimativa de desmatamento feita com MODIS tende a ser maior em relação às estimativas feitas com Landsat. O inverso ocorre para áreas maiores que 120 ha, ou seja, os resíduos são positivos, o que implica que as imagens MODIS subestimam o desmatamento relativo à imagem Landsat (**Figura 6**).

Uma análise mais detalhada da distribuição do erro mostrou que o erro absoluto é  $\leq 5\%$  para incrementos maiores que 70 ha (**Tabela 3**). Para incrementos de 50 a 70 ha o erro absoluto fica entre 5 e 10%. Para incrementos de 50 a 10 ha o erro absoluto cresce ainda mais variando de 10 e 50%. Finalmente, incrementos menores 10 ha geram erro absoluto maior que 50%.



**Figura 6.** Distribuição do resíduo em função do tamanho da área do incremento de desmatamento mapeado com Landsat.

**Tabela 3.** Erro absoluto da estimativa da área de incremento de desmatamento com imagens MODIS em relação à estimativa feita com Landsat.

Erro Absoluto (%)	Área (ha)	Números de Incrementos de Desmatamento (n)
$\leq 5\%$	$\geq 70$	34
5 – 10%	70 – 50	17
10 – 50%	50 – 10	9
$\geq 50\%$	$\leq 10$	6

## 5. Conclusão

A análise comparativa entre imagens Landsat ETM+ e MODIS, para a região do Baixo Acre, revelou que as imagens MODIS, com resolução de 250 m, são úteis para detectar e monitorar o avanço do desmatamento na Amazônia. Desmatamentos menores que 70 ha podem ser detectados, mas a estimativa de área gera erros absolutos significativos

em relação às estimativas feitas com Landsat. As estimativas de área com imagens MODIS de 250 m são mais próximas daquelas obtidas com Landsat para áreas > 70 ha. A detecção rápida do desmatamento feita com as imagens MODIS podem ser combinadas com as autorizações de desmatamentos para identificar e coibir os desmatamentos ilegais. A metodologia proposta esta sendo replicada em outras áreas da Amazônia para uma avaliação mais robusta do potencial das imagens MODIS no monitoramento do desmatamento na região.

### **Agradecimentos**

Agradecemos à Fundação GBMF (Gordon & Betty Moore Foundation) pelo apoio a esta pesquisa e a NASA (National Aeronautics and Space Administration), através da EOS-DIS (Earth Observation System and Data and Information System), pela disponibilidade das imagens MODIS.

### **Referências**

Acre. Governo do Estado do Acre. **Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre. Zoneamento ecológico-econômico:recursos naturais e meio ambiente - documento final**. Rio Branco: SECTMA, 2000. V. 1

Asner, G.P. Cloud cover in Landsat Observation of the Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, 22: 3855-3862, 2001.

Casa Civil. **Plano de Ação para a Preservação e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal**. Grupo Permanente de Trabalho Interministerial para Redução dos Índices de Desmatamento na Amazônia Legal. Decreto de 3 Julho de 2003.

IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis)- **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº3**, de 04.03.02, publicada em 06.03.02, sobre conversão para uso do solo (reedição da IN 003, de 10.05.01, publicada em 14.05.01). IBAMA - SCEN Trecho 2 - Ed. Sede - Cx. Postal nº 09870 - CEP 70818-900 - Brasília-DF. 2004 Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br>>, Acesso em: 10 novem. 2004.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. Projeto de Estimativa de Desflorestamento da Amazônia PRODES DIGITAL: São José dos Campos, 2003. Disponível em: <<http://www.inpe.br>>, Acesso em: 9 novem. 2004.

IMAZON (Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia) **Desmatamento do Estado do Acre no período de 1999 a 2002**. Relatório Final, 2003. Caixa Postal 5101, Ananindeua, Pará-Brasil.

RADAMBRASIL. Folha SC. 19-Rio Branco. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional da Produção Mineral, **Projeto RADAM BRASIL**, 1976, Rio Janeiro, RJ.

Sulsoft- Porto Alegre, Distribuidora exclusiva dos produtos Research Systems Inc.2004.

Townshed, J.R.G.; Justice. C. O. Selecting the spatial resolution of satellite sensors required for global monitoring of land transformations. **International Journal of Remote Sensing**, v.9, n. 2, p.187-236, Feb. 1988.