



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**INPE-14784-RPQ/810**

**DETECÇÃO DE ÁREAS DESFLORESTADAS EM TEMPO REAL  
(PROJETO DETER) PARA OS ANOS DE 2005 E 2006**

Yosio Edemir Shimabukuro  
Valdete Duarte  
Maurício Alves Moreira  
Egídio Arai  
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff  
Ramon Morais de Freitas  
André Lima  
Júlio Ricardo Lisboa de Aragão

INPE  
São José dos Campos  
2007

Publicado por:

**esta página é responsabilidade do SID**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Gabinete do Diretor – (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 – CEP 12.245-970

São José dos Campos – SP – Brasil

Tel.: (012) 3945-6911

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: [pubtc@sid.inpe.br](mailto:pubtc@sid.inpe.br)

**Solicita-se intercâmbio  
We ask for exchange**

**Publicação Externa – É permitida sua reprodução para interessados.**



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**INPE-14784-RPQ/810**

**DETECÇÃO DE ÁREAS DESFLORESTADAS EM TEMPO REAL  
(PROJETO DETER) PARA OS ANOS DE 2005 E 2006**

Yosio Edemir Shimabukuro  
Valdete Duarte  
Maurício Alves Moreira  
Egídio Arai  
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff  
Ramon Morais de Freitas  
André Lima  
Júlio Ricardo Lisboa de Aragão

INPE  
São José dos Campos  
2007





**Coordenação Geral**

**João Vianeí Soares**

**Divisão de Sensoriamento Remoto**

**João Roberto dos Santos**

**Divisão de Processamento Imagens**

**Julio César Lima D'Alge**

**Divisão de Geração de Imagens**

**Flávio Reis**

**Programa Amazônia**

**Dalton de Morrison Valeriano**



## **RESUMO**

Este relatório apresenta os resultados obtidos pelo Projeto DETER (Detecção de Áreas Desflorestadas em Tempo Real) para os anos de 2005 e 2006. O projeto está inserido no contexto do monitoramento da floresta Amazônica brasileira por satélite, que se encontra em operação, no INPE, desde maio de 2004. O DETER é parte das atividades do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Brasileira, de responsabilidade do Grupo Permanente de Trabalho Interministerial (GPTI), coordenado pela Casa Civil. O objetivo do DETER é monitorar, de forma operacional, o desflorestamento ocorrido, a cada quinze dias, por meio de imagens dos satélites MODIS/TERRA e/ou WFI/CBERS-2 que possuem alta resolução temporal e moderada resolução espacial. O DETER tem por base o Projeto de Estimativa de Desflorestamento da Amazônia (PRODES), que estima a taxa anual de desflorestamento, desde a década de 70. As informações do DETER estão disponíveis na Internet desde dezembro de 2004, e estão sendo utilizadas em um sistema de fiscalização eficiente, por parte do Governo Federal. As áreas desflorestadas, detectadas ao longo dos anos 2005 e 2006, são apresentadas, cronologicamente, para mostrar a evolução das atividades de desflorestamento na região Amazônica. Este relatório apresenta também uma análise dos dados MODIS para o mapeamento de áreas queimadas e uma análise dos dados MERIS ENVISAT para a detecção das áreas desflorestadas e áreas queimadas. Os resultados obtidos são promissores para o projeto DETER.



## **DETECTION OF DEFORESTED AREAS IN A NEAR REAL TIME (DETER PROJECT) FOR THE YEARS 2005 AND 2006**

### **ABSTRACT**

This report presents the results obtained by DETER (Detection of Deforested Areas in Real Time) for the 2005 and 2006 years. The project is inserted in the context of the Brazilian Amazon Forest Monitoring by satellite, and is in operation, at INPE, since May of 2004. The DETER is part of the activities of the Action Plan to prevent and to control deforestation in the Brazilian Amazon, under the responsibility of the Interministerial Permanent Working Group, coordinated by Civil House. The objective of the DETER is to monitor, in an operational way, the deforestation observed, every fifteen days, using MODIS/Terra and/or WFI/CBERS satellite images, which have high temporal resolution and moderate spatial resolution. The DETER is based on the Amazon Deforestation Estimate Project (PRODES), which estimates the annual deforestation rate, since the seventies. The DETER information is available in the Internet, since December 2004, and is being used in an efficient fiscalization system by the Federal Government. The detected deforested areas, throughout the 2005 and 2006 years are presented, chronologically, to show the evolution of the deforestation activities in the Amazon Region. This report also presents an analysis of MODIS data for mapping burned areas and an analysis of MERIS ENVISAT data to detect deforested and burned areas. The obtained results are promising for DETER project.



## SUMÁRIO

	Pág.
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	
<b>LISTA DE TABELAS</b>	
<b>1-CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2-CAPITULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1-Descrição da Bacia Amazônica .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2-Estimativa de áreas desflorestadas na Amazônia Legal.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3-Criação do Projeto DETER .....</b>	<b>23</b>
<b>2.4-Sensor MODIS .....</b>	<b>25</b>
<b>2.4.1-Resolução radiométrica .....</b>	<b>26</b>
<b>2.4.2-Resolução espacial e temporal do MODIS .....</b>	<b>28</b>
<b>2.5-Sensor WFI .....</b>	<b>30</b>
<b>2.6. Sensor MERIS .....</b>	<b>32</b>
<b>3.-CAPÍTULO 3 – MATERIAL E MÉTODO .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1-Localização da área de estudo .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2-Metodologia .....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.1-Estruturação do banco de dados georreferenciado .....</b>	<b>37</b>
<b>3.2.2-Seleção das imagens MODIS .....</b>	<b>37</b>
<b>3.2.3-Georreferenciamento das imagens MODIS .....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.4-Classificação dos dados MODIS .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.4.1-Modelo linear de mistura espectral .....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.4.2-Imagens fração .....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.4.3 - Classificação da Imagem Fração Solo .....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.4.4- Edição Matricial.....</b>	<b>44</b>
<b>4.-CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>47</b>
<b>4.1-Áreas desflorestadas detectadas pelo DETER na Amazônia Legal no período     de agosto de 2004 a agosto de 2006.....</b>	<b>47</b>
<b>4.2- Mapeamento de áreas queimadas utilizando dados     MODIS.....</b>	<b>52</b>
<b>4.3- Dados MERIS do ENVISAT para o Projeto DETER.....</b>	<b>55</b>

<b>5. -CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>63</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>65</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
2.1 – Representação esquemática da varredura do MODIS, mostrando o aumento no tamanho dos pixels com a variação do ângulo de visada. FONTE: adaptada de van Leeuwen et al. (1999)	<b>28</b>
2.2 – Representação da resolução nominal (IFOV) e da representação da resolução efetiva (EIFOV). Fonte: Material de aula, disponível no site: <a href="http://www.dpi.inpe.br/~leila/ser437/pdi1-introd.PDF">www.dpi.inpe.br/~leila/ser437/pdi1-introd.PDF</a>	<b>29</b>
2.3 – Esquema do satélite CBERS para mostrar as larguras de faixas dos sistemas sensores	<b>31</b>
2.4 – Sensor WFI e uma imagem colorida mostrando a represa de Itaipu.	<b>31</b>
3.1 – Mosaico de 13 a 28 de agosto de 2005. R(MIR), G(NIR) e B(Red), para mostrar a área de estudo do Projeto DETER.	<b>35</b>
3.2 – Fluxograma do projeto DETER	<b>36</b>
3.3 – Mosaico de imagem MODIS da Amazônia Legal, obtidos entre as data de 13 a 28 de agosto de 2005, com a superposição da extensão do desmatamento total histórico proveniente do projeto PRODES Digital e sua respectiva legenda	<b>37</b>
3.4 – Imagens MODIS no momento da seleção (A) e ampliada para análise da porcentagem de nuvens (B).	<b>38</b>
3.5 – Largura da faixa de uma imagem diária do MODIS, além da grade contendo os limites dos Estados (linha vermelha).	<b>39</b>
3.6 – Imagens fração de solo, sombra e vegetação geradas a partir de imagem MOD09 de 10 de outubro de 2005.	<b>43</b>
4.1 – Evolução do desflorestamento na Amazônia Legal entre Janeiro e Setembro de 2005.	<b>40</b>
4.2 – Evolução do desflorestamento na Amazônia Legal entre Janeiro e Agosto de 2006	<b>40</b>
4.3 – Fluxograma da metodologia de mapeamento de áreas queimadas	<b>42</b>
4.4 – Imagem MODIS de 12 de outubro de 2005 do Estado do Acre: a) composição colorida R6 G2 B1; b) imagem fração vegetação; c) imagem fração solo; e d) imagem fração sombra.	<b>43</b>

## LISTA DE TABELAS

	<b>Pág.</b>
2.1 - Características gerais do MODIS para o sensoriamento remoto da superfície da Terra.	<b>27</b>
2.2 - Resoluções radiométricas do sensor MODIS para as bandas de estudo da superfície terrestre.	<b>27</b>
2.3 - Comparação entre as resoluções espaciais dos sensores ETM <sup>+</sup> e MODIS	<b>30</b>
2.4 – Características gerais do sensor MERIS.	<b>32</b>
2.5 – Principais características dos sensores orbitais MERIS e MODIS.	<b>33</b>
2.6 – Bandas espectrais correspondentes dos sensores orbitais MERIS e MODIS, comprimentos de onda centrais de cada canal ( $\lambda$ nm) e largura total das bandas (nm). (Fonte: adaptado de Kampel e Novo, 2004)	<b>34</b>
3.1 – Níveis de processamento do MODIS	<b>40</b>
4.1 – Datas de aquisição de imagens MODIS durante o período de janeiro/2005 a dezembro/2005	<b>48</b>
4.2 – Resultados do alerta para o período de janeiro de 2005 a setembro de 2005	<b>49</b>
4.3 – Resultados do alerta para o período de janeiro de 2006 a agosto de 2006	<b>49</b>

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

A Amazônia Legal compreende os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e parte do estado do Maranhão, correspondendo a uma área de aproximadamente 5 milhões de km<sup>2</sup>. Desse total, a área com fisionomia florestal ocupa cerca de 4 milhões de km<sup>2</sup>.

O monitoramento das áreas de florestas da Amazônia Legal, realizado no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) revela que a área desflorestada variou entre 1 e 3 x 10<sup>6</sup>ha.ano<sup>-1</sup> no período 1991-2005 e a perda de cerca de 7x10<sup>7</sup>ha (mais de meio milhão de km<sup>2</sup>) de florestas até 2006. Esse desflorestamento resulta de um processo de ocupação da Amazônia, a partir da segunda metade do século XX, e está associado à expansão da fronteira agrícola e ao estabelecimento de sistemas de circulação rodoviária e pólos de desenvolvimento. Aos danos ambientais causados pelo desflorestamento, sobrepõem-se graves problemas sociais como a concentração fundiária, a baixa fixação de agricultores no campo, a urbanização precária e conflitos sociais acompanhados de maior ou menor grau de violência. A expansão da fronteira agrícola e o desflorestamento na Amazônia Legal estão intimamente ligados ao contexto da reorganização da agricultura brasileira, em seguida à industrialização acelerada a partir da década de 50 e, mais recentemente, com tentativas de adaptação do Brasil à globalização da economia. Nesse contexto, diversos fatores podem ter contribuídos para taxas elevadas de desflorestamento, entre os quais a disponibilidade de capitais públicos e privados, a dinâmica populacional, a organização dos sistemas de produção e condições físicas variadas.

Do ponto de vista de políticas públicas, o monitoramento do desflorestamento feito por meio do Projeto PRODES Digital é ainda insuficiente para fornecer uma base para ação governamental, porque os resultados são anuais e, muitas vezes, de ação informativa, ou seja, quando os fatos já aconteceram. Como os dados são agregados por Estado e publicados um ano após as ocorrências dos eventos de desflorestamento, os governos federal e estadual não podem se antecipar à dinâmica de mudança de uso da terra na Amazônia. Deste modo, o Projeto DETER visa atender esta carência de informações preditivas, uma vez que é realizado com base no emprego de imagens do sensor MODIS

(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), o qual apresenta uma alta resolução temporal, o que permite assim fazer o monitoramento quase em tempo real, das ações antrópicas na floresta. Em outras palavras, o DETER funciona como um sistema de alerta de desflorestamento permitindo ao Estado Brasileiro uma ação imediata no combate às atividades ilícitas de desflorestamento.

O MODIS é o principal instrumento de Sensoriamento Remoto do programa Earth Observing System (EOS). O EOS tem como meta colocar em órbita da Terra uma série de satélites de órbita polar e se estenderá por um período de pelo menos 15 anos. A primeira plataforma do EOS é o satélite Terra (EOS AM-1), lançado em 1999, numa órbita polar, sol síncrona, descendente no período da manhã (AM). Em 2002, a plataforma Aqua (EOS PM-1) foi lançada numa órbita polar, sol síncrona, ascendente no período da tarde (PM). Ambos os satélites contam com o sensor MODIS, cujas características estão descritas no item 2.2. As imagens MODIS permitem realizar estudos multidisciplinares dos processos da terra, oceano e atmosfera e suas interações. A potencialidade do uso dos dados MODIS, como indicador do desflorestamento na Amazônia, está relacionada com a alta repetitividade temporal, a ampla largura de faixa (2330 km) e a disponibilidade de bandas tanto para interpretação de mudanças do uso da terra como para detecção de queimadas.

O objetivo desse relatório é apresentar os resultados do alerta de desflorestamento para o período de 2005 a agosto de 2006. Além disso, o relatório apresenta o desenvolvimento da metodologia para a detecção de áreas queimadas utilizando o Estado do Acre como área teste e imagens MODIS de 2005.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 2.1 - Descrição da Bacia Amazônica

As informações apresentadas a seguir foram extraídas da tese de Doutorado do João Carreiras (Carreiras, 2005). A Bacia Amazônica é uma vasta área com aproximadamente 6.800.000 km<sup>2</sup>, distribuindo-se principalmente pelo Brasil, Peru, Bolívia, Colômbia, e Equador, e em menor extensão pela Venezuela e Guiana, incluindo todos os afluentes do Rio Amazonas (e.g. Rio Tapajós, Rio Madeira, Rio Tocantins) (Goulding *et al.*, 2003). Uma das mais importantes características desta região é a sua capacidade para reciclar a evapotranspiração, sendo que entre 63% e 73% da precipitação anual é evapotranspirada, e aproximadamente 50% reciclada na região através da precipitação (Salati, 1985; Marengo e Nobre, 2001).

A temperatura média varia entre 25,8 °C durante a época das chuvas (Maio-Setembro), e 27,9 °C na época seca (Outubro-Abril) (Junk e Firch, 1985). Devido à grande extensão da Amazônia Legal (AML), a duração da época seca e da época das chuvas pode ter algumas oscilações. A precipitação média anual é da ordem de 2250 mm. No entanto, pode variar, consideravelmente, entre 1500 mm no norte e sul, e 3000 mm na região noroeste (Goulding *et al.*, 2003).

A Amazônia Legal (AML), unidade administrativa do Brasil, situa-se entre 5° N e 20° S (latitude) e 44° W e os 75° W (longitude), engloba a totalidade dos Estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins, e parcialmente o Estado do Maranhão (a oeste do meridiano 44° W), totalizando aproximadamente 5.000.000 km<sup>2</sup> (IBGE, 2000). Com exceção da região Sul do Estado do Mato Grosso, integrada na bacia do Rio Paraguai, e de parte do Estado do Maranhão, pertencente à bacia do Rio Parnaíba, a restante área da AML está incluída na bacia do Rio Amazonas.

Em termos gerais, a maior parte da AML é ocupada por floresta tropical perenifólia, e em menor proporção por um tipo de savana denominado cerrado (Skole e Tucker, 1993). A floresta tropical perenifólia engloba essencialmente três classes de vegetação: a floresta tropical perenifólia *sensu stricto*, a floresta tropical semi-perenifólia, e a

floresta tropical semi-caducifolia (IBGE, 1988). A floresta tropical perenifolia *sensu stricto* encontra-se nas áreas muito úmidas, normalmente com precipitação anual superior a 3000 mm; e são formações compostas por folhosas perenifolias em diversos andares, podendo atingir 50 m. O substrato é esparso composto essencialmente por herbáceas. A floresta tropical semi-perenifolia distribui-se pelas áreas menos úmidas, com precipitação anual entre 2000 e 3000 mm, constitui-se de formações dispostas em três níveis de cobertura, compostas por folhosas perenifolias e caducifolias, estas últimas presentes, sobretudo, na parte superior do dossel. A floresta tropical semi-caducifolia distingue-se da anterior pela presença de maior proporção de espécies caducifolias. O cerrado é um ecossistema tipo savana, inserido, sobretudo, na parte sul e leste da AML, composto por folhosas semi-caducifolias ou perenifolias, normalmente em solos bem drenados e pobres em nutrientes, numa região onde a temperatura média anual varia entre 20-26 °C. A precipitação anual situa-se entre 1250-2000 mm, com marcada influência da época seca do inverno austral (maio a setembro) (Silva e Bates, 2002). Em termos gerais, reconhecem-se cinco tipos estruturais de cerrado (Oliveira-Filho e Ratter, 2002): *cerradão* - dominado por vegetação arbórea (8-12 m de altura), com percentagem de cobertura entre 50% e 90%; *cerrado (sensu stricto)* - dominado por árvores e arbustos (3-8 m de altura), mas com cobertura mais esparsa (superior a 30%); *campo cerrado* - constituído por árvores dispersas e arbustos, mas com elevada densidade de vegetação herbácea; *campo sujo* - dominado por vegetação herbácea, com arbustos e pequenas árvores dispersas; e *campo limpo* - distinguindo-se do anterior por não possuir nem arbustos e nem árvores. Estes tipos de vegetação podem também estar associados a áreas temporariamente alagadas, nas zonas mais ou menos planas, junto às principais linhas de água, que são sazonalmente alagadas todos os anos (Hess *et al.*, 2003). Recentemente, estimativas de Houghton *et al.* (2001) apontam para o fato de a biomassa presente na AML corresponder a cerca de 10-15% da biomassa global.

O desflorestamento na Amazônia tem sido objeto de preocupação por parte de diversas entidades (governos, investigadores, organizações não governamentais), sobretudo nas últimas décadas (Moran, 1981; Skole e Tucker, 1993; INPE, 2002; Roberts *et al.*, 2003). Apesar do longo histórico de ocupação humana na AML, cerca de 90% da área desflorestada para agricultura e pastagem até 1988 nesta região ocorreu após 1970, indicado por estimativas baseadas em imagens de satélite de média resolução espacial (Skole *et al.*, 1994).

A construção da capital federal Brasília, iniciada em 1956, teve como grande objetivo alterar o padrão de ocupação do Brasil, que nos últimos 350 anos se concentrava junto à zona costeira, e assim iniciar uma ocupação mais efetiva do interior do país (Mahar, 1988). Uma das primeiras infra-estruturas foi a construção da estrada Belém-Brasília (BR-010) em 1958, apontada como a grande responsável pelo início do desflorestamento em grande escala na Amazônia Legal (Moran *et al.*, 1994; Nepstad *et al.*, 1997). Subsequentemente, outras vias rodoviárias, como a BR-364 no Mato Grosso, Rondônia e Acre, e a PA-150 no Pará, acentuaram ainda mais esse fato (Moran, 1993).

Estas infra-estruturas serviram como meio de penetração para a colonização humana e conversão de floresta em agricultura e pastagem na região. No ano de 1966 criou-se um plano para encorajar a ocupação da Amazônia, o que deu origem a agência para o desenvolvimento (Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia – SUDAM) e um banco de desenvolvimento regional (Banco da Amazônia – BASA). Este plano previa incentivos fiscais a pequenos proprietários ou empresas que pretendessem investir em projetos na Amazônia (Moran *et al.*, 1994). Pequenos proprietários receberam empréstimos a taxas de juro bastante favoráveis nos primeiros anos, principalmente, para o cultivo de arroz, milho, e feijão. Empresas e grandes proprietários foram beneficiados com grandes incentivos fiscais, por meio do não pagamento de impostos, em grande parte para o estabelecimento de grandes áreas de pastagem extensiva (Moran, 1993). A maior parte do desflorestamento na AML é atribuída a esta última forma de incentivos fiscais, sendo mínima a percentagem de desflorestamento atribuída a pequenos proprietários que praticam, na maior parte dos casos, uma agricultura de subsistência (Fearnside, 1993).

Outros tipos de atividades introduziram também um potencial de desflorestamento na AML, como a exploração de minérios e a extração seletiva de árvores com elevado valor econômico (Cochrane *et al.*, 1999).

O desflorestamento na AML concentra-se nas regiões Sul e Leste, no chamado arco de desflorestamento, que vai desde o Acre até ao Maranhão (Cochrane *et al.*, 1999; Achard *et al.*, 2002; Wood, 2002; Cardille e Foley, 2003).

Nos últimos anos têm sido produzidas diversas estimativas de desflorestamento na Amazônia Legal, embora com algumas inconsistências relativas à área geográfica e

incidência sobre tipo de vegetação (Skole e Tucker, 1993; Fearnside, 1993; INPE, 2002). Inconsistências relativas à delimitação geográfica da AML são potenciais causas de incorretas estimativas do grau de desflorestamento (Fearnside, 1993; Cardille e Foley, 2003). Outro problema relaciona-se com a inclusão ou não de desflorestamento ocorrido em zonas consideradas de cerrado, sistematicamente ignorado, porém com magnitude, muitas vezes, comparado como semelhante ou superior ao desflorestamento ocorrido em áreas ocupadas com floresta tropical perenifólia (Fearnside, 1993; Nepstad *et al.*, 1997; Kaimowitz e Smith, 2001). A inclusão das áreas de floresta secundária (regeneração) na classe de desflorestamento ou na respectiva classe de vegetação tem sido outro parâmetro que tem contribuído nessa divergência de estimativas da taxa de desflorestamento na AML (Fearnside, 1993).

No Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), desde o ano de 1978, e realizado sistematicamente a avaliação do desflorestamento da AML com base em imagens do satélite Landsat. Contudo, as estimativas referem-se somente ao desflorestamento que tenha ocorrido em áreas previamente ocupadas por floresta tropical perenifólia. No início da década de 80, pesquisadores do INPE juntamente com os do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) fizeram uma avaliação de áreas desflorestadas da AML, por meio de interpretação visual de imagens do sensor Multispectral Scanner System (MSS) a bordo do satélite Landsat 3. Neste trabalho reportaram que o desflorestamento na AML tinha atingido o valor de 152.200 km<sup>2</sup> até 1978, estando também incluídas as áreas de desflorestamento antigo (anteriores a 1960) (Tardin *et al.*, 1980). A partir de 1988 foi reportada uma estimativa acumulada de 377.500 km<sup>2</sup>. No ano de 2005 pesquisadores do INPE reportaram um valor acumulado em torno de 700.000 km<sup>2</sup>.

A área média de desflorestamento tem sofrido alterações desde 1978. No período de 1978 a 1988 o desflorestamento foi de 21.130 km<sup>2</sup>/ano. Posteriormente, decresceu de forma sustentada até 11.130 km<sup>2</sup>/ano em 1991. De 1991 voltou a aumentar, atingindo o valor máximo de 29.059 km<sup>2</sup>/ano em 1995. Em seguida, voltou a decrescer até 1997, com 13.227 km<sup>2</sup>/ano, aumentando posteriormente até 18.226 km<sup>2</sup>/ano em 2000 (INPE, 2002). Em 2001–2002, 2002-2003, 2003-2004 e 2004-2005, a área desflorestada na Amazônia foi estimada em 21.205 km<sup>2</sup>, 25.151 km<sup>2</sup>, 27.429 km<sup>2</sup>, 18.793 km<sup>2</sup>, respectivamente, o que representou um substancial aumento comparado aos anos de

2000 e 2001, período que se verificou um desflorestamento de 17.000 km<sup>2</sup>/ano aproximadamente (INPE/PRODES, 2005). Conforme LAURANCE et al. (2004) este aumento tem sido provocado pela especulação imobiliária ao longo de novas rodovias e pelo crescimento da pecuária e da agroindústria, representada principalmente pela cultura da soja.

Skole e Tucker (1993) usaram imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM), do ano de 1988, para avaliar o desflorestamento em áreas previamente ocupadas por floresta tropical perenifólia na Amazônia Legal. Os autores estimaram um valor de 230.324 km<sup>2</sup>. Além disso, os autores determinaram também a extensão do desflorestamento em 1978, por meio de informação produzida pelo INPE e IBDF, e refinando a análise para definição exata da fronteira entre cerrado e floresta tropical perenifólia, obtiveram uma estimativa de 78.268 km<sup>2</sup>.

Mais recentemente Cardille e Foley (2003), usaram dados adquiridos de censos e de imagens de satélite, para determinar a distribuição e a extensão das atividades agropastoril entre 1980 e 1995 na AML (excluindo a parte inserida na bacia do Rio Paraguai e Parnaíba). Nesta pesquisa os autores concluíram que a expansão desta atividade foi de 70.365 km<sup>2</sup>. Segundo ainda os autores, esta expansão resultou de um aumento de 8.028 km<sup>2</sup> da área de agricultura, uma redução de 84.275 km<sup>2</sup> na área de pastagem natural, e um aumento de 146.612 km<sup>2</sup> na área de pastagem plantada.

Por outro lado, existe evidência suficiente que aponta no sentido de uma rápida regeneração de floresta secundária, após o abandono de áreas desflorestadas, provocada por rebentamento de toixa, dispersão de sementes ou através do banco de sementes existente no solo (Uhl, 1987; Buschbacher *et al.*, 1988; Uhl *et al.*, 1988; Brown e Lugo, 1990; Mesquita *et al.*, 2001). A composição, estrutura, e biomassa das áreas regeneradas dependem, essencialmente, do tipo de uso do solo, da presença/ausência de fogo, e da fertilidade inicial do solo (Uhl, 1987).

Para os pequenos proprietários a regeneração é um obstáculo maior à continuação da atividade agrícola do que a diminuição de fertilidade do solo (Moran *et al.*, 1994). É nos estados do Maranhão e Pará que se verificam a maior taxa de regeneração de floresta secundária, associada as áreas que foram desflorestadas antes de 1960 (Lucas *et al.*, 2000).

Enquanto o desflorestamento contribui para o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, a regeneração de floresta secundária, pelo contrário, contribui para a fixação de carbono, o que torna importante quantificar sua quantificação e distribuição (Curran e Foody, 1994; Nepstad *et al.*, 1997).

A identificação, extensão e etapas da regeneração de floresta secundária na AML têm sido feitas por diversos autores com base em dados de detecção remota (e.g. Schroeder e Winjum, 1995; Fearnside, 1996; Lucas *et al.*, 2000). Verifica-se, no entanto, que a maior parte dos estudos relacionados com a caracterização da regeneração de floresta secundária na AML foram efetuados com dados do final da década de 80 e princípio da década de 90. Ao utilizar informação contida num mapa de ocupação do solo na América do Sul, obtido por Stone *et al.* (1994), para o período 1988-1991, através de interpretação de imagens do sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) a bordo dos satélites National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Schroeder e Winjum (1995) estimaram em 151.000 km<sup>2</sup> a área de regeneração na AML.

Fearnside (1996), usando a matriz de Markov de probabilidades de transição anuais, determinou que aproximadamente 47,6% (195.170 km<sup>2</sup>) da área desflorestada até 1990 era floresta secundária regenerada. Lucas *et al.* (2000) usaram dados NOAA AVHRR do período 1991-1994, e estimaram 157.973 km<sup>2</sup>, como áreas regeneradas.

A identificação, extensão, e etapas da regeneração de floresta secundária na AML têm sido feitas por diversos autores com base em dados de detecção remota (e.g. Schroeder e Winjum, 1995; Fearnside, 1996; Lucas *et al.*, 2000). No entanto, a maior parte dos estudos relativos a caracterização da regeneração de floresta secundária na AML tem sido efetuada com dados do final da década de 80 e princípio da década de 90. Schroeder e Winjum (1995) usaram a informação contida num mapa de ocupação do solo na América do Sul, obtido por Stone *et al.* (1994) com base em dados do período 1988-1991 do sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) a bordo dos satélites National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), e estimaram em 151.000 km<sup>2</sup> a área de regeneração na AML.

## **2.2 - Estimativa de áreas desflorestadas na Amazônia Legal**

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, desde a década de 70, vem realizando a avaliação de áreas desflorestadas na Amazônia Brasileira. Esta atividade iniciou com o convênio entre o INPE e o IBDF, atualmente IBAMA, no final dos anos 70. Na época foram utilizadas as imagens do MSS a bordo do Landsat.

Durante a vigência do convênio foram realizados dois levantamentos, através da interpretação de imagens adquiridas nos períodos de 1973-1975 e 1975-1978. A partir do ano de 1988, foi criado o Projeto denominado PRODES (Projeto de Desmatamento) e no INPE passou a fazer os levantamentos de áreas desflorestadas anualmente. A partir dessa etapa os dados MSS foram substituídos por imagens do sensor mapeador temático (TM) a bordo do Landsat, o que trouxe uma melhoria na precisão do mapeamento, em consequência de uma melhor resolução espectral (6 bandas no visível, infravermelho próximo e uma no infravermelho médio) e espacial (30m x 30m), quando comparados aos dados MSS (4 bandas no visível e infravermelho próximo e 80 m de resolução espacial).

Até o final da década de 90 do século passado, a metodologia de mapeamento das áreas desflorestadas era fundamentada na interpretação visual das imagens Landsat e os resultados eram digitalizados para totalizar o cálculo de áreas. Apesar de todos os cuidados na interpretação e do rigor da auditoria dos resultados, essa metodologia apresentou alguns problemas de ordem prática. Por exemplo, para garantir a fidelidade da estimativa dessas áreas, suas localizações eram prejudicadas, uma vez que as imagens em papel não apresentavam boa correção geométrica. Além disso, essa abordagem de interpretação não permitiu a formação de um banco de dados georreferenciado das áreas desflorestadas. Por essa razão, os resultados eram disponibilizados somente em formato de Tabelas.

No final da década de 90, utilizando imagens TM de 1997, iniciou o desenvolvimento de uma metodologia semi-automatizada, denominada de PRODES Digital (Shimabukuro et al., 1997; Shimabukuro et al., 1998; Duarte et al., 1999). Nesta metodologia a classificação das imagens TM fundamenta-se no emprego do modelo linear de mistura espectral (MLME), para a geração das imagens fração de vegetação, solo e sombra, conforme é discutido no item (3.2.4.1). Este modelo, além de reduzir o

volume de dados a serem analisados, gera imagens que realçam determinados alvos no terreno, por exemplo, a imagem fração vegetação realça as áreas de cobertura vegetal; a imagem fração solo realça as áreas desflorestadas e solos expostos; e a imagem sombra realça as áreas ocupadas pelos corpos d'água e áreas queimadas. As imagens obtidas por meio do MLME são segmentadas por meio de um algoritmo baseado no crescimento de regiões e classificadas através do método não supervisionado. Após a classificação é feito o mapeamento baseado numa legenda pré-estabelecida; e finalmente editadas para garantir a qualidade do mapa final do desflorestamento. Como pode ser visto o papel do interprete ainda é muito importante no desenvolvimento do projeto de estimativa de desflorestamento na Amazônia Brasileira.

As imagens do MSS e do TM possuem características espaciais que permitem fazer uma boa avaliação das áreas desflorestadas, no entanto, as características temporais (frequência de aquisição) desses dados não permitem a realização do seu monitoramento em períodos curtos, como é o requerido para uma ação governamental de fiscalização. Desta forma, as informações de áreas desflorestadas obtidas tanto no PRODES Analógico como no PRODES Digital não oferecem bases para ações coibitivas dos órgãos governamentais, porque são de efeito retardado, isto é, informa sobre o que aconteceu durante o ano.

Atualmente, com a disponibilidade dos dados do sensor MODIS/Terra ou MODIS/Aqua, com uma resolução temporal de cerca de 2 dias para a região amazônica, viu-se nestes produtos um potencial muito grande para aplicação no monitoramento das áreas desflorestadas em tempo quase real. Assim, foi criado o projeto denominado DETER (Detecção de áreas desflorestadas em tempo real), cuja metodologia herdada do PRODES Digital (Duarte et al., 1999; Shimabukuro et al., 1998) é aplicada nas imagens MODIS.

### **2.3 - Criação do Projeto DETER**

A criação do Projeto DETER foi uma consequência da experiência adquirida pela equipe envolvida nos Projetos PRODES Analógico e PRODES Digital, e pela disponibilidade de dados do sensor MODIS. Em outras palavras, o desenvolvimento do DETER foi somente uma questão de adaptação da metodologia que vinha sendo utilizada no PRODES Digital, que utiliza imagens TM do Landsat. No entanto, a

viabilidade desse sistema de alerta foi colocada em discussão em várias reuniões técnico-científicas, tais como Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (Belo Horizonte), Workshop do MODIS (Goiânia), Reunião científica do LBA (Fortaleza) e reuniões do GPTI (Brasília). Além disso, para o desenvolvimento desse sistema foram submetidas várias propostas de pesquisa para: OBTA/INPE (Projetos e atividades de pesquisa), CNPq (Edital Universal), FAPESP (Auxílio a Pesquisa) e SIPAM.

Para manter a consistência das metodologias do PRODES (Analogico e Digital), no DETER optou-se por usar imagens do MODIS com características espectrais semelhantes ao do TM Landsat, ou seja, imagens obtidas nas faixas espectrais do visível (vermelho) e do infravermelho próximo com resolução espacial de 250m, e do infravermelho médio (resolução de 500m e reamostrada posteriormente para 250m). Desta forma, o DETER se insere como uma atividade do Projeto PRODES, para monitorar áreas desflorestadas durante o ano, as quais serão computadas no final do ano pelo projeto PRODES Digital.

Dada essa característica de poder monitorar áreas desflorestadas ao longo do ano, o DETER apresenta uma grande potencialidade de fornecer informações para uma ação de fiscalização pelos Órgãos Governamentais. Por isso o Projeto foi considerado como uma das atividades do *Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Brasileira*, de responsabilidade de um *Grupo Permanente de Trabalho Interministerial (GPTI)*, coordenado pela Casa Civil e composto por mais treze ministérios (GPTI, 2004).

Durante o ano de 2004, o DETER foi executado utilizando os recursos computacionais e as imagens disponíveis e apresentou resultados confiáveis, conforme apresentado na reunião de avaliação do GPTI em agosto de 2004 (GPTI, 2004). Com isto, o projeto foi oficializado e está em operação desde 2005, o que atingiu aos objetivos previstos de fiscalização com a diminuição das áreas desflorestadas durante este período.

#### **2.4 - Sensor MODIS**

O Sistema de Observação da Terra – EOS é um projeto da NASA (National Aeronautics and Space Administration), que tem como objetivo realizar estudos sobre o planeta Terra. O Projeto compreende três grandes componentes: 1) colocar em órbita da Terra

uma série de satélites especialmente desenhados para estudar as complexidades das mudanças globais; 2) Configurar uma rede avançada de computadores, para processar, armazenar e distribuir os dados, denominados de EOSDIS; e 3) criar uma equipe de especialistas envolvendo cientistas de todos os continentes para analisar estes dados.

O primeiro satélite lançado para atender o projeto EOS foi o Satélite Terra, em dezembro de 1999, que começou a coleta de dados em fevereiro de 2000. O satélite passa pelo Equador as 10:30 h da manhã. Em maio de 2002 foi colocado em órbita terrestre o segundo satélite, denominado de Aqua, com horário de passagem pelo Equador as 13:30 h da tarde. Atualmente existem três outros satélites do projeto EOS em órbita, e 15 mais estão previstos para serem lançados nos próximos quatro anos. Juntos, estas plataformas espaciais vão ajudar os cientistas a desvendar os processos climáticos e de mudanças ambientais e seus impactos.

Dentro do projeto EOS, o MODIS foi projetado para satisfazer os requerimentos de três campos de estudos diferentes: atmosfera, oceano e terra, com resolução espectral e espacial selecionadas para o conhecimento de diferentes necessidades observacionais e para oferecer uma cobertura global quase diariamente (Justice et al., 2002).

O INPE possui em Cuiabá-MT uma estação de recepção de dados do sensor MODIS, que cobre boa parte da América do Sul, inclusive toda a Amazônia brasileira. O sensor MODIS possui 36 bandas espectrais, sendo 2 com resolução espacial de 250 m, 5 com 500 m e 29 com 1000m no nadir, cobrindo faixa de 2330 km de largura. O PRODES utiliza as bandas 3 (0,63 - 0,69  $\mu\text{m}$ ), 4 (0,76 - 0,90  $\mu\text{m}$ ) e 5 (1,55 - 1,75  $\mu\text{m}$ ) do TM Landsat que correspondem as bandas 1 (0,62 - 0,67  $\mu\text{m}$ ), 2 (0,841 - 0,876  $\mu\text{m}$ ) e 6 (1,628 - 1,652  $\mu\text{m}$ ) do MODIS. As bandas 1 e 2 possuem resolução espacial de 250 m, porém a banda 6 possui resolução de 500 m sendo necessário uma reamostragem para 250m.

#### **2.4.1 - Resolução radiométrica dos dados MODIS**

A seleção das bandas espectrais do sensor MODIS, para o monitoramento da superfície terrestre, pode ser considerada como uma herança do TM/Landsat. Em outras palavras, foram definidas de acordo com os conhecimentos adquiridos na missão TM/Landsat, com capacidades melhoradas tanto nos menores comprimentos de onda quanto no

infravermelho (Justice et al., 1998). Uma lista das principais características do MODIS, para o sensoriamento remoto da superfície terrestre pode ser vista na Tabela 2.1.

TABELA 2.1 - Características gerais do MODIS para o Sensoriamento Remoto da superfície da Terra.

Órbita	705 km, Sol-síncrono, quase polar descendente, cruzando o equador as 10:30 h (horário local) – horários específicos de passagem podem ser encontrados no site: <a href="http://www.earthobservatory.nasa.gov/MissionControl/overpass.html">www.earthobservatory.nasa.gov/MissionControl/overpass.html</a>
Largura da faixa	2330 km ± 550 em cross-track.
Bandas espectrais	36 bandas, entre 0,405 e 14,385µm com subsistemas de calibração a bordo.
Calibração espectral	Banda 1-4, 2% para refletância Banda 5-7, sob investigação
Resolução radiométrica	12 bits
Resolução espacial no nadir	250 m bandas 1 e 2; 500 m nas bandas 3 a 7 e 1000 m nas bandas 8 a 36.
Período de Revisita	Diariamente para latitudes acima de 30° A cada dois dias para latitudes inferiores a 30°
Precisão da grade de geolocalização	Dentro de 150 m (1 sigma) no nadir
Registro banda a banda, para as bandas de 1-7	Dentro de 50 m ao longo da faixa de imageamento Dentro de 100 m ao longo da direção de imageamento

FONTE: Adaptada de Justice et al. (2002).

A resolução radiométrica e suas aplicações para o monitoramento da superfície terrestre podem ser observadas na Tabela 2.2. De acordo com Strahler et al. (1995) o sensor MODIS fornece uma alta sensibilidade radiométrica, específica para as necessidades da comunidade científica, com uma excelente resposta para cada banda.

TABELA 2.2 - Resoluções radiométricas do sensor MODIS para as bandas de estudo da superfície terrestre.

Uso preliminar	Bandas	Largura da banda (nm)	Radiância espectral (W/m <sup>2</sup> -nm-sr)
	1	620-670	21.8
Terra/ Nuvens / Limites de aerossóis	2	841-876	24.7
	3	459-479	35.3
	4	545-565	29
Terra/ Nuvens/ Propriedade de aerossóis	5	1230-1250	5.4
	6	1628-1652	7.3
	7	2105-2155	1

FONTE: Adaptada do site <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specs.html>

## 2.4.2 - Resolução espacial e temporal do MODIS

A interpretação correta de informação científica desde produtos globais, até os produtos em séries temporais requer habilidade para discriminar entre artefatos da aquisição e os processos de mudanças na Terra que estão sendo monitorados.

As bandas do MODIS, para o estudo da superfície terrestre (land bands), possuem resolução espacial de 250 m (para as bandas do vermelho e infravermelho próximo) e 500 m (para a banda do azul, verde e infravermelho médio), que são valores nominais para pixels ao nadir. No limite da largura da área imageada (swath), os pixels crescem com um fator de 2 vezes na direção ao longo da linha de imageamento (along-track) e de um fator de 5 vezes na direção através da linha de imageamento (cross-track) (Figura 2.1). Além disso, o erro de geolocalização é computado no centro de cada pixel, que é devido a incertezas no conhecimento de localização da plataforma e da sua orientação (Justice et al., 2002).

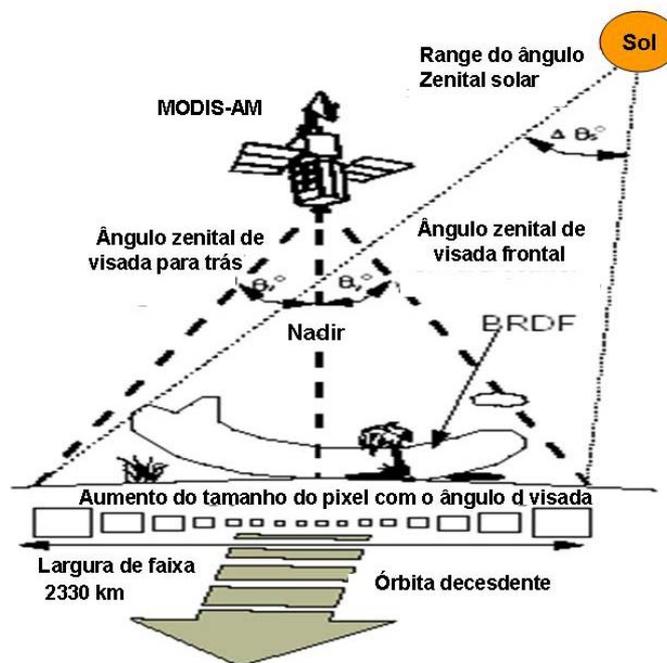


FIGURA 2.1 - Representação esquemática da varredura do MODIS, mostrando o aumento no tamanho dos pixels com a variação do ângulo de visada. FONTE: adaptada de van Leeuwen et al. (1999).

As melhores estimativas correntes de pontuação de erro são de mais ou menos 85 metros na direção along-track e mais ou menos 153 metros na direção cross-track (MODIS geolocation workshop, 8/8/96, GSFC). Existem três desvios padrões (3 sigma)

de valores projetados no nadir, que crescem com o aumento do ângulo de visada em uma moda similar ao tamanho do pixel. Erros de geolocalização, junto com o crescimento do tamanho dos pixels, geram um EIFOV (effective instantaneous field of view), o que significa que embora o sensor seja projetado para ter uma determinada resolução espacial nominal efetiva, esta é geralmente pior do que a resolução da projeção geométrica do detector. Na superfície terrestre (Figura 2.2) é de 1087 metros na direção ao longo da linha imageada e de 1591 metros na direção ao longo da faixa imageada, para uma seqüência composta de medições da base de dados com dado de entrada (input) de 32 dias para a cobertura da terra. O EIFOV não inclui a névoa óptica ou espalhamento do instrumento, e esta é uma estimativa conservada da resolução espacial efetiva.

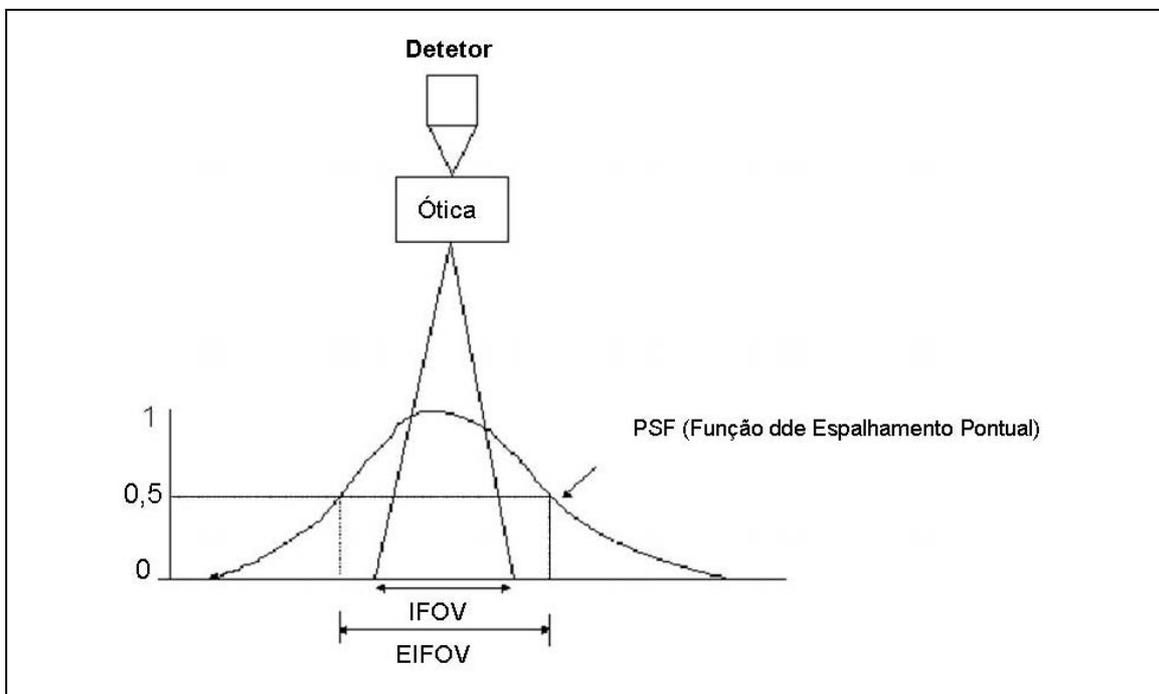


FIGURA 2.2 - Representação da resolução nominal (IFOV) e da representação da resolução efetiva (EIFOV). FONTE: Material de aula, disponível no site: [www.dpi.inpe.br/~leila/ser437/pdi1-introd.PDF](http://www.dpi.inpe.br/~leila/ser437/pdi1-introd.PDF)

Na Tabela 2.3 pode ser visto a comparação entre as resoluções espaciais dos sensores ETM+ e MODIS.

TABELA 2.3 - Comparação entre as resoluções espaciais dos sensores ETM+ e MODIS.

Bandas/Resolução Espacial	ETM+	MODIS
Azul	30 m	500 m
Verde	30 m	500 m
Vermelho	30 m	250 m
Infravermelho próximo	30 m	250 m
Infravermelho médio	30 m	500 m
Infravermelho termal	60m	1000m

FONTE: Adaptada do website: [www.earthobservatory.nasa.gov](http://www.earthobservatory.nasa.gov)

## 2.5 - Sensor WFI

O WFI (Wide Field Imager) é um sistema sensor a bordo do satélite CBERS-2, colocado em órbita terrestre em 21 de outubro de 2003, partindo do Centro de Lançamento de Taiyuan, na China. O horário do lançamento foi às 11:16h (horário de Pequim), o que corresponde a 1:16h em Brasília.

O satélite é composto por dois módulos. Um é a “carga útil”, onde são acomodadas as 3 câmeras (CCD – Câmera Imageadora de Alta Resolução (20 m), IRMSS – Imageador por Varredura de Média Resolução (80m e 160m no termal) e o WFI – Câmera Imageadora de Amplo Campo de Visada (resolução espacial de 260m) e o Repetidor para o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais. O outro é o “serviço”, que contém os equipamentos que asseguram o suprimento de energia, os controles, as telecomunicações e demais funções necessárias à operação do satélite.

Na Figura 2.3 é mostrado um esquema das faixas de imageamento no terreno de cada um dos três sensores (CCD, IRMSS e WFI) (INPE, 1995).

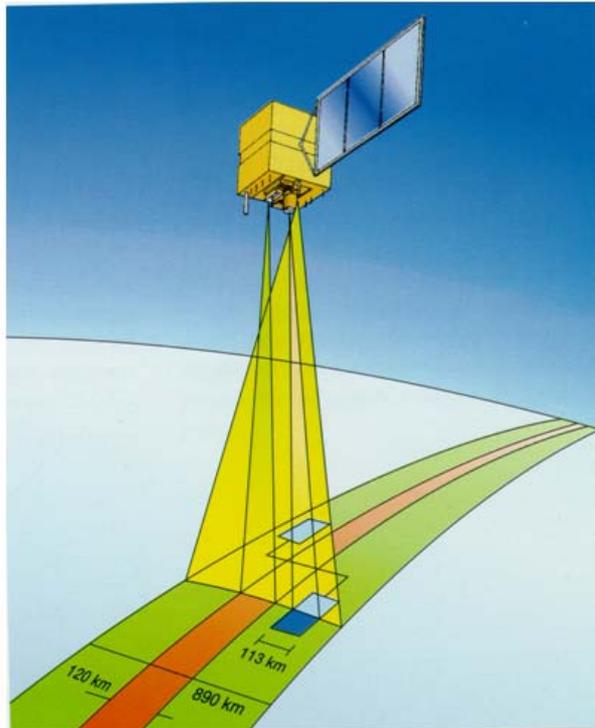


FIGURA 2.3 - Esquema do satélite CBERS para mostrar as larguras de faixas dos sistemas sensores.

O WFI produz imagens com uma largura da faixa de imageamento de 890 km, permitindo obter carta-imagem com resolução espacial de 260 m. No período aproximado de cinco dias obtém-se uma cobertura completa do globo. O WFI opera em duas faixas espectrais do espectro eletromagnético, ou seja, bandas 1 (0,63 - 0,69  $\mu\text{m}$ ) e 2 (0,77 - 0,89  $\mu\text{m}$ ). Na Figura 2.4 é apresentada um foto do sensor WFI e uma imagem em composição colorida, sobre a qual pode ser vista a represa de Itaipu.

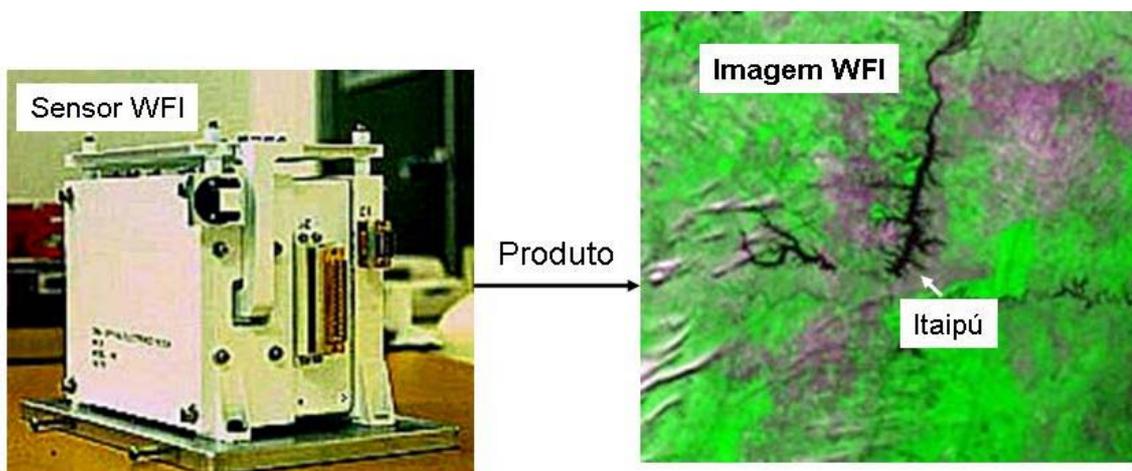


FIGURA 2.4 – Sensor WFI e uma imagem colorida mostrando a represa de Itaipu.  
 FONTE: [http://www.cbears.inpe.br/pt/programas/cbers1-2\\_cameras.htm](http://www.cbears.inpe.br/pt/programas/cbers1-2_cameras.htm)

## 2.6 - Sensor MERIS

O sensor MERIS foi lançado em março de 2002 pela Agência Espacial Européia (ESA) a bordo do satélite de observação da Terra ENVISAT. O satélite ENVISAT de órbita polar fornece medidas da atmosfera, oceanos, continentes e gelo. Este satélite possui uma carga útil capaz de apoiar programas científicos e monitoramentos ambientais. Potencialmente, os dados coletados pelos diferentes sensores a bordo do ENVISAT podem facilitar o desenvolvimento de aplicações operacionais e comerciais (Kampel e Novo, 2004).

O sensor MERIS é um espectrômetro imageador do tipo pushbroom com ângulo de visada de 68,5° que mede a radiação refletida pela Terra, com resolução espacial de 300m (para regiões limitadas) e 1,2 km em base global, em 15 bandas espectrais, programáveis em largura e posição, nas faixas do visível e infravermelho-próximo (390 a 1040 nm). O MERIS obtém uma cobertura global da Terra em 3 dias (Kampel e Novo, 2004). As características gerais do sensor MERIS estão resumidas na Tabela 2.4.

TABELA 2.4 – Características gerais do sensor MERIS.

<b>Amplitude espectral</b>	390 – 1040 nm
<b>Resolução espectral</b>	1,8 nm
<b>Resolução espacial (FR)</b>	300m no nadir
<b>Resolução espacial reduzida (RR)</b>	1.200 m
<b>Largura de faixa imageada</b>	1.150 km
<b>Campo de visada</b>	68,5°
<b>Acurácia radiométrica</b>	< 2% do sinal detectado, em relação ao sol
<b>Amplitude dinâmica</b>	Até albedo 1,0
<b>Capacidade de transmissão de bandas</b>	15 bandas espectrais programáveis

FONTE: Kampel e Novo (2004)

A Tabela 2.5 mostra a comparação das características dos sensores MERIS e MODIS.

TABELA 2.5 – Principais características dos sensores orbitais MERIS e MODIS.

	<b>MERIS</b>	<b>Terra MODIS</b>
<b>Plataforma</b>	Envisat	Terra
<b>Agência</b>	ESA	NASA
<b>País</b>	Europa	EUA
<b>Início Operação</b>	03/2002	02/2000
<b>Inclinação (graus)</b>	98,5	98,2
<b>Cruzamento Equador (h)</b>	10:00	10:30
<b>Altitude (km)</b>	800	705
<b>Resolução (km)</b>	1,2/0,3	1
<b>Resolução radiométrica</b>	12 bits	12 bits
<b>Resolução temporal</b>	3 dias	1 dia
<b>Largura de Faixa (km)</b>	1150	2330

FONTE: adaptado de Kampel e Novo (2004)

A Tabela 2.6 mostra a comparação das bandas espectrais do sensor MERIS com as correspondentes do sensor MODIS na região do visível e infravermelho próximo.

TABELA 2.6 – Bandas espectrais correspondentes dos sensores orbitais MERIS e MODIS, comprimentos de onda centrais de cada canal ( $\lambda$  nm) e largura total das bandas (nm).

MERIS		MODIS	
$\lambda$ Central	Largura	$\lambda$ Central	Largura
412.5	10	412	15
442.5	10	443	10
490	10	488	10
510	10	531	10
560	10	551	10
620	10	667	10
665	10	678	10
681	7,5	748	10
709	9	870	15
779	14	469	20
870	20	555	20
890	10	645	50
900	10	858	35

FONTE: adaptado de Kampel e Novo (2004)

## CAPÍTULO 3

### MATERIAL E MÉTODO

#### 3.1 - Localização da Área de Estudo

A Amazônia Legal (AML), unidade administrativa do Brasil, engloba a totalidade dos Estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins, e parcialmente o Estado do Maranhão (a oeste do meridiano 44° W), totalizando aproximadamente 5.000.000 km<sup>2</sup> (IBGE, 2000), entre 5° N e 20° S (latitude) e 44° W e os 75° W (longitude). Com exceção da região Sul do Estado do Mato Grosso, integrada na bacia do Rio Paraguai, e de parte do Estado do Maranhão, pertencente à bacia do Rio Parnaíba, a restante área da AML está incluída na bacia do Rio Amazonas (Figura 3.1).

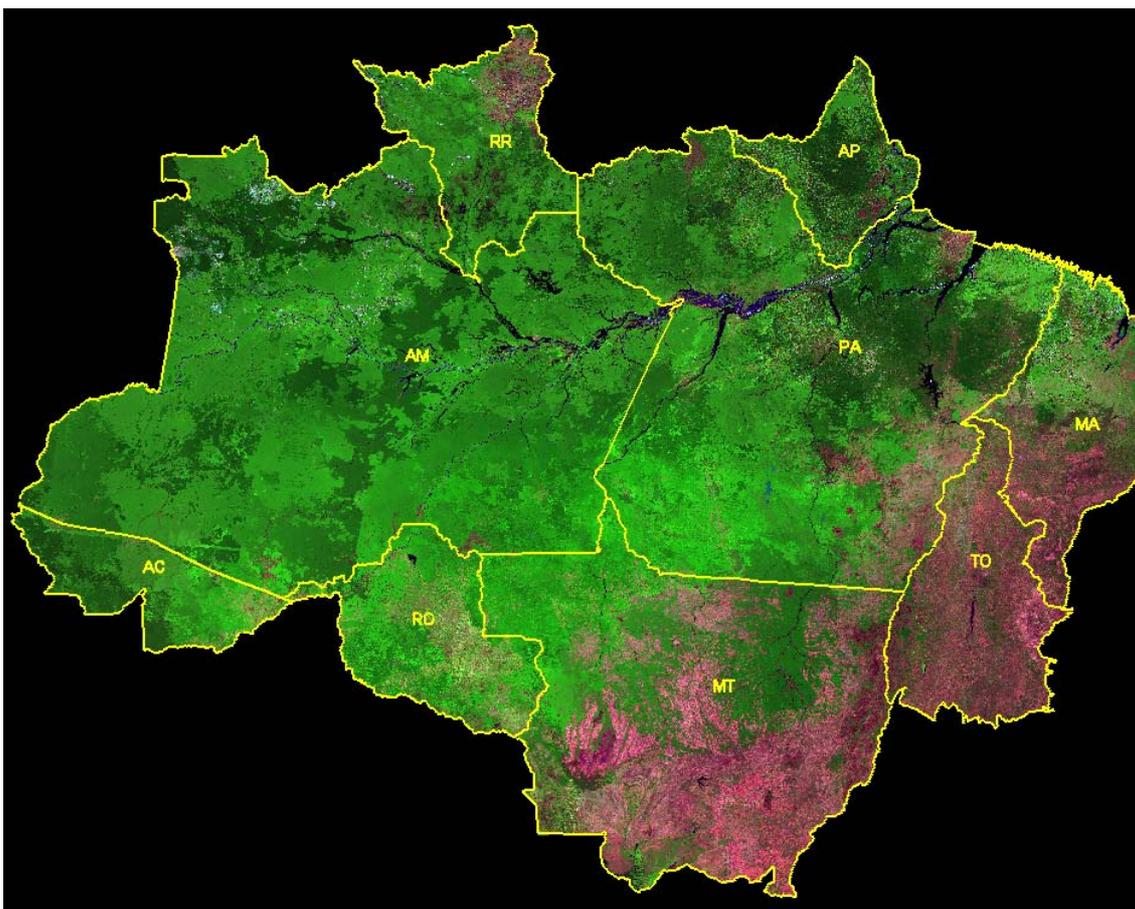


FIGURA 3.1 – Mosaico de 13 a 28 de agosto de 2005. R(MIR), G(NIR) e B(Red), paramostrar a área de estudo do Projeto DETER.

### 3.2 - Metodologia

A figura 3.2 apresenta o fluxograma do Projeto DETER.

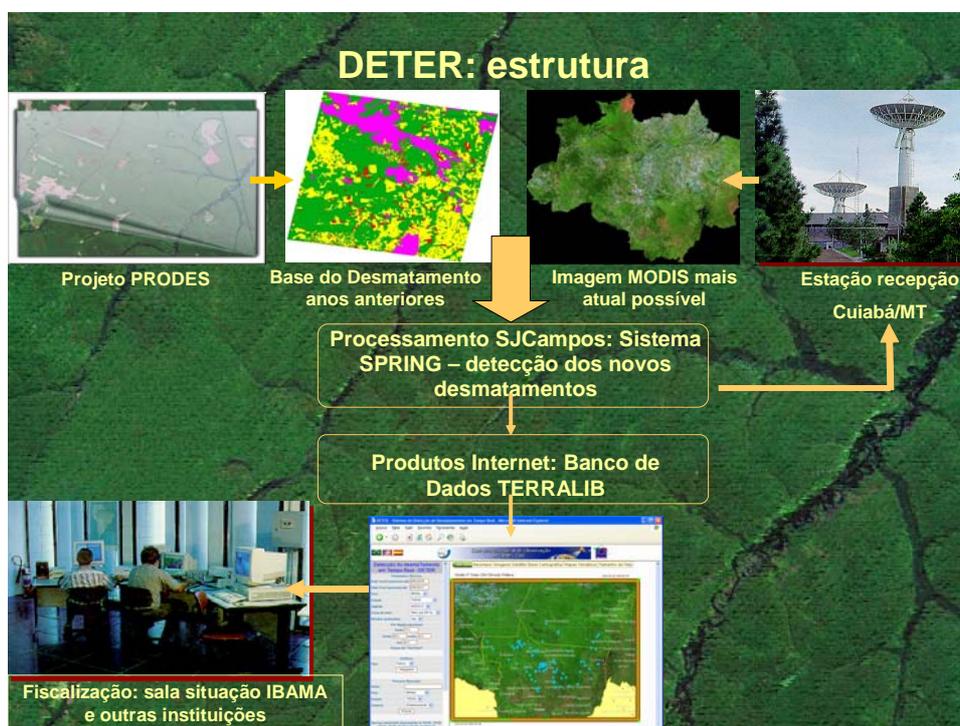


FIGURA 3.2 – Fluxograma do projeto DETER.

O mapa base inicial para o projeto DETER, isto é, a referência das áreas desflorestadas do ano anterior, é obtido a partir dos dados do Projeto PRODES Digital. Este procedimento é feito para garantir que áreas desflorestadas em anos anteriores não sejam incluídas como desflorestamentos novos do ano em estudo.

O mapa de desflorestamento, juntamente com as áreas de não-florestas (áreas cuja fisionomia não é considerada como formação florestal), serve para gerar uma máscara, que ao sobrepô-la às imagens MODIS pode assim bloquear áreas sem interesse para realizar o monitoramento. Esse procedimento evita, por exemplo, classificar áreas desflorestadas anteriormente ou áreas tidas como não-florestas, como é o caso de áreas desflorestadas na classe fisionômica Cerrado. Além disso, diminui consideravelmente a extensão que será analisada, uma vez que conterà somente a área de floresta primária e os possíveis novos desflorestamentos. Na Figura 3.3 é mostrada a área da Amazônia Legal, que é considerada no DETER, sobreposta pela máscara, gerada através de dados do PRODES e complementação de regiões não mapeadas anteriormente.

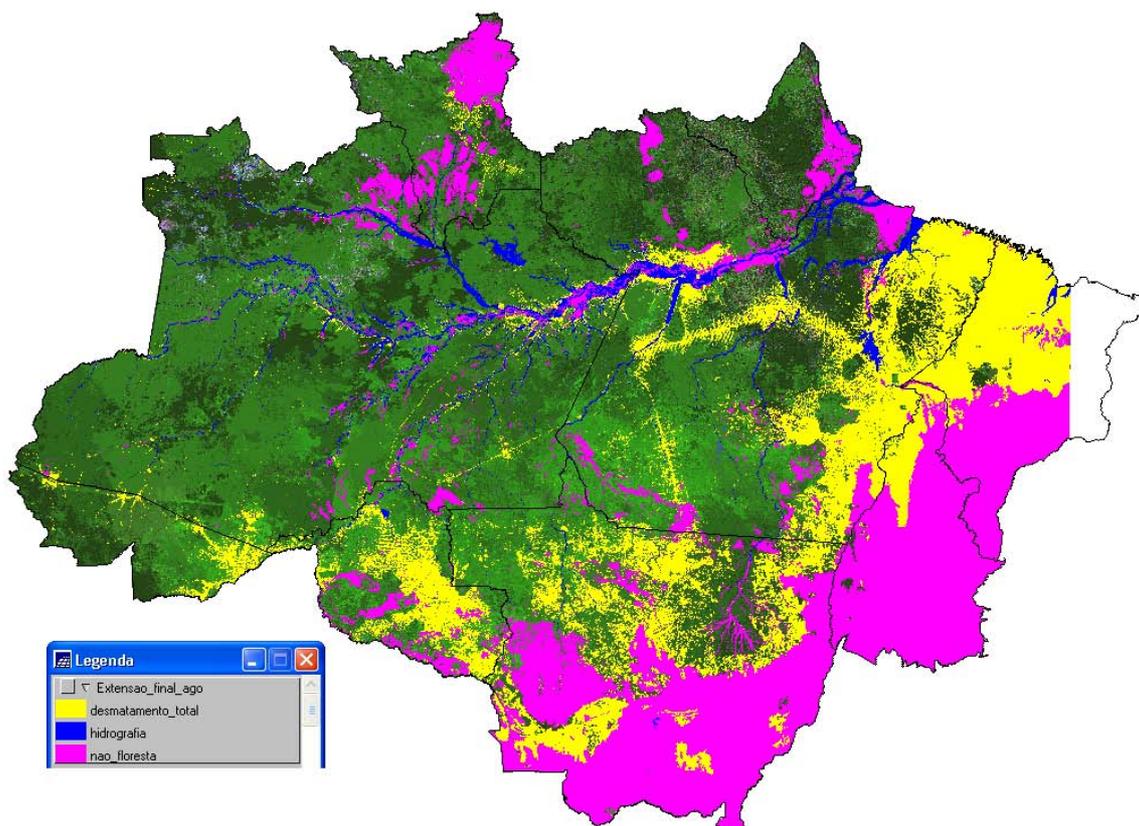


FIGURA 3.3 – Mosaico de imagem MODIS da Amazônia Legal, obtidos entre as data de 13 a 28 de agosto de 2005, com a superposição da extensão do desmatamento total histórico proveniente do projeto PRODES Digital e sua respectiva legenda.

### 3.2.1 - Estruturação do Banco de Dados Georreferenciado

No início dos trabalhos do projeto DETER foi criado um banco de dados georreferenciado para toda região da Amazônia Legal, na projeção Polyconic/SAD69, em que o box da área de trabalho esta compreendido entre as coordenadas geográficas (44<sup>0</sup> 00' 00''W a 74<sup>0</sup> 00' 00''W) de longitude e (08<sup>0</sup> 00' 00''N a 20<sup>0</sup> 00' 00''S) de latitude. Neste banco, além das imagens MODIS, são também inseridos os mapas temáticos oriundos do PRODES Digital com as seguintes classes: floresta, não-floresta, hidrografia, desmatamento total.

### 3.2.2 - Seleção das imagens MODIS

Além da verificação da cobertura de nuvens existente nas imagens, duas outras características inerentes às imagens do sensor MODIS são consideradas para a sua seleção. Primeiramente, foi criada uma rotina para que as imagens diárias (MOD09) do MODIS, disponibilizadas pela NASA, sejam capturadas assim que estejam disponíveis.

Esta disponibilidade das imagens não possui um prazo fixo, podendo variar de 3 a 11 dias após a passagem do satélite. Essas imagens são disponibilizadas no formato HDF, na projeção *integerized sinusoidal* e divididos em *tiles*. Após a aquisição dos *tiles* é gerado o mosaico da Amazônia no formato *geotif* e uma imagem colorida de baixa qualidade (Figura 3.4A) para uma análise preliminar. Após selecionar as datas escolhidas na análise preliminar, é necessária a seleção nas imagens de alta resolução, como pode ser observado na Figura 3.4B, a presença de pequenas nuvens que não aparecem nas imagens de baixa qualidade.

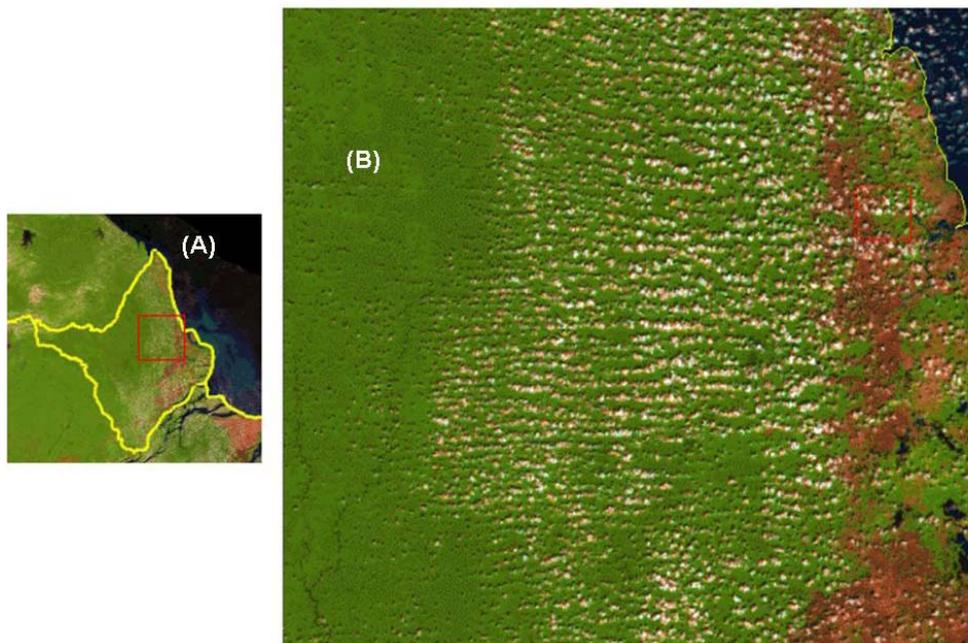


FIGURA 3.4 – Imagens MODIS no momento da seleção (A) e ampliada para análise da porcentagem de nuvens (B).

Na operação do projeto DETER existe uma análise prévia de todas as imagens diárias do MODIS. As imagens diárias apresentam melhor qualidade visual do que os mosaicos de 16 dias portanto mais adequadas para a detecção de áreas desflorestadas. A segunda característica das imagens observadas para sua seleção é quanto à centralidade da área de interesse, que possuem melhor qualidade visual, devido a distorção panorâmica que atingem os elementos da imagem que se encontram nas bordas das varreduras, conforme a Figura 3.5.



FIGURA 3.5 - Largura da faixa de uma imagem diária do MODIS, além da grade contendo os limites dos Estados (linha vermelha).

No caso da imagem da Figura 3.5 a interpretação é feita somente nos estados que estão centralizados. Contudo, quando não é possível obter imagens diárias para algumas áreas, a alternativa é utilizar o mosaico MODIS de 16 dias.

### 3.2.3 - Georreferenciamento das Imagens MODIS

No DETER são utilizadas as imagens refletância de superfície (Produtos MOD09) que são disponibilizadas aos usuários já georreferenciada. Para isso, antes de serem colocadas disponíveis aos usuários, os dados do sensor MODIS passam por diferentes fases de processamento e são classificados em função do níveis de processamento, como mostra a Tabela 3.1.

TABELA 3.1 – Níveis de processamento do MODIS.

<b>Nível de Processamento</b>	<b>Definição</b>
<b>Level 0</b>	Dados brutos reconstruídos na resolução total, todas as informações de comunicação removidas.
<b>Level 1</b>	Dados de nível 0 são referenciados pela hora e adicionados informações subsidiárias, incluindo coeficientes de calibração geométrica e radiométrica, e informação de geolocalização.
<b>Level 2</b>	Variáveis geofísicas derivadas na mesma resolução e localização dos dados de nível 1.
<b>Level 3</b>	Variáveis mapeadas em grades de espaçamento uniforme, normalmente completa e consistente.
<b>Level 4</b>	Saídas de modelo ou resultados de análises dos dados de níveis mais baixos.

Os processamentos dos dados MODIS são realizados por meio de programas disponibilizados pela NASA, em que a geolocalização é um produto obtido na conversão do nível 0 para o nível 1.

A precisão da geolocalização prevista no lançamento seria de aproximadamente 150 m, com o objetivo de se chegar a 50 m no nadir. Segundo Wolfe (2002), após 3 anos de operação do Terra/MODIS essa precisão é de aproximadamente 50 m e para o Aqua/MODIS é de aproximadamente 65 m. Os programas utilizam dados de Modelos Digital de Elevação (MDE) para remover distorções causadas pelo terreno. Nestas condições as imagens podem ser inseridas diretamente no SPRING sem a transformação em GRIB no módulo IMPIMA.

### **3.2.4 – Classificação dos dados MODIS**

A área de interesse do sistema de Alerta é toda a Amazônia Legal, i.e., o procedimento metodológico adotado no DETER consiste em monitorar a floresta primária para cada um dos estados da AML. No final é gerada uma tabela contendo as informações por estado e o desflorestamento total.

Uma vez selecionada a imagem, conforme discutido no item 3.2.2, é feito o recorte da área de interesse, ou melhor, a área dos estados que encontram no centro da imagem. Sobre a área de estudo é sobreposta a máscara para bloquear a área que não tem interesse de ser analisada. Com esse procedimento seleciona-se apenas a área útil, ou



$x_j$  - o valor de proporção da  $j$ ésima componente no pixel;

$e_i$  - o erro para a  $i$ ésima banda espectral;

$j = 1, 2, \dots, n$  ( $n$  = número de componentes assumidos para o problema);

$i = 1, 2, \dots, m$  ( $m$  = número de bandas espectrais para o sistema sensor).

O modelo assume que as radiâncias espectrais dos pixels são combinações lineares das radiâncias espectrais dos componentes dentro do pixel. Para resolver este modelo, é necessário ter a refletância espectral composta para o pixel ( $r_i$ ) e a refletância espectral de cada componente ( $a_{ij}$ ) se os valores de proporção vão ser estimados, ou vice versa.

#### **3.2.4.2 - Imagens Fração**

As imagens fração (Figura 3.6) são os produtos gerados pelos algoritmos dos modelos de mistura espectral (Shimabukuro e Smith, 1991). Em geral, todos os algoritmos produzem o mesmo resultado quando as equações de restrição não são consideradas. Normalmente são geradas as imagens fração de vegetação, solo e sombra/água que são os alvos geralmente presentes em qualquer imagem. As imagens fração podem ser consideradas como uma forma de redução da dimensionalidade dos dados e, também, como uma forma de realçamento das informações. Além disso, o modelo de mistura espectral transforma a informação espectral em informação física (valores de proporção das componentes no pixel). A imagem fração vegetação realça as áreas de cobertura vegetal; a imagem fração solo realça as áreas de solo exposto; enquanto que a imagem fração sombra/água realça as áreas ocupadas com corpos d'água (rios, lagos, etc.) e também áreas de queimadas, áreas alagadas, etc. Considera-se como imagem fração sombra ou água, porque esses dois alvos apresentam respostas espectrais semelhantes.

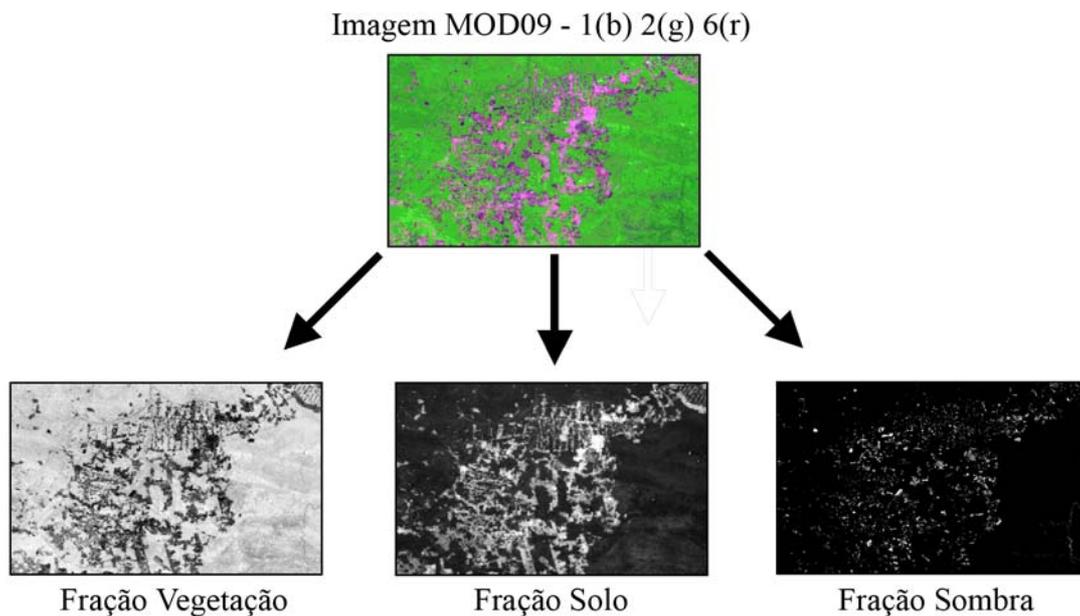


FIGURA 3.6 - Imagens fração de solo, sombra e vegetação geradas a partir de imagem MOD09 de 10 de outubro de 2005.

### 3.2.4.3 - Classificação da Imagem Fração Solo

Após obter as imagens fração (vegetação, solo e sombra) é feita a classificação da imagem solo. A razão do uso da imagem solo é uma consequência das experiências adquiridas no Projeto PRODES Digital, que mostrou ser esta imagem mais eficiente para identificar novas áreas desflorestadas. Além disso, emprega-se a mesma abordagem de classificação adotada no Projeto PRODES, ou seja, uma abordagem não-supervisionada, por meio do algoritmo ISOSEG. Antes de aplicar o ISOSEG é feita uma segmentação e a extração de regiões.

A segmentação da imagem fração solo é realizada por meio do segmentador de crescimento por regiões, implementado no aplicativo SPRING. Tem como objetivo gerar polígonos espectralmente homogêneos. O emprego desse segmentador requer a definição de dois limiares: a) o limiar de similaridade, limiar mínimo abaixo do qual duas regiões são consideradas similares e agrupadas em uma única região; e b) o limiar de área, valor mínimo de área dado em número de pixels, para que uma região seja individualizada. No caso do projeto DETER definiu-se como limiares os valores 8 e 4 para similaridade e área, respectivamente.

Uma vez realizada a segmentação, o passo seguinte é criar um arquivo de contexto, onde são armazenadas as seguintes informações: a) tipo de classificação por regiões; b) bandas ou imagens utilizadas; e c) imagem segmentada. Em seguida é feita a extração das regiões, em que o algoritmo extrai os atributos estatísticos (médias e matrizes de covariância) do conjunto de regiões definido na fase de segmentação. Realizada a extração de regiões aplica-se a classificação não supervisionada, através do classificador ISOSEG. No ISOSEG a classificação é feita com base num limiar de aceitação, que pode assumir quaisquer valores fixados pelo analista dos dados. Em geral, aplica-se a classificação com um limiar de aceitação de 95%. No entanto, o limiar não deve ser fixo, pois depende de cada caso em particular.

Após a classificação da imagem segmentada é feito o mapeamento, que consiste em associar cada uma das classes temáticas a uma classe de uso e ocupação do solo, que foram definidas anteriormente no banco de dados digitais da Amazônia, ou seja, as classes temáticas: floresta, não-floresta, hidrografia, desmatamento total, desmatamento diário, desmatamento mensal).

Obtido o mapa temático, o passo seguinte consiste de uma fase interativa em que o interprete procede um ajuste nos resultados obtidos na classificação. Em outras palavras, sabe-se que por melhor que seja o treinamento do classificador ou a segmentação, os resultados obtidos sempre apresentam erros de classificação, os quais são inerentes a uma série de fontes, dentre elas pode-se citar: semelhanças de respostas espectrais de alvos diferentes, escolha dos limiares de similaridade e área mínima na fase de segmentação. Para corrigir estes erros de classificação, um dos métodos empregados é a edição matricial, que foi implementado no SPRING, a qual será descrita no item a seguir.

#### **3.2.4.4 - Edição Matricial**

A edição matricial foi criada com o intuito de eliminar erros de classificação, através da edição de áreas, em determinadas classes, que não foram classificadas, correção dos limites dos polígonos temáticos e troca de uma classe temática por outra que foi classificada erroneamente. Em outras palavras, permite ao interprete interagir nos resultados da classificação diretamente na tela do computador, como se tivesse realizando uma interpretação visual numa imagem no formato analógico. Desta forma,

pode-se dizer que a edição matricial modernizou os procedimentos de interpretação visual, uma vez que, não há mais necessidade de utilizar lapiseira, mesa de luz e overlay. Além disso, permitiu empregar o computador para realizar a maior parte da interpretação dos dados, que é feito de maneira mais rápida e evita o armazenamento de imagens no formato de papel.

A grande diferença observada no procedimento de edição matricial e de edição vetorial é que, na edição matricial o intérprete executa as correções de erros de classificação sobre o dado matricial e não sobre os dados vetoriais. Quando a edição é feita sobre os dados vetoriais, o intérprete necessita executar o procedimento de ajuste de linhas e poligonalização, etapas estas que não acontecem na edição matricial. Isto reduz o tempo de computação. No caso da edição matricial os polígonos mapeados são aceitos ou reclassificados em outras categorias de uso da terra, segundo a decisão e experiência do intérprete. Essa checagem de polígonos classificados é feita usando como superfície de fundo uma imagem colorida (sintética) sob o mapa temático. Para visualizar a imagem de fundo, usa-se como mapa classificado apenas as linhas dos polígonos, ou seja, o mapa classificado, representado na forma vetorial. Se preferir trabalhar com a classe temática ativa ao invés das linhas dos polígonos pode-se fazer carregando na tela dois do SPRING e ativando intermitentemente, para visualizar a classe e a imagem sob ela.



## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

A metodologia do DETER é aplicada para cada um dos estados que compõe a AML. Assim, é apresentada e discutida com os resultados do projeto DETER, realizado para toda Amazônia Legal durante o período de agosto de 2004 a agosto de 2006. Também são apresentados resultados preliminares de estudos que mapearam cicatrizes de queimadas no Estado do Acre utilizando dados MODIS de 2005. Além disso, foi analisada uma imagem MERIS do ENVISAT para a detecção de áreas desflorestadas e áreas queimadas na região da BR-163 no Estado do Pará.

#### **4.1 - Áreas desflorestadas detectadas pelo DETER na Amazônia Legal no período de agosto de 2004 a agosto de 2006**

No banco de dado geográfico do Projeto DETER, inicialmente é introduzida a primeira imagem referente ao ano de 2005. A seguir, o mapa do PRODES referente ao ano de 2004 é superposto a esta imagem, com o objetivo de mascarar as áreas já desflorestadas e as áreas de não floresta para separar as áreas de floresta a serem analisadas. Adotando esta estratégia metodológica, foram obtidas e classificadas imagens com menores porcentagens de nuvens de datas posteriores ao dia 25/01/2005, sendo também utilizados mosaicos de 8 dias de imagens, as quais são mostradas na Tabela 4.1 e os resultados deste monitoramento para o ano de 2005 e 2006 encontram-se nas Tabelas 4.2 e 4.3, respectivamente.

TABELA 4.1 - Datas de aquisição de imagens MODIS durante o período de janeiro/2005 a agosto/2006).

<b>Data base</b>	<b>Datas de obtenção das imagens MODIS</b>
Dezembro / 2004	25/01 a 01/02/2005 18/02 a 25/02/2005 22/03 a 29/03/2005 07/04 a 14/04/2005 13/04/2005 23/04 a 30/04/2005 12 e 30/06/2005 27 e 28/07/2005 28 e 29/08/2005 14, 15 e 20/09/2005 22 a 29/09/2005 10 e 19/10/2005 24 a 31/10/2005
Dezembro / 2005	23/01 e 24 /01/2006 26/03/2006 27/04 a 30/04/2006 13/05 e 14/05/2006 23/06 a 24/06/2006 16/07 e 17/07/2006 14/08 e 15/08/2006

TABELA 4.2 – Resultados do Alerta para o Período de Janeiro de 2005 a Setembro de 2005

ESTADOS	SITUAÇÃO / DEZEMBRO 2004		JANEIRO (25jan01fev)			SETEMBRO			Total observado
	ÁREA OCUPADA COM FLORESTA	ÁREA OCUPADA COM DESMATAMENTO	Nuvem (desflorestável)	Floresta Observada	Alerta	Nuvem (desflorestável)	Floresta Observada	Alerta	Evolução anual do Desmatamento
Acre	141,234	17,706	120,964	20,372	0	2,545	138,543	117	178
Amapá	120,851	0	54,630	66,636	0	12	121,225	0	0
Amazonas	1,468,908	23,563	352,818	1,105,433	0	11,668	1,445,664	132	521
Maranhão	6,578	136,253	5,112	1,768	0	49	6,799	3	14
Mato Grosso	301,120	187,650	168,385	132,928	43	40,888	254,545	394	5,562
Pará	853,686	270,976	464,282	389,334	0	85,314	766,706	279	1,579
Rondônia	136,479	74,778	108,322	28,127	0	7,701	127,285	161	1,516
Roraima	158,874	4,831	12,638	145,921	0	2,044	156,207	0	3
Tocantins	3,588	30,402	2,115	1613	0	894	3,051	0	0
<b>TOTAL - AMZ</b>	<b>3,191,318</b>	<b>746,159</b>	<b>1,631,519</b>	<b>1,548,678</b>	<b>43</b>	<b>151,115</b>	<b>3,020,025</b>	<b>1,086</b>	<b>9,373</b>

TABELA 4.3 – Resultados do Alerta para o Período de Janeiro de 2006 a Agosto de 2006

ESTADOS	SITUAÇÃO / DEZEMBRO 2005		JANEIRO (23_24jan)			AGOSTO(14_15ago)			Total observado
	ÁREA OCUPADA COM FLORESTA	ÁREA OCUPADA COM DESMATAMENTO	Nuvem (desflorestável)	Floresta Observada	Alerta	Nuvem (desflorestável)	Floresta Observada	Alerta	Evolução anual do Desmatamento
Acre	141,056	17,884	140,483	604	0	43,378	97,708	1	1
Amapá	120,851	0	59,130	62,106	0	73,260	47,976	0	0
Amazonas	1,468,387	24,084	1,352,560	104,773	0	474,816	982,260	73	255
Maranhão	6,564	136,267	4,292	2,556	0	210	6,653	0	0
Mato Grosso	295,558	193,212	130,758	163,963	561	983	291,118	722	3,178
Pará	852,107	272,555	435,537	416,356	52	255,125	595,746	542	1,073
Rondônia	134,963	76,294	134,581	398	0	3,227	131,225	175	524
Roraima	158,871	4,834	124,501	33,750	0	156,089	2,161	0	0
Tocantins	3,588	30,402	109	3838	0	12	3,930	0	4
<b>TOTAL - AMZ</b>	<b>3,181,945</b>	<b>755,532</b>	<b>1,946,850</b>	<b>788,344</b>	<b>613</b>	<b>1,007,100</b>	<b>2,158,777</b>	<b>1,513</b>	<b>5,035</b>

As Tabelas 4.2 e 4.3 representam a forma de como são disponibilizados os resultados dos vários Alertas executados em um dado período. Pode-se criar outras formas de representação, como exemplo, para cada observação, isto é, por data de aquisição das imagens. De qualquer forma, no final do período os resultados serão sempre os mesmos, independentes da maneira como foram tabulados, pois, todos eles vieram dos mesmos dados e da mesma maneira de obtenção. O importante no DETER é a possibilidade de fornecer resultados tanto das áreas desflorestadas quanto das áreas de florestas e áreas cobertas com nuvens no período observado.

Tomando como exemplo o estado do Mato Grosso, veja que na primeira observação (25 de janeiro a 01 de fevereiro de 2005) a área desflorestada até agosto de 2004 era de 187.650 km<sup>2</sup>. Na primeira observação foi constatado um incremento de área desflorestada de 43 km<sup>2</sup>. No entanto, houve 168.385 km<sup>2</sup> de florestas que não puderam ser observadas, porque estava coberta com nuvens. A área de floresta que foi observada nos dados do MODIS foi de 132.928 km<sup>2</sup> e a observação foi realizada com dados das passagens entre os dias 25 de janeiro a 01 de fevereiro de 2005.

Ainda sobre o Estado do Mato Grosso, considerando-se o mês de setembro de 2005 tem-se os seguintes valores:

- Área coberta com nuvens = 34.414 km<sup>2</sup>
- Área de floresta observada = 261.413 km<sup>2</sup>
- Área antropizada = 417 km<sup>2</sup>.
- Dia de aquisição dos dados MODIS – 28 e 29 de agosto de 2005
- O total de área antropizada no ano para o estado do Mato Grosso foi de 5.562 km<sup>2</sup>.

Analisando os dados das Tabelas 4.2 e 4.3 e as Figuras 4.1 e 4.2, percebe-se uma grande diminuição do desflorestamento da AML entre os anos de 2005 e 2006. O total de desflorestamento de todos os estados da AML em 2006 (5.035 km<sup>2</sup>) foi menor que o desflorestamento ocorrido apenas no estado do Mato Grosso em 2005 (5.562 km<sup>2</sup>).

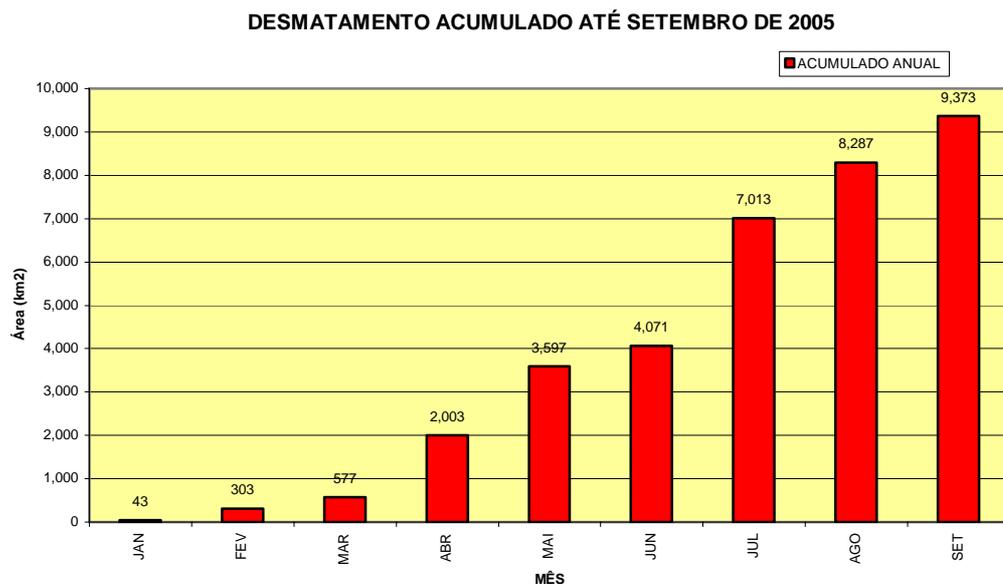


FIGURA 4.1 – Evolução do desflorestamento na Amazônia Legal entre Janeiro e Setembro de 2005.

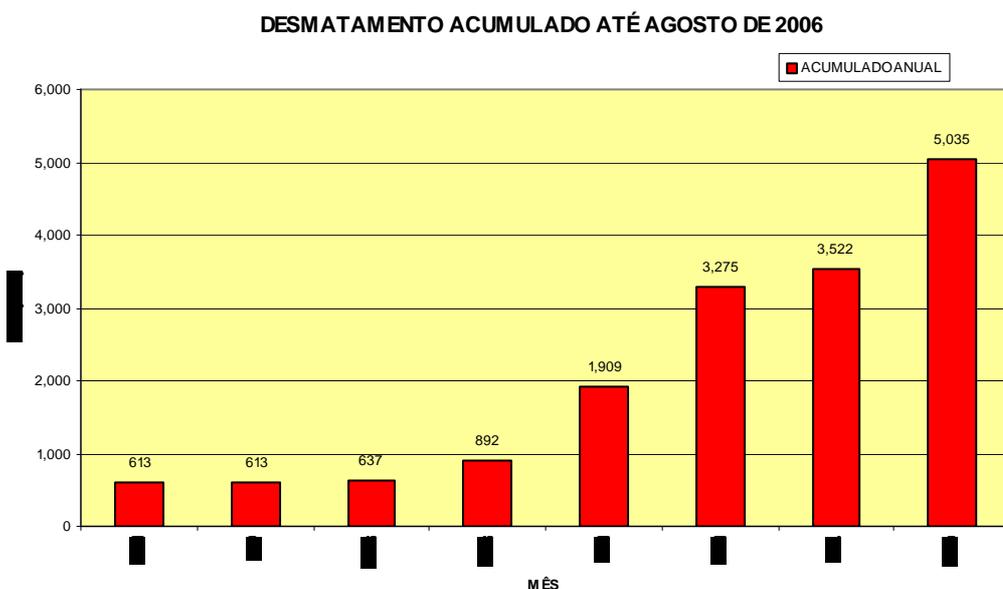


FIGURA 4.2 – Evolução do desflorestamento na Amazônia Legal entre Janeiro e Agosto de 2006.

No entanto, é bom deixar claro de que os valores contidos na Tabela 4.2 e 4.3 são apenas relativos, isto é, foram estimados de dados cuja resolução espacial é moderada (250m x 250m). Por esta razão, são números que servem para dar uma idéia do que esta acontecendo na Amazônia ou numa dada região, ou Estado. No caso de haver

necessidade de quantificar a área desflorestada, para fins de penalização, recomenda-se o uso de imagens do TM/Landsat ou do CCD/CBERS que possuem resolução espacial média de 30 m x 30 m e 20 m x 20m, respectivamente.

#### **4.2 - Mapeamento de áreas queimadas utilizando dados MODIS**

O projeto DETER que, tem como uma de suas principais atribuições detectar a ocorrência quase imediata de desflorestamento na Amazônia, pode também detectar outras intervenções antrópicas, como as queimadas. O desenvolvimento e aplicação de métodos de mapeamento de áreas queimadas em imagens dos sensores MODIS (Terra e Aqua) gerou resultados muito promissores.

A área selecionada para realização do trabalho foi o Estado do Acre, situado na porção noroeste da Amazônia Brasileira. As imagens MODIS utilizadas são da plataforma Terra, produto MOD09 adquiridas nas seguintes datas: 05 de setembro e 12, 21 de outubro de 2005. As bandas selecionadas foram a do vermelho (banda 1, centrada em 640 nm), infravermelho próximo (banda 2, centrada em 858 nm), e a do infravermelho médio (banda 6, centrada em 1640 nm). Para orientar a interpretação das queimadas nas imagens MODIS foram usados os focos de calor produzidos pelo projeto PROARCO (<http://www.cptec.inpe.br/queimadas/>) utilizando dados MODIS das plataformas Terra e Aqua. Para a validação do mapeamento das áreas queimadas utilizando os dados MODIS foram utilizadas as imagens Landsat/TM (002/67) adquiridas em 13 de outubro de 2005 e de imagens CBERS 2/CCD de 12 de outubro de 2005. Para a validação também foram utilizados dados de campo adquiridos durante as queimadas. Na Figura 4.2 é apresentado o fluxograma dos procedimentos executados no trabalho.

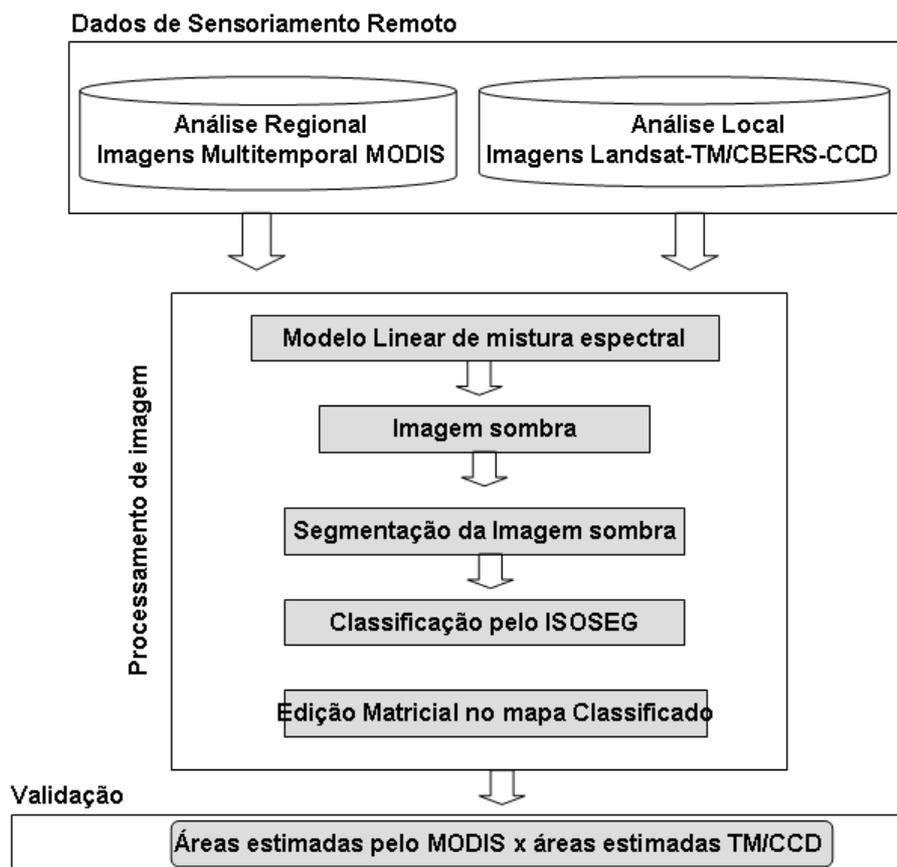


FIGURA 4.3 – Fluxograma da metodologia de mapeamento de áreas queimadas.

A Figura 4.4 apresenta a composição colorida (R6 G2 B1), e as imagens fração vegetação, solo e sombra referentes a imagem MODIS adquirida em 12 de outubro de 2005. As áreas queimadas apresentam níveis de cinza mais altos que os demais alvos na imagem fração sombra, facilitando sua discriminação.

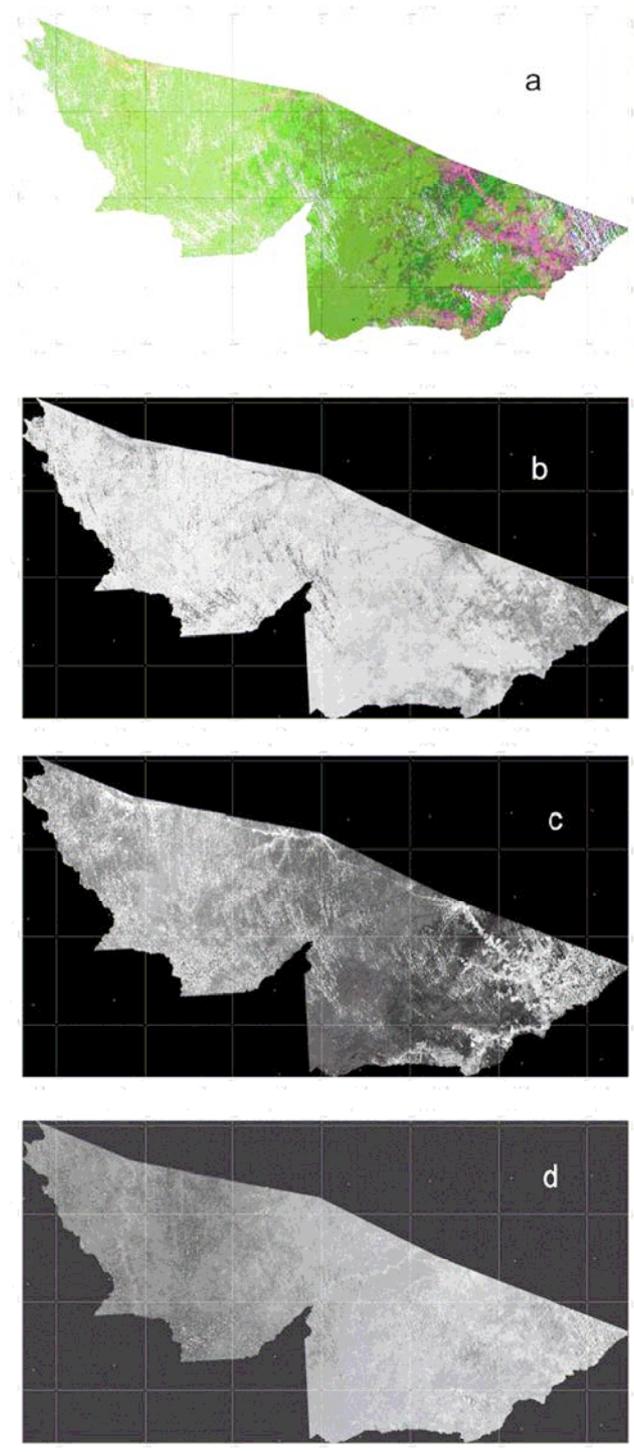


FIGURA 4.4 – Imagem MODIS de 12 de outubro de 2005 do Estado do Acre: a) composição colorida R6 G2 B1; b) imagem fração vegetação; c) imagem fração solo; e d) imagem fração sombra.

Os resultados da análise multitemporal das imagens fração sombra derivadas dos dados do MODIS indicaram a ocorrência de 6.500 km<sup>2</sup> de área queimada no Estado do Acre.

Deste total, 3.700 km<sup>2</sup> correspondem a áreas previamente desflorestadas e os outros 2.800 km<sup>2</sup> correspondem a áreas de floresta (Figura 4.4)

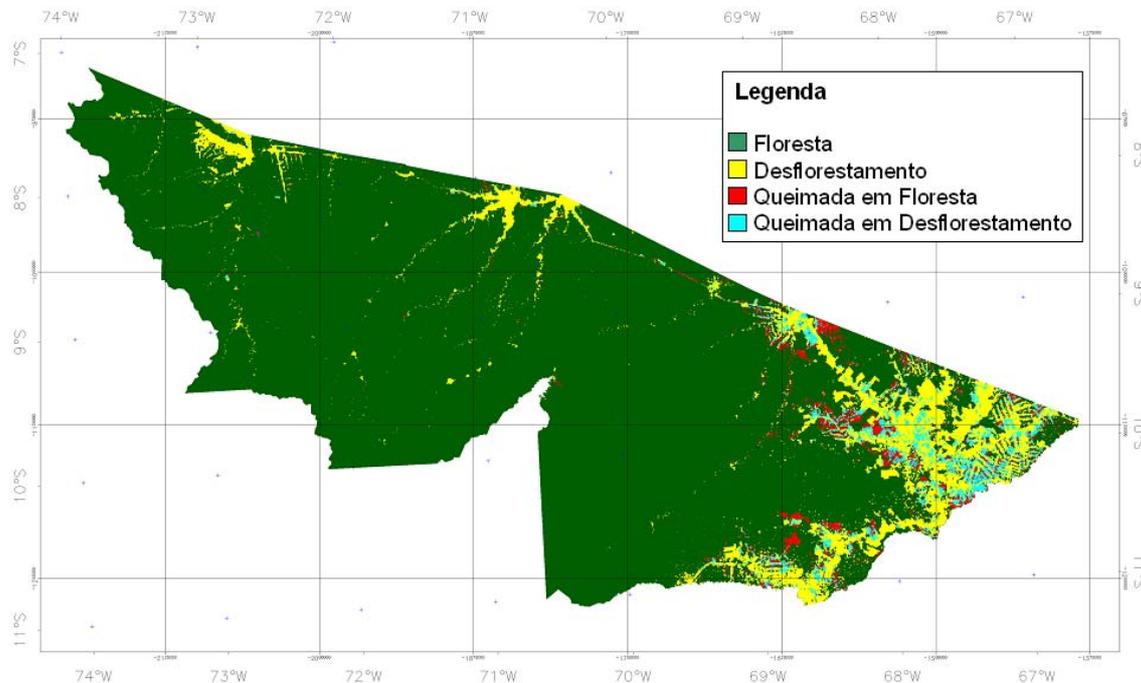


FIGURA 4.4 – Áreas queimadas no Estado do Acre identificadas nas imagens MODIS de adquiridas no ano de 2005.

Brown et al. (2006) estimaram através das imagens Landsat/TM e CBERS 2/CCD que mais de 2.670 km<sup>2</sup> de área florestal foram afetadas por queimadas no sudeste do Acre em 2005. Tais resultados mostram a consistência das estimativas realizadas com imagens MODIS, qualificando-as como uma importante fonte de informação de áreas para o mapeamento de queimadas em escala regional.

#### 4.3 – Dados MERIS do ENVISAT para o Projeto DETER

O projeto DETER é dependente da disponibilidade de dados com alta resolução temporal e resolução espacial moderada. Os dados do sensor MERIS a bordo do ENVISAT foram analisados para verificar a possibilidade de inclusão no projeto DETER. Para isto, foi selecionada uma área de estudo na região da BR-163 (Cuiabá – Santarém), no Estado do Pará. Esta área é caracterizada pela floresta Amazônica,

mostrando as regiões de ocupação em torno das rodovias Cuiabá-Santarém e Transamazônica, e as áreas de cerrado na Serra do Cachimbo na parte sul da imagem.

Para se avaliar o potencial das imagens MERIS na identificação de áreas desflorestadas e áreas queimadas foram utilizadas imagens do sensor MODIS, as quais já estão sendo utilizadas no projeto DETER.

A metodologia do Projeto DETER (Shimabukuro et al., 2005, Shimabukuro et al., 2006a, 2007) foi utilizada neste trabalho. Ela consiste na geração das imagens fração derivadas do modelo linear de mistura espectral (Shimabukuro e Smith, 1991), segmentação dessas imagens, classificação não supervisionada por regiões, mapeamento e edição da classificação.

Para este trabalho foram adquiridas as imagens MERIS e MODIS do dia 31 de julho de 2004. Foram utilizadas 4 bandas, localizadas nas regiões do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo, do sensor MERIS, formando um sistema de equações lineares que pode ser resolvido utilizando o método dos mínimos quadrados (Shimabukuro e Smith, 1991). Para o sensor MODIS foram utilizadas as bandas 1 (vermelho), 2 (infravermelho próximo) e 6 (infravermelho médio) (Shimabukuro et al., 2005).

As Figuras 4.5 e 4.6 mostram as imagens fração derivadas dos dados MERIS e MODIS, respectivamente. A imagem fração vegetação é similar as dos índices de vegetação (NDVI e EVI), realçando as condições da cobertura vegetal (Figuras 4.5b e 4.6b); a imagem fração solo realça as áreas sem cobertura vegetal (Figuras 4.5c e 4.6c), sendo adequada para a detecção e mapeamento de áreas desflorestadas; e a imagem fração sombra realça as áreas de drenagem e áreas queimadas (Figuras 4.5d e 4.6d).

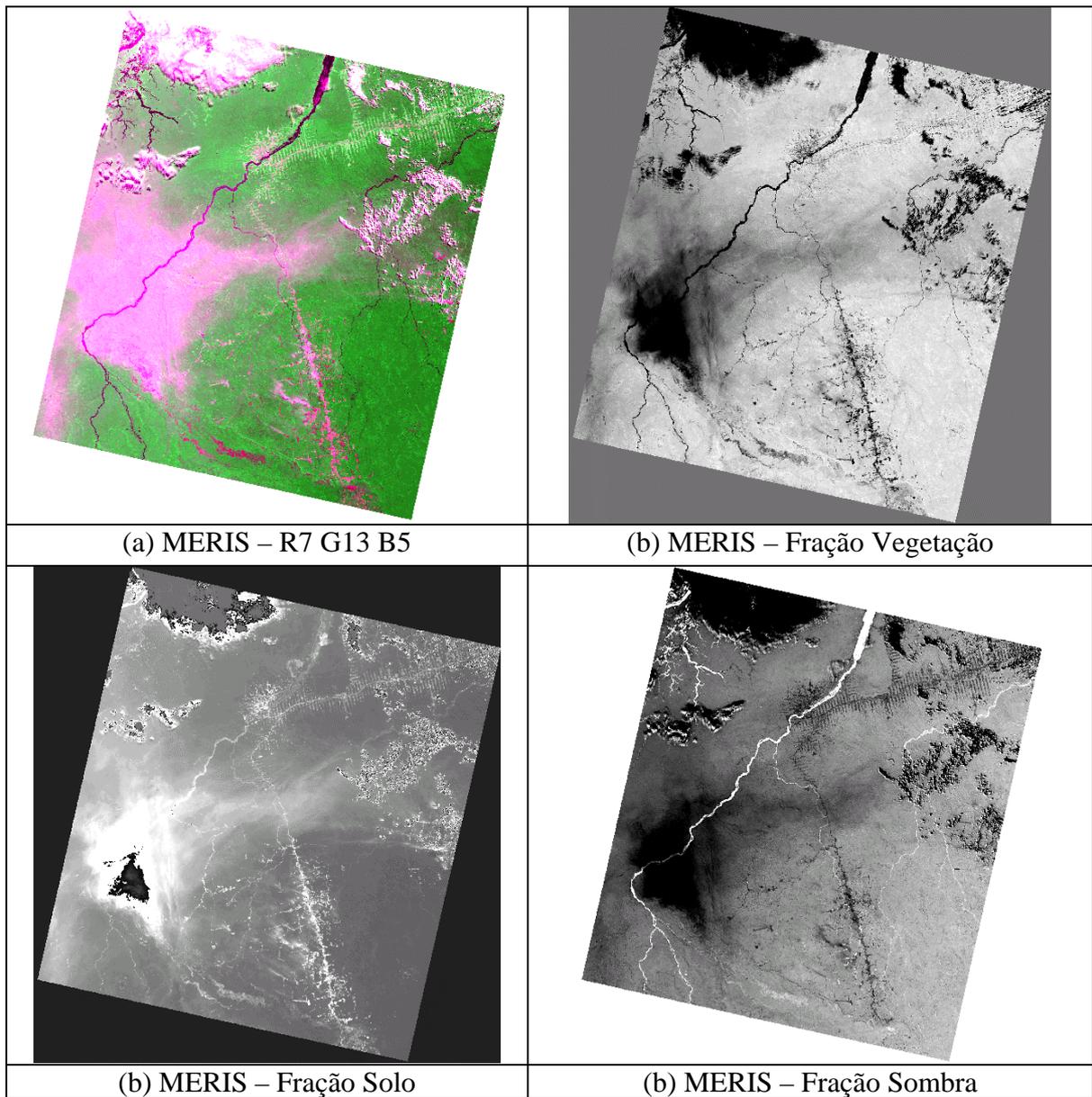


FIGURA 4.5 - Imagens fração derivadas do sensor MERIS: a) composição colorida (R7 G13 B5), b) fração vegetação, c) fração solo e d) fração sombra.

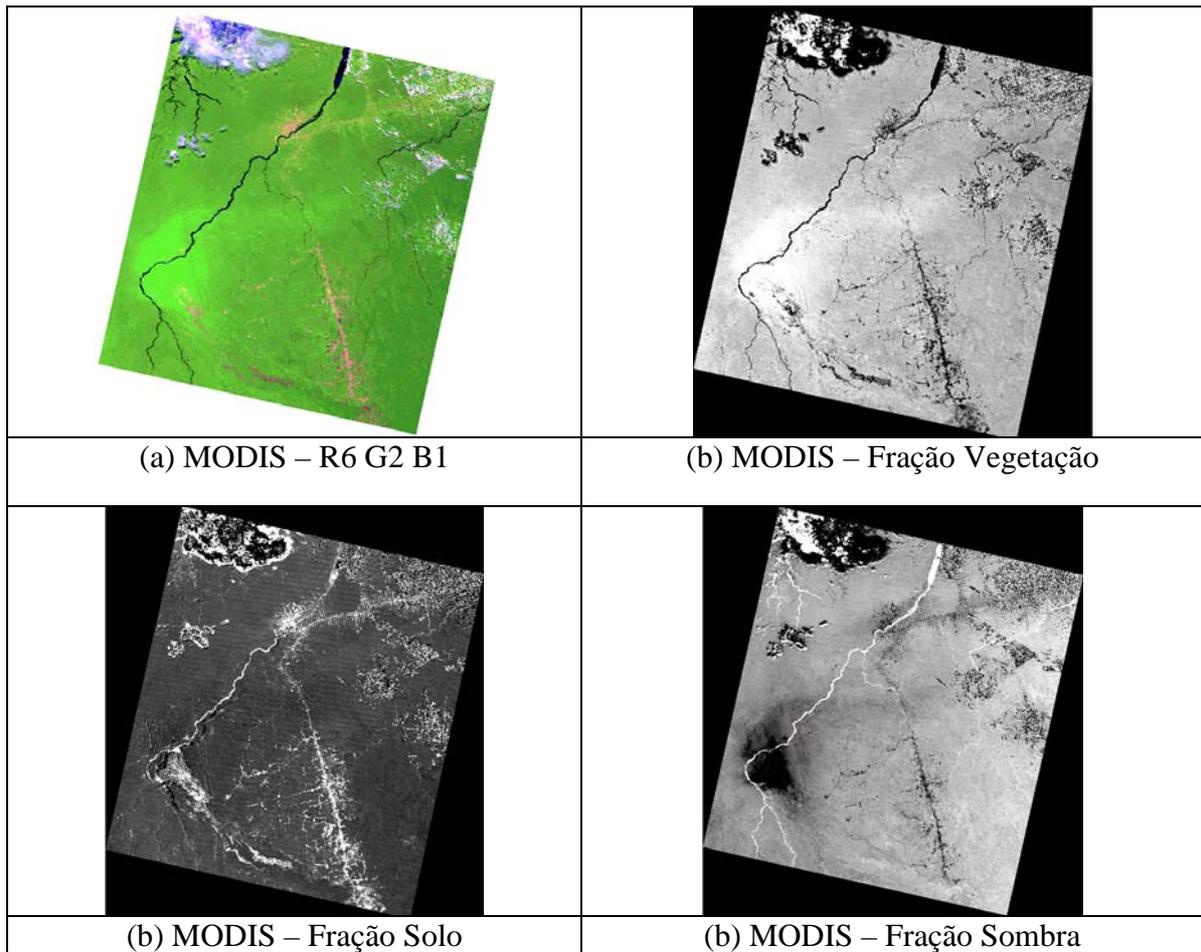


FIGURA 4.6 - Imagens fração derivadas do sensor MODIS: a) composição colorida (R6 G2 B1), b) fração vegetação, c) fração solo e d) fração sombra.

A Figura 4.7 apresenta os resultados de classificação das imagens MERIS (Figura 4.7a) e MODIS (Figura 4.7b) de 2004.

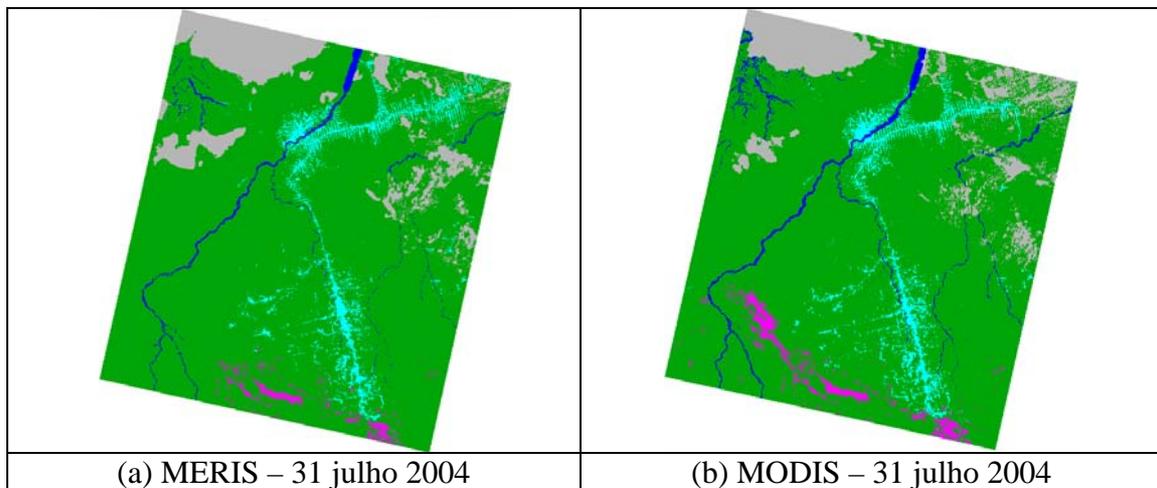


FIGURA 4.7 - Classificação da cobertura da terra obtida: a) da imagem MERIS de 2004, b) da imagem MODIS de 2004.

Como pode ser observado na Figura 4.7, o resultado de classificação da imagem MERIS foi similar ao obtido pelo dado MODIS adquirido no mesmo dia do ano 2004.

A Figura 4.8 mostra como aparecem algumas áreas queimadas, próximas a rodovia BR-163, nas imagens MERIS e MODIS e realçadas nas imagens fração sombra correspondentes. As áreas queimadas podem ser facilmente mapeadas através das imagens fração sombra, conforme realizada por Shimabukuro et al. (2006b).

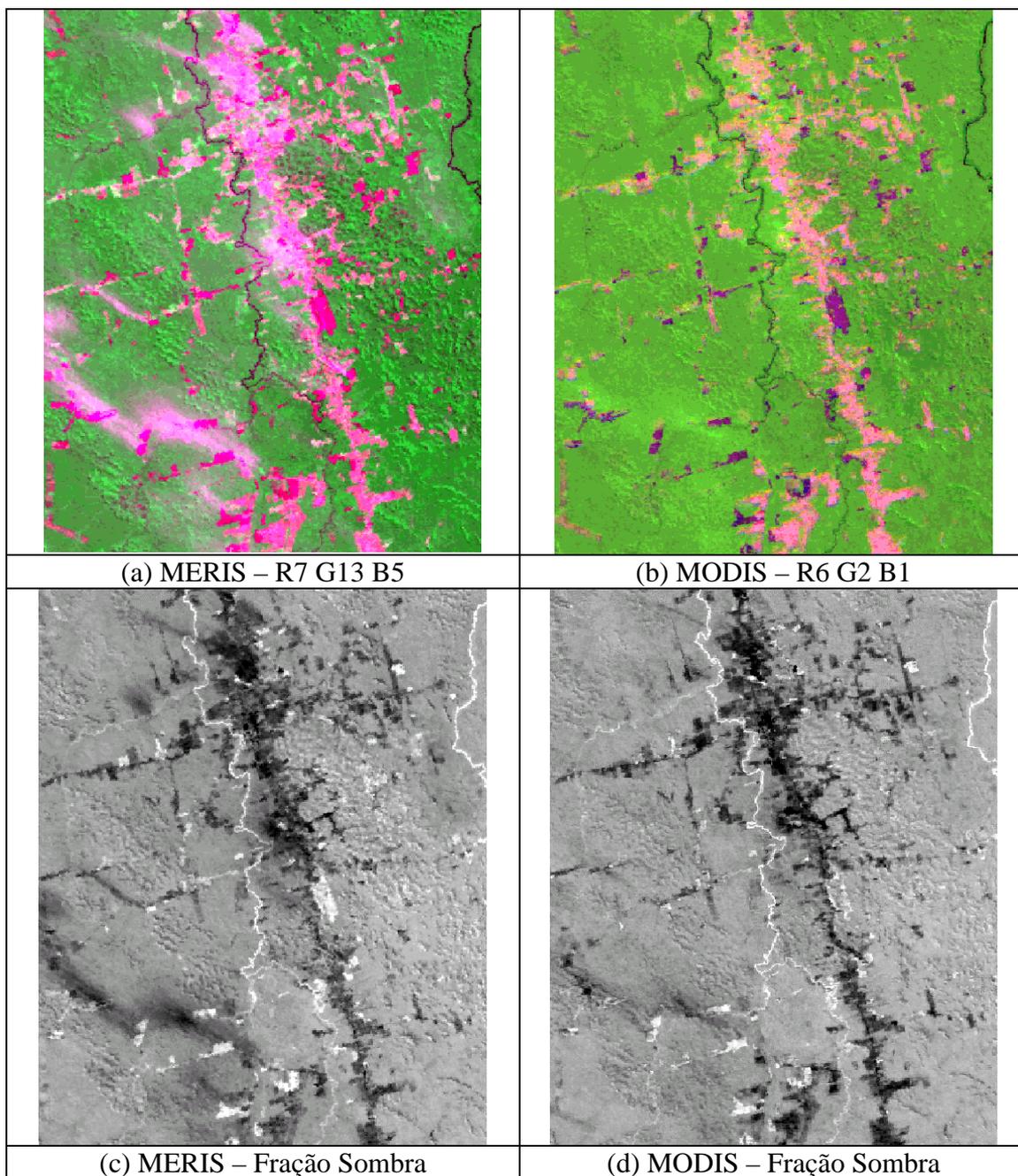


FIGURA 4.8 - Áreas queimadas: a) em vermelho escuro na imagem R7 G13 B5 do MERIS; b) em roxo escuro na imagem R6 G2 B1 do MODIS; c) realçadas na imagem fração sombra do MERIS; e d) realçadas na imagem fração sombra do MODIS.

Os resultados mostram que a imagem MERIS é uma fonte útil de informação para monitorar o desflorestamento e as áreas queimadas. A imagem fração de solo aumenta o contraste entre floresta e as áreas cortadas, enquanto que a imagem fração sombra realça

a drenagem e as áreas queimadas, facilitando o trabalho de classificação digital. A metodologia utilizada é consistente, gerando informações com alta acurácia sobre desflorestamentos e áreas queimadas. Portanto as imagens adquiridas pelo sensor MERIS pode ser mais uma fonte adicional de informação para o projeto DETER.



## **CAPÍTULO 5**

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este relatório apresenta os resultados do Projeto DETER para os anos de 2005 e 2006 em execução no INPE. O DETER é baseado na metodologia do PRODES Digital, em que as imagens do Landsat TM foram substituídas por imagens do MODIS/Terra.

Conforme foi demonstrado nos resultados, tanto para o estado quanto para a Amazônia Legal, o DETER pode ser empregado com muito sucesso e a custo relativamente baixo, pois pode ser executado com imagens gratuitas, pelo menos até o presente momento, e com um número razoavelmente pequeno de analistas. No entanto é preciso deixar claro que o DETER não pode ser um substituto do PRODES Digital, porque ambos apresentam objetivos diferentes, ou seja, enquanto no DETER o objetivo é monitorar áreas desflorestadas periodicamente, isto é, acompanhar a ação antrópicas na floresta de modo qualitativo, o PRODES Digital tem o objetivo mais do ponto de vista quantitativo. Em outras palavras, o DETER acompanha a ação antrópicas, podendo indicar onde e quando está acontecendo e o PRODES fornece a taxa anual de desflorestamento. Desta forma não são projetos ambíguos e sim complementares.

Por outro, o projeto apesar de ter sido desenvolvido para monitorar grandes áreas florestais, como é o caso da Amazônia Legal, ele também pode ser empregado em áreas menores, por exemplo, em nível municipal.

No entanto, é preciso deixar bem claro que as características espaciais dos dados MODIS não permitem obter um resultado quantitativo de área nos moldes que se obtêm com dados do sensor TM/Landsat ou de qualquer outro sensor com resoluções espaciais iguais ou semelhantes ao TM, como por exemplo o CCD do CBERS. Assim, os resultados quantitativos que são divulgados devem ser visto com certa cautela.

Este relatório apresenta também uma análise dos dados MODIS para o mapeamento de áreas queimadas e uma análise dos dados MERIS ENVISAT para a detecção das áreas desflorestadas e áreas queimadas. Os resultados obtidos são promissores para o projeto DETER.

Por ter uma característica de monitoramento, o DETER faz parte das atividades do **Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Brasileira**, de responsabilidade de um **Grupo Permanente de Trabalho Interministerial (GPTI)**, coordenado pela Casa Civil e composto por mais treze ministérios.

Os resultados do DETER têm ajudado o IBAMA a fiscalizar as atividades de desflorestamento, diminuindo a taxa de desflorestamento durante estes anos como verificado nas estimativas feitas pelo PRODES Digital.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguiar, A.P.D. **Utilização de atributos derivados de proporções de classes em um pixel na classificação multispectral de imagens de Sensoriamento Remoto**. 1991. Dissertação de Mestrado (São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE).

Aguiar, A.P.D.; Shimabukuro, Y.E.; Mascarenhas, N.D.A. Use of synthetic bands derived from mixing models in the multispectral classification of remote sensing images. **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, n. 4, p. 647-657, 1999.

Achard, F., Eva, H.D., Stibig, H.-J., Mayaux, P., Gallego, J., Richards, T., e Malingreau, J.-P. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. **Science**, v. 297, p. 999-1002. 2002.

Brown, S.; Lugo, A.E. Tropical secondary forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 6, n. 1, p. 1-32. 1990

Buschbacher, R.; Uhl, C. Serrão, E.A.S. Abandoned pastures in eastern Amazonia. II. Nutrient stocks in the soil and vegetation. **Journal of Ecology**, v.76, n. 3, p. 682-699, 1988.

Cardille, J.A.; Foley, J.A. Agricultural land-use change in Brazilian Amazônia between 1980 and 1995: evidence from integrated satellite and census data. **Remote Sensing of Environment**, v. 87, p. 551-562, 2003.

Carreiras, J.M.B. **Deteção remota de alterações da cobertura vegetal na Bacia Amazônica**. Tese de Doutorado Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, 2005.

Cochrane, M.A.; Alencar, A.; Schulze, M.D.; Souza Jr., C.M. ; Nepstad, D.C.; Lefebvre, P.; Davidson, E.A. Positive Feedbacks on the fire dynamic of closed canopy tropical forests. **Science**, v. 284, p. 1832-1835, 1999.

Curran, P.J.; Foody, G.M. The use of remote sensing to characterize the regenerative states of tropical forests. Em G.M. Foody, e P.J. Curran (Eds.). **Environmental Remote Sensing from Regional to Global Scales**. Chichester, Reino Unido: John Wiley & Sons, p. 44-83, 1994.

Duarte, V.; Shimabukuro, Y.E.; Santos, J.R.; Mello, E.M.K.; Moreira, J.C.; Moreira, M.A; Souza, R.C.M.; Shimabukuro, R.M.K.; Freitas, U..M. **Metodologia para criação do PRODES Digital e do banco de dados digitais da Amazônia – Projeto BADDAM**. São José dos Campos: INPE, 1999. 33p. (INPE-7032-PUD/035).

Fearnside, P.M. Deforestation in Brazilian Amazonia: the effect of population and land tenure. **Ambio**, v. 22, n.8, p. 537-545. 1993.

Fearnside, P.M. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. **Forest Ecology and Management**, v. 80, p. 21-34. 1996.

Goulding, M.; Barthem, R.; Ferreira, E. **The Smithsonian Atlas of the Amazon**. Washington: Smithsonian Books. 2003.

Grupo Permanente de Trabalho Interministerial (GPTI). **Relatório da comissão executiva do plano de ação para a prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Brasileira: Período de março a agosto de 2004**, Brasília, agosto de 2004, 1p.

Hansen, M.C.; DeFries, R.S.; Townshed, J.R.G.; Marufu, L.; Sohlberg, R. Development of MODIS tree cover validation data set for Western Province, Zambia. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 320-335, November 2002.

Hess, L.L.; Melack, J.M.; Novo, E.M.L.M.; Barbosa, C.C.F.; Gastil, M. Dual-season mapping of wetland inundation and vegetation for the Central Amazon region. **Remote Sensing of Environment**, v. 87, p. 404-428, 2003.

Houghton, R.A.; Lawrence, K.T.; Hackler, J.L.; Brown, S. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. **Global Change Biology**, v.7, p. 731-746. 2001.

Brasil. Ministério da Agricultura, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, Secretária de Planejamento e Coordenação da Presidência da Republica. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Mapa de Vegetação do Brasil**, escala 1:5000000. Brasília, 1988.

Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), **Atlas Nacional do Brasil**, 3rd edn, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 2000. 262 p.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Relatório de atividades - 1995**. São José dos Campos, SP: INPE. 43p., 1995.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Monitoring of the Brazilian Amazonian forest by satellite, 2000-2001**. São José dos Campos, SP, 2002.

Junk, W.J.; Firch, K. The physical and chemical properties of Amazonian waters and their relationship with the biota. In: G.T. Prance, e T.E. Lovejoy (Eds.). **Amazonia** Nova Iorque: Pergamon, p. 3-17, 1985.

Justice, C. O.; Townshend, J.R.G.; Vermote, E.F.; Masuoka, E.; Wolfe, R.E.; Saleous, N.; Roy, D.P.; Morisette, J.T. An overview of MODIS Land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 3 –15, 2002.

Justice, C.O.; Vermote, E.; Townshed, J.R.G.; DeFries, R.; Roy, D.P.; Hall, D.K.; Salomonson, V.V.; Privette, J.L.; Riggs, G.; Strahler, A.; Lucht, W.; Myneni, R.B.; Knyazikhin, Y.; Running, S.W.; Nemani, R.R.; Wan, Z.; Huete, A.R.; van Leeuwen, W.; Wolfe, R.E.; Giglio, L.; Muller, J.P.; Lewis, P.; Barnsley, M.J. The moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global

change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p. 1228-1247, July 1998.

Kaimowitz, D.; Smith, J. Soybean technology and the loss of natural vegetation in Brazil and Bolivia. In: A. Angelsen, e D. Kaimowitz (Eds.). **Agricultural Technologies and Tropical Deforestation**. Oxon, Reino Unido: CAB International Publishing, p. 195-211, 2001.

Kampel, M.; Novo, E.M.L.M. **Avaliação do sensor MERIS (Versão 1.0)**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 14p., 2004.

Laurance W.F., Albernaz A.K.M., Fearnside P.M., Vasconcelos H.L. and Ferreira L.V..Deforestation in Amazonia. **Science** 304 (5674): 1109–1111, 2004.

Lucas, R.M.; Honzák, M.; Curran, P.J.; Foody, G.M.; Milne, R.; Brown, T.; Amaral, S. Mapping the regional extent of tropical forest regeneration stages in the Brazilian legal Amazon using NOAA AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n.15, p. 2855-2881, 2000.

Mahar, D. **Government policies and deforestation in Brazil's Amazon Region**. Washington, D.C.: World Bank. 1988.

Malingreau, J.-P. and Tucker, C.J. 1988. Large-scale deforestation in the southeastern Amazon basin of Brazil. **Ambio** v. 17, p. 49-55, 1988.

Marengo, J.A.; Nobre, C.A. General characteristics and variability of climate in the Amazon Basin and its links to the global climate system. In: E, McClain, R.L. Victoria, e J.E. Richey (Eds.). **The Biogeochemistry of the Amazon Basin**. New York: Oxford University Press, p.17-41, 2001.

Mesquita, R.C.G.; Ickes, K.; Ganade, G.; Williamson, G.B. Alternative successional pathways in the Amazon Basin. **Journal of Ecology**, v.89, p. 528-537, 2001.

Moran, E.F. **Developing the Amazon**. Bloomington. Indiana, EUA: Indiana University Press. 1981.

Moran, E.F. Deforestation and land use in the Brazilian Amazon. **Human Ecology**, v. 21, n.1, p. 1-21, 1993.

Moran, E.F.; Brondizio, E.; Mausel, P.; Wu, Y.. Integrating Amazonian vegetation, land-use, and satellite data. **Bioscience**, v. 44, n. 5, p. 329-338, 1994.

Nepstad, D.C.; Klink, C.A.; Uhl, C.; Vieira, I.C.; Lefebvre, P.; Pedlowski, M.; Matricardi, E.; Negreiros, G.; Brown, I.F.; Amaral, E.; Homma, A.; Walker, R. Land-use in Amazonia and the Cerrado of Brazil. **Ciência e Cultura** Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science, v. 49, n. 1/2, p.73-86, 1997.

Oliveira-Filho, A.T.; Ratter, J.A. Vegetation physiognomies and woody flora of the cerrado biome. In: P.S. Oliveira, e R.J. Marquis (Eds.). **The Cerrados of Brazil**. Nova Iorque: Columbia University Press, p.91-120, 2002.

Roberts, D.A.; Keller, M.; Soares, J.V. Studies of land-cover, land-use, and biophysical properties of vegetation in the large Scale Biosphere Atmosphere experiment in Amazônia. **Remote Sensing of Environment**, v.87, p.377-388, 2003.

Salati, E. The climatology and hydrology of Amazonia. In: G.T. Prance, e T.E. Lovejoy (Eds.). **Amazonia**. Nova Iorque: Pergamon, p.18-48, 1985.

Schroeder, P.E.; Winjum, J.K. Assessing Brazil's carbon budget: II. Biotic fluxes and net carbon balance. **Forest Ecology and Management**, v.75, p.87-99, 1995.

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, p.16-20, 1991.

Shimabukuro, Y.E.; Mello, E.M.K.; Moreira, J.C.; Duarte, V. **Segmentação e classificação da imagem sombra do modelo de mistura para mapear desflorestamento na Amazônia**. São José dos Campos: INPE, 16p., 1997. (INPE-6147-PUD/029).

Shimabukuro, Y.E., Batista, G.T, Mello, E.M.K., Moreira, J.C., Duarte, V. Using shade fraction image segmentation to evaluate deforestation in Landsat Thematic Mapper images of the Amazon region. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, n.3, p.535-541, 1998.

Shimabukuro, Y.E., Duarte, V., Moreira, M.A., Arai, E., Rudorff, B.F.T., Anderson, L.O., Espirito-Santo, F.B., Freitas, R., Aulicino, L.C.M., Maurano, L.E.P., Aragão, J.R.L. **Deteção de áreas desflorestadas em tempo real: conceitos básicos, desenvolvimento e aplicação do Projeto DETER**. INPE, Ministério da Ciência e Tecnologia, 63p., 2005.

Shimabukuro, Y.E., Duarte, V., Anderson, L.O., Valeriano, D.M., Arai, E., Freitas, R., Rudorff, B.F.T., Moreira, M.A. Near real time detection of deforestation in the Brazilian Amazon using MODIS imagery. **Revista Ambi-Água**, v.1, n.1, 37-47, 2006a.

Shimabukuro, Y.E., Duarte, V., Arai, E., Freitas, R., Valeriano, D.M., Brown, I.F., Maldonado, M.L.R. **Fraction Images Derived From Terra MODIS Data for Mapping Burned Area in Acre State, Brazilian Amazonia**, IGARSS 2006, Denver, Colorado, 2006b.

Shimabukuro, Y.E., Duarte, V., Moreira, M.A., Arai, E., Valeriano, D.M., Anderson, L.O., Espirito-Santo, F.B. Desflorestamento na Amazônia – Sistema DETER. In: Rudorff, B.F.T., Shimabukuro, Y.E., Ceballos, J.C. **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. 389-401, 2007.

Silva, J.M.C.; Bates, J.M. Biogeographic patterns and conservation in the South American cerrado: a tropical savanna hotspot. **BioScience**, v.52, n.3, p.225-233. 2002.

Skole, D.; Tucker, C. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: Satellite data from 1978 to 1988. **Science**, v.260, p.1905–1910, 1993.

Skole, D.L.; Chomentowski, W.H.; Salas, W.A.; Nobre, A.D. Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. **Bioscience**, v. 44, n.5, p.14-322, 1994.

Stone, T.A.; Schlesinger, P.; Houghton, R.A.; Woodwell, G.M. A map of the vegetation of South America based on satellite imagery. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.60, p.541-551, 1994.

Strahler, A.H.; Moody, A.; Lambin, E. **MODIS Land cover product: Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)**. v. Version 3.0, 1995. Disponível em: <modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/pdf/MOD\_14\_40.PDF>. Acesso em: 7 nov. 2002.

Strahler, A.; Muchoney, D.; Borak, J.; Friedl, M.; Gopal, S.; Lambin, E.; Moody, A. **MODIS land cover product algorithm theoretical basis document. versão 5.0**, p. 1-72, may 1999. Disponível em: <modis.gsfc.nasa.gov/data/atdb/atdb\_mod12.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2002.

Tardin, A.T.; Lee, D.C.L.; Santos, R.J.R.; Assis, O.R.; Barbosa, M.P.S.; Moreira, M.L., Pereira, M.T.; Silva, D.; Santos Filho, C.P. **Subprojeto Desmatamento**. São José dos Campos: IBDF/CNPQ-INPE, 1980.

Townshend, 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.92, p.187-236, 1988.

Tucker, C. J.; Townshend, J. R.G.; Goff, T. E. African land-cover classification using satellite data. **Science**, v.227, p.369-375, 1985.

van Leeuwen, W.; Huete, A.R.; Laing, T.W. MODIS vegetation index compositing approach: a prototype with AVHRR data. **Remote Sensing of Environment**, v.69, p.264-280, 1999.

Uhl, C. Factors controlling succession following slash-and-burn agriculture in Amazonia. **Journal of Ecology**, v.75, n.2, p.377-407, 1987.

Uhl, C.; Buschbacher, R.; Serrão, E.A.S. Abandoned pastures in eastern Amazonia. I. Patterns of plant succession. **Journal of Ecology**, v.76, n.3, p.663-681, 1988.

Wolfe, R.E.; Nishihama, M.; Fleig, A.J.; Kuyper, J.A.; Roy, D.P.; Storey, J.C.; Patt, F.S. Achieving sub-pixel geolocation accuracy in support of MODIS land science. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.31-49, 2002.

Wood, C.H. Land use and deforestation in the Amazon. In: C.H. Wood, e R. Porro (Eds.). **Deforestation and Land Use in the Amazon**. Gainesville, Florida: University Press of Florida, p.1-38, 2002.

Zhan, X.; Sohlberg, R.A.; Townshend, J.R.G.; DiMiceli, C.; Carroll, M.L.; Eastman, J.C.; Hansen, M.C.; DeFries, R.S. Detection of land cover changes using MODIS 250 m data. **Remote Sensing of Environment**, v.83, n.1-2, p.336-350, Nov. 2002.