



**UFAM**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS E LETRAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**O USO DE IMAGENS R99-SAR/SIPAM NO PROGRAMA DE  
MONITORAMENTO DO DESMATAMENTO DA FLORESTA  
AMAZÔNICA BRASILEIRA**

**WALLACE DE FREITAS TEIXEIRA**

Manaus-AM

2015

**O USO DE IMAGENS R99-SAR/SIPAM NO PROGRAMA  
DE MONITORAMENTO DO DESMATAMENTO DA  
FLORESTA AMAZÔNICA BRASILEIRA**

**Wallace de Freitas Teixeira**

**Orientador: Prof. Dr. Eduardo da Silva Pinheiro**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geografia, área de concentração Amazônia - Território e Ambiente.

Manaus-AM

2015

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

T266u Teixeira, Wallace de Freitas  
O uso de imagens R99-SAR/SIPAM no Programa de  
Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazonica Brasileira  
/ Wallace de Freitas Teixeira. 2015  
88 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Eduardo da Silva Pinheiro  
Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do  
Amazonas.

1. Floresta Amazônica. 2. Radar. 3. Desmatamento. 4.  
Geoprocessamento. I. Pinheiro, Eduardo da Silva II. Universidade  
Federal do Amazonas III. Título

*Dedico a minha mãe Arli, minha esposa  
Tatiana e as minhas filhas Luna e Amanda.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais, pela educação familiar e preocupação com meus estudos, me alertando que somente com estudo e trabalho poderia alcançar meus objetivos.

A minha esposa Tatiana, pela compreensão e incentivo incondicional desde o início da graduação até a conclusão do Mestrado.

A UFAM – Universidade Federal do Amazonas, pela oportunidade de cursar minha Graduação e o Mestrado numa Instituição Pública de Ensino.

Ao PPG-GEO, Programa de pós-graduação em Geografia, que acreditou no meu projeto de pesquisa.

Ao meu Orientador Professor Dr. Eduardo da Silva Pinheiro, pela disponibilidade, paciência e orientação sempre oportuna. Por compartilhar seus conhecimentos e depositar total confiança nessa pesquisa.

Ao corpo docente do Mestrado em Geografia, pelos ensinamentos, discussões e troca de idéias em sala de aula e nos trabalhos de campo.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça (INPA) e Prof. Dr. Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira, pelas excelentes sugestões e contribuições dadas a essa pesquisa.

Ao CENSIPAM – Centro Regional de Manaus, pela disponibilização das imagens R99-SAR e fornecer toda estrutura de software e hardware para realização desse trabalho.

Ao grande amigo Manoel Ricardo Dourado Correa (baiano), pela ajuda desde os tempos de graduação, dividindo conhecimentos que me foram essenciais na pesquisa do Mestrado. Você é um camarada excepcional.

Aos amigos do SIPAM, Jorge Alberto, Solange Costa, Carlos Benedito e Tahisa Kuck, por todas as sugestões, tiradas de dúvidas e contribuições dadas à pesquisa. Muito obrigado pela amizade e suporte intelectual.

A todos os colegas da Geografia/UFAM e do CENSIPAM que contribuíram de alguma forma para realização dessa pesquisa.

## RESUMO

O objetivo desse trabalho foi analisar o uso de imagens R99-SAR/SIPAM no programa de monitoramento da floresta Amazônica, assim como avaliar o uso destas imagens para qualificação de polígonos de alertas do projeto DETER/INPE e caracterizar e mapear áreas desmatadas no município de Iranduba-AM. As imagens SAR foram analisadas para qualificação dos polígonos de desmatamento mapeados pelo projeto DETER, considerando sua alta resolução espacial e capacidade de detectar padrões de desmatamento. Aproximadamente 91% dos polígonos pôde ser detectada por meio de imagens R99B-SAR/SIPAM. Além de sofrer pouca interferência da atmosfera (nuvens), a aplicação de dados de radar de alta resolução espacial no projeto DETER pode melhorar a capacidade de detectar o desmatamento de áreas menores que 25 hectares, cicatrizes não detectadas pelos sensores de baixa resolução espacial. Para avaliar o uso das imagens R99-SAR/SIPAM no mapeamento de áreas de desmatamento (corte raso) por interpretação visual, foram vetorizados polígonos de desmatamento no município de Iranduba-AM com imagens geradas no ano de 2013. Além de testar a capacidade de discernimento de padrões de desmatamento nas imagens R99-SAR/SIPAM, o mapeamento das áreas desmatadas ajudou na análise e caracterização do desmatamento recente no município de Iranduba-AM, que vem sofrendo forte pressão antrópica pela construção da Ponte Rio Negro, ligando Iranduba-AM a Manaus-AM, bem como a obras de duplicação da Rodovia AM 070, que liga Iranduba-AM a Manacapuru/AM. Assim, concluiu-se que o uso de imagens do radar R99-SAR/SIPAM pode contribuir como dados complementares ao Programa de Monitoramento Florestal Brasileiro.

**Palavras-chave:** Floresta Amazônica, Radar, Desmatamento, Geprocessamento.

## ABSTRACT

This paper presented a preliminary assessment of radar images R99-SAR/SIPAM to the Brazilian Forest Monitoring Program. SAR images were analyzed for qualification of deforestation polygons mapped by DETER project, considering high spatial resolution and ability to detect deforestation patterns. Approximately 91% of the polygons can be detected by means of SAR-R99/SIPAM images. In addition to suffering little interference from the atmosphere (clouds), the application of high spatial resolution radar data in DETER project can improve the ability to detect the deforestation of areas smaller than 25 hectares, scars not detected by low spatial resolution sensors. To evaluate the use of R99-SAR/SIPAM images to map deforested areas (shallow cut) by visual interpretation, were vectored deforestation polygons in the municipality of Iranduba with images generated in 2013. In addition to testing the capacity of discernment deforestation patterns in R99-SAR/SIPAM images, the mapping of deforested areas helped in the analysis and characterization of recent deforestation in Iranduba-AM district, has undergone strong anthropogenic pressure by the construction of bridge Rio Negro, connecting Iranduba-AM to Manaus-AM and duplication of Highway AM 070, which connects Iranduba-AM to Manacapuru-AM. Thus, it was concluded that the use of R99-SAR/SIPAM radar images can contribute as additional information to the Brazilian Forest Monitoring Program.

**Keywords:** Amazon Forest, Radar, Deforestation, GIS.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	x
LISTA DE TABELAS .....	xiv
CAPÍTULO I .....	15
1. INTRODUÇÃO .....	15
CAPÍTULO II .....	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1. O desmatamento na Amazônia brasileira.....	18
2.2. Dados PRODES.....	22
2.3. Dados DETER.....	23
2.4. SENSORIAMENTO REMOTO POR RADAR.....	25
2.4.1. Características gerais.....	25
2.4.2. Geometria de imageamento.....	27
2.4.3. Polarização.....	28
2.4.4. Comportamento de alvos .....	30
2.4.5. Constante dielétrica.....	30
2.5. Imagens R99-SAR/SIPAM .....	31
2.6. Missão SIPAM/SAR-MMA/2008 .....	33
2.7. Interpretação visual de imagens de radar .....	35
CAPÍTULO III .....	38
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3.1. ÁREA DE ESTUDO.....	38
3.1.1. Área de estudo 01: Novo Repartimento-PA .....	38
3.1.1.1. Características fisiográficas de Novo Repartimento-PA.....	40
3.1.2. Área de estudo 02: Iranduba-AM .....	41
3.1.2.1. Características fisiográficas de Iranduba-AM.....	43
3.2. MATERIAIS UTILIZADOS .....	45
3.2.1. Imagens do radar R99-SAR/SIPAM.....	45
3.2.2. Imagens LANDSAT 8 .....	48
3.2.3. Dados vetoriais de desmatamento .....	49
3.2.5. Aplicativos e hardwares.....	50
3.2.6. Dados auxiliares.....	50
3.2.6.1. Dados pluviométricos .....	50

3.2.6.2. Dados de campo .....	50
3.2.7 Materiais diversos .....	51
3.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	51
3.3.1. Pré-processamento das Imagens R99-SAR/SIPAM .....	52
3.3.1.2. Composição colorida .....	52
3.3.1.1. Georreferenciamento.....	53
3.3.1.3. Aplicação de contraste .....	54
3.3.3. Aplicação de máscara com dados PRODES e MMA/2008 .....	57
3.3.4. Qualificação dos alertas DETER em Novo Repartimento-PA .....	58
3.3.5. Mapeamento do desmatamento em Iranduba-AM .....	59
CAPÍTULO IV .....	62
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
4.1. Qualificação dos alertas DETER .....	62
4.1.1. Análise dos dados PRODES/2008 e da Missão SAR/MMA-2008 .....	62
4.1.2. Análise dos alertas DETER .....	63
4.2. Mapeamento e caracterização das áreas desmatadas em Iranduba-AM .....	68
4.2.1. Evolução do desmatamento (2000-2013).....	68
4.2.2. Mapeamento com Imagens R99-SAR/SIPAM.....	70
4.2.3. Unidades de Conservação em Iranduba .....	72
4.2.4. Tipos de uso e cobertura da terra .....	73
4.2.5. Desmatamento observado em campo.....	76
4.2.5.1. Pecuária .....	76
4.2.5.2. Obras de infraestrutura recentes .....	76
a. Ponte Rio Negro.....	77
b. Duplicação da Rodovia AM 070 .....	78
c. Construção da Cidade Universitária da UEA.....	79
CAPÍTULO V .....	81
5. CONCLUSÃO.....	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	82

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Taxas de desmatamento anual na Amazônia Legal divulgadas pelo PRODES/INPE e as fases do PPCDAm. ....	20
Figura 02. O “arco do desmatamento” na Amazônia Legal. ....	21
Figura 03. Desmatamento do tipo “corte raso” .....	23
Figura 04. Cobertura de nuvens (rosa) e cenas qualificadas dos alertas DETER para agosto de 2008.....	25
Figura 05. Espectro eletromagnético e bandas da região de microondas.....	26
Figura 06. Geometria de aquisição das imagens SAR.....	28
Figura 07: Orientação do campo elétrico .....	29
Figura 08: Modos de imageamento polarimétrico em sistema de radar aerotransportado. ....	29
Figura 09: Modelo de padrões de espalhamento em sistema aerotransportado.....	30
Figura 10. a) Localização das bandas L e X, do sensor R99-SAR/SIPAM. b) Detalhe da antena da banda L. ....	33
Figura 11. Municípios prioritários - Portaria 28/2008-MMA .....	34
Figura 12. Composição falsa-cor (R-LHH, G-LHV e B-LVV) numa imagem R99-SAR/SIPAM. Em destaque, áreas desmatadas em floresta tropical (polígonos amarelos). ....	37
Figura 13. Localização das duas áreas de estudo. ....	38
Figura 14. Área de estudo número 01 com imagens R99B-SAR/SIPAM. ....	39
Figura 15. Mapa da geomorfologia do Lago de Tucuruí-PA.....	40
Figura 16. Mapa de Solos do Lago de Tucuruí-PA. ....	41
Figura 17. Área de estudo número 02 com imagens R99B-SAR/SIPAM. ....	42
Figura 18. Ponte Rio Negro ainda em fase de construção.....	42

Figura 19. Compartimentação geomorfológica da Iranduba-AM.....	43
Figura 20. Tipos de vegetação na área de estudo 02, Iranduba-AM.....	44
Figura 21. Tipos de solo na área de estudo 02, Iranduba-AM.....	45
Figura 22. Imagens R99-SAR/SIPAM usadas para qualificação dos alertas DETER. .....	47
Figura 23. Imagens R99-SAR/SIPAM usadas no mapeamento do desmatamento de Iranduba-AM.....	47
Figura 24. Imagem R99-SAR/SIPAM georreferenciada sobre a imagem Landsat 8.	48
Figura 25. Imagem R99-SAR/SIPAM de 2013, com pontos visitados no dia 13/Dez/14 no trabalho de campo .....	51
Figura 26. Fluxograma das principais etapas metodológicas.....	52
Figura 27. Imagem R99-SAR na composição falsa-cor R-LHH, G-LHV e B-LVV. ....	53
Figura 28. Aplicação de contraste nas imagens R99-SAR.....	54
Figura 29. Precipitação mensal de 2013, estação Tucuruí-PA.....	55
Figura 30. Valores diários de umidade relativa do ar para o mês de setembro de 2008, estação Tucuruí-PA.....	55
Figura 31. Precipitação pluviométrica mensal do ano 2013, estação Manaus.....	56
Figura 32. Valores diários de umidade relativa do ar para o mês de setembro de 2013, estação Manaus-AM.....	56
Figura 33. Polígonos de áreas desmatadas (amarelo) no município de Novo Repartimento-PA/2008.....	57
Figura 34. Alertas DETER (vermelho, preto e azul) sobrepostos a imagem MODIS.	58
Figura 35. Alerta DETER (vermelho) indicando área desmatada, confirmado na imagem R99-SAR/SIPAM (fundo). Máscara do PRODES 2007 (amarelo hachurado) foi usada como dado auxiliar.....	59

Figura 36. Vetorização de polígonos (corte raso) utilizando o ArcGis 10.1.....	60
Figura 37. Similaridade no mapeamento do desmatamento realizado pelo PRODES/2008 (a) e Missão SAR-SIPAM/MMA-2008 (b) em Novo Repartimento-PA. ....	62
Figura 38. Distribuição espacial e temporal dos Alertas DETER em Novo Repartimento-PA. Em destaque Alertas emitidos dentro de áreas protegidas Fonte: INPE/DETER, 2014.....	64
Figura 39. Metodologia utilizada para qualificação dos Alertas DETER (polígonos em vermelho, azul e preto). Os polígonos em amarelo hachurado formam a máscara do PRODES/2007. ....	65
Figura 40. Na cor azul alerta DETER emitido em julho de 2008, não identificado como área desmatada nas imagens R99-SAR/SIPAM. ....	66
Figura 41. Cobertura de nuvens em Novo Repartimento-PA .....	67
Figura 42. Cobertura de nuvens e Alertas em Novo Repartimento-PA.....	67
Figura 43. Evolução do desmatamento no município de Iranduba-AM no período de 2000 a 2013. ....	68
Figura 44. Taxas de desmatamento no Amazonas e Iranduba .....	69
Figura 45. Desmatamento em Iranduba-AM até 2013, mapeado nas imagens R99-SAR/SIPAM.....	70
Figura 46. Comparação entre mapeamento PRODES e R99-SAR de uma mesma área no município de Iranduba-AM. Os polígonos amarelos hachurados correspondem a áreas desmatadas (corte raso).....	71
Figura 47. Regeneração da vegetação na área de Iranduba, mostradas nas imagens LANDSAT de 1989 e 2014. ....	72
Figura 48. Desmatamento em Iranduba-AM, dentro da APA Margem Direita do Rio Negro. ....	73
Figura 49. Mapa de uso da terra em Iranduba-AM.....	74

Figura 50. Uso da terra em Iranduba-AM.....	75
Figura 51. Criação de gado na área rural de Iranduba-AM (Dez, 2014). ....	76
Figura 52. A Ponte Rio Negro. Ao fundo a capital Manaus. ....	77
Figura 53. Loteamentos no município de Iranduba (13/Dez/ 2014).....	78
Figura 54. Evolução temporal do desmatamento no loteamento visitado no Ramal do Janauari, zona rural de Iranduba-AM .....	79
Figura 55. Obras de duplicação da Rodovia AM-070 Fonte: Rodrigues et al., 2014.	79
Figura 56. Localização da área onde será construída a Cidade Universitária da Universidade Estadual do Amazonas.....	79
Figura 57. Via de acesso à Cidade Universitária em Iranduba-AM (13/dez/2014). ....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Desmatamento observado nos estados da Amazônia Legal.....	22
Tabela 2. Resultado da análise do desmatamento dos 36 municípios prioritários. ...	35
Tabela 3. Associação entre as principais fontes de retroespalhamento e a faixa de microondas.....	377
Tabela 4. Parâmetros de aquisição e processamento das imagens R99-SAR/SIPAM utilizadas na pesquisa. ....	466
Tabela 5. Análise qualitativa e quantitativa dos polígonos de desmatamento da MISSÃO SIPAM/SAR-MMA/2008 utilizados na identificação de áreas desmatadas em Novo Repartimento-PA.....	633
Tabela 6. Resultado da qualificação dos Alertas DETER. ....	655

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Bandas do satélite LANDSAT 8 .....	49
Quadro 2. Chave de interpretação das classes temáticas nas imagens R99-SAR...61	

## CAPÍTULO 1

### 1. INTRODUÇÃO

As regiões neotropicais concentram aproximadamente 57% de todas as florestas tropicais do mundo, as quais são reconhecidas como um importante repositório de diversidade biológica (Ayres et al., 2005). Em nível global a região Amazônica representa o maior trecho de floresta tropical não perturbada (GASCON et al., 2002). Contudo, a cobertura florestal da Amazônia brasileira vem sofrendo alterações devido ao desflorestamento. O Brasil tem sido o líder mundial em desmatamento de florestas tropicais, com uma média de 19.500 km<sup>2</sup>/ano, dados medidos entre 1996 e 2005. Esta conversão da floresta para pastagens e terras agrícolas tem liberado de 0,7 a 1,4 GtCO<sub>2</sub>e (bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes) por ano para a atmosfera (NEPSTAD, 2009). A retirada da floresta provoca sérios impactos ambientais, tais como a perda da biodiversidade, emissão dos gases de efeito estufa, impacto na ciclagem da água, além dos impactos sociais em populações tradicionais (HALL, 2000).

O desmatamento na Amazônia é causado principalmente pela ocupação humana, exploração madeireira e expansão agropecuária. Aliadas a fatores macroeconômicos, as obras de infraestrutura são umas das principais causas impulsionadoras de desmatamentos (FEARNSIDE, 1989; ESCADA e ALVES, 2001; LAURANCE et al., 2002; SOUZA Jr. et al., 2005). Até 1970 a floresta Amazônica permaneceu praticamente intacta (FEARNSIDE, 2005), porém incentivos fiscais na década de 70 e 80 fomentaram projetos de colonização através de atividades econômicas como agricultura e pecuária (SKOLE et al., 2004). Entre os anos de 1990 até 2003, as taxas de desmatamento variaram de acordo com o momento econômico vivido pelo país (FEARNSIDE, 2005; ALENCAR et al., 2004).

A partir da recuperação da economia brasileira com a implantação do Plano Real, as taxas de desmatamento anuais iniciaram uma curva ascendente expressiva e consistente, partindo de 13 mil km<sup>2</sup> em 1997, até atingir 27mil km<sup>2</sup> em 2004, taxa somente menor do que os 29 mil km<sup>2</sup> verificados em 1995, ano em que o Plano Real teve início (FEARNSIDE, 2005). A partir de 2004 as taxas de desmatamento começaram a diminuir, coincidindo com a criação do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) por parte do Governo Federal, onde foram intensificadas as ações de monitoramento,

fiscalização e combate ao desmatamento ilegal na Amazônia brasileira. Em 2008, o governo brasileiro comprometeu-se a reduzir o desmatamento para 20% da taxa histórica até 2020, motivado pela queda das taxas de desmatamento (NEPSTAD et al., 2009). Dentre as diretrizes do PPCDAm, destaca-se o desenvolvimento de novas estratégias de monitoramento, baseadas em informações geradas a partir de dados de sensores remotos.

A observação da Terra por sensores a bordo de satélites e aeronaves possibilitou importantes avanços nos métodos, bem como a eficiência do mapeamento e monitoramento dos ecossistemas terrestres, notadamente através de suas coberturas vegetais (ABER e MELLILLO, 2001). O uso de sensores remotos tem apresentado sucesso em aplicações que envolvem grandes extensões territoriais e permitido estudos com resultados satisfatórios.

No Brasil, os principais projetos para o monitoramento do desflorestamento da Amazônia são desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. O Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira (PRODES) mede as taxas anuais de corte raso desde 1988, para incrementos superiores a 6,25 hectares e o Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER), criado em 2004, apóia à fiscalização e controle do desmatamento da Amazônia e divulga mensalmente um mapa de alertas, com polígonos maiores que 25 hectares, indicando áreas totalmente desmatadas (corte raso) e áreas em processo de desmatamento por degradação florestal progressiva (INPE, 2008).

Fora da esfera governamental, o Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), associação sem fins lucrativos, qualificada pelo Ministério da Justiça do Brasil, desenvolve o programa denominado Sistema de Alertas de Desmatamento (SAD). O SAD monitora o desmatamento em áreas de floresta na Amazônia e começou a operar em 2006, abrangendo inicialmente os Estados do Mato Grosso e Pará e em 2008 toda a extensão da Amazônia Legal (IMAZON, 2010).

Os programas de monitoramento do desflorestamento supracitados utilizam sensores que operam na faixa espectral do óptico. Ainda que permitam, de forma operacional, monitorar as florestas da Amazônia, tais programas apresentam restrições quanto à aquisição de insumos (imagens), devido aos fatores atmosféricos típicos de regiões tropicais. A intensa cobertura por nuvens na Amazônia, principalmente ao longo dos meses de novembro a março, representa um

obstáculo para o monitoramento contínuo da região por meio do sensoriamento remoto, sobretudo aquele realizado com sensores ópticos (ASNER, 2001).

Essa lacuna poderia ser preenchida com o uso de imagens de Radar de Abertura Sintética (SAR), que opera na faixa das micro-ondas, com comprimento de onda e frequência que propiciam a transmissão da radiação eletromagnética através de nuvens e fumaça, complementando e validando as informações obtidas por meio de imagens ópticas (COSTA et al., 2011).

O objetivo geral desse trabalho foi analisar o uso de imagens R99-SAR/SIPAM no programa de monitoramento da floresta Amazônica. Os objetivos específicos foram os seguintes:

- Avaliar o uso de imagens R99-SAR/SIPAM para qualificação de polígonos de alertas do projeto DETER/INPE;
- Analisar as diferenças de mapeamentos feitos pelo PRODES/INPE e pela interpretação visual de imagens R99-SAR/SIPAM;
- Caracterizar e mapear áreas desmatadas no município de Iranduba-AM utilizando imagens R99-SAR/SIPAM.

## CAPÍTULO 2

### 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 2.1. O desmatamento na Amazônia brasileira

De acordo com Fearnside (2005), a floresta amazônica brasileira permaneceu praticamente intacta até 1970, ano da inauguração da rodovia Transamazônica. Outros projetos de construção de grandes rodovias (Belém-Brasília, BR-163, BR-319, etc.) também abriram caminho para a migração e colonização na Amazônia legal. Os incentivos fiscais foram um forte condutor do desmatamento nas décadas de 1970 e 1980.

Financiamentos para grandes fazendas via projetos aprovados pela Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), iniciaram a expansão da fronteira agropecuária, causando a substituição da floresta por pastagens e áreas agrícolas (ALVES, 2002; FEARNSIDE, 2005).

O desmatamento da floresta amazônica sofria influência da situação econômica que vivia o país e das políticas governamentais aplicadas na época. Um breve período de recessão na economia brasileira, de 1987 a 1991, coincide com a queda nos índices do desmatamento nesse período (FEARNSIDE, 2005).

Outro fator determinante para o aumento do desmatamento foi a apropriação por parte do governo federal de uma zona de 100 quilômetros de cada lado das principais estradas para projetos de colonização e agricultura. Entre os anos de 1978 e 1994, 75% do desmatamento ocorreram no entorno de 100 km ao longo das rodovias BR-010 (Belém-Brasília), BR-364 (Cuiabá-Porto Velho) e PA-150 (Pará) (NEPSTAD et al., 2001).

Estudo realizado por Alves (2002) mostrou que no período de 1991 a 1997 cerca de 90% do desmatamento ocorreu dentro de 100 km de estradas principais estabelecidas no âmbito de programas federais de fomento.

Para Fearnside (2005) o pico de desmatamento de 1995 foi um reflexo da recuperação econômica do Plano Real, bem como a diminuição do desmatamento em 1997 foi causado pela queda da inflação no mesmo ano, fazendo com que a especulação de bens duráveis como a terra, passasse a ser um negócio não atrativo.

A associação das maiores variações na taxa de desmatamento com os fatores macroeconômicos tais como a disponibilidade de capital e o índice de inflação, é uma indicação de que a maior parte desse desmatamento é realizado mais por aqueles que investem em fazendas médias e grandes de criação de gado, que por pequenos fazendeiros que usam a força de trabalho familiar (FEARNSIDE, 2005).

Desde 1988 os dados de desmatamento na Amazônia são disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), através do PRODES (Projeto de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia Legal), divulgando taxas anuais de desmatamento.

A partir de 1989 foi criado o Programa Amazônia pelo decreto 7.797 (Brasil, 1989) e as taxas de desmatamento da Amazônia passaram a ser estimadas e divulgadas anualmente. Nos levantamentos da década de 90, o termo desmatamento foi substituído por desflorestamento para dar conotação mais explícita de que o desmatamento mapeado restringia-se apenas às áreas de fisionomia florestal (INPE, 2008).

Em 2002, o Governo Federal criou o Programa Áreas Protegidas da Amazônia, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), com o objetivo de expandir e fortalecer o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) na Amazônia, protegendo mais de 60 milhões de hectares de floresta (ARPA, 2011)

Em 2004 foi registrada a segunda maior alta nas taxas de desmatamento da Amazônia Legal, segundo dados do PRODES. Neste ano entrou em vigor o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm). Na primeira fase do PPCDAm (2004-2008) foram criados mais de 25 milhões de hectares de Unidades de Conservação federais e homologação de 10 milhões de hectares de Terras Indígenas.

Ainda em 2004 o governo federal solicitou ao INPE que criasse um sistema de apoio à fiscalização e ao combate a todas as formas de desmatamento (INPE, 2008). Além do aprimoramento dos programas existentes, o INPE criou o projeto Deter (Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real na Amazônia), um sistema de apoio à fiscalização e controle do desmatamento da Amazônia.

Desde então teve início uma trajetória de redução nas taxas de desmatamento, e no ano de 2012 a taxa foi de 4.656 km<sup>2</sup> de área desmatada, a menor já registrada pelo PRODES (Figura 01).

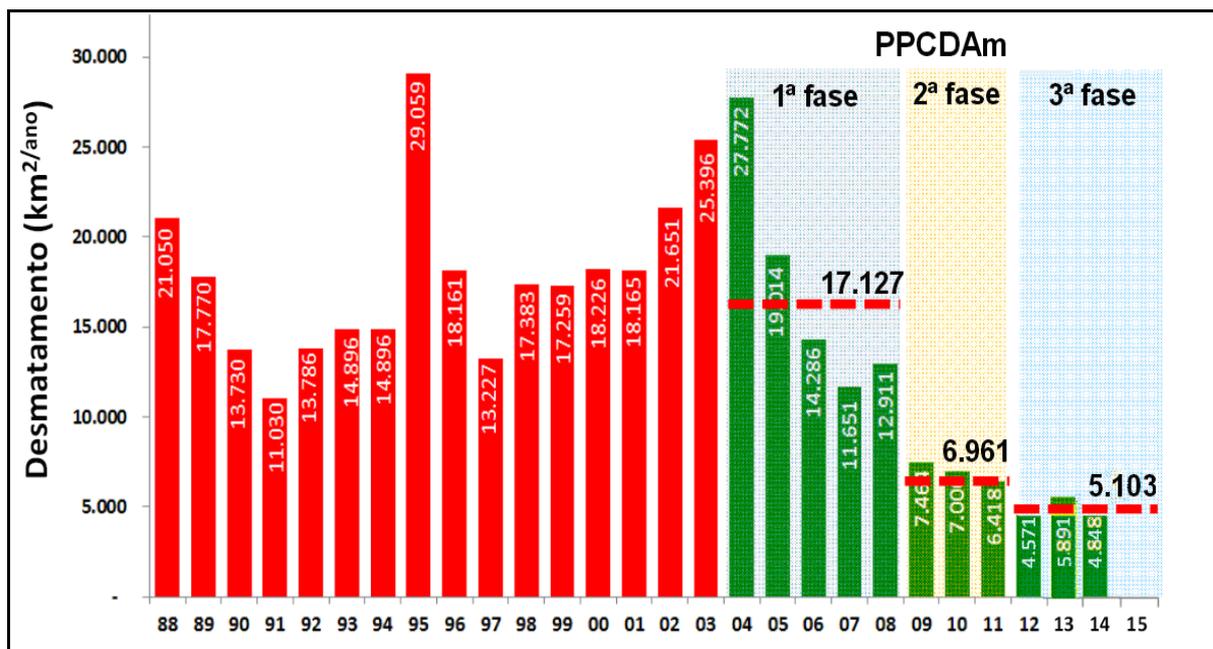


Figura 01. Taxas de desmatamento anual na Amazônia Legal divulgadas pelo PRODES/INPE e as fases do PPCDAm.

Fonte: Adaptado de MMA, 2015.

Em 2008, a Operação Arco Verde, autorizada pela Portaria nº 28 do MMA, estabeleceu um acordo entre o Ministério do Meio Ambiente (MMA), a Força Aérea Brasileira (FAB) e o Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM), realizando o monitoramento e análise do desmatamento em 36 municípios situados no Bioma Amazônia, selecionados como os que apresentavam maiores taxas de desmatamento ilegal na Amazônia brasileira. Em 2009 a operação se repetiu, sendo denominada Operação Arco de Fogo. Além de analisar novamente os 36 municípios monitorados em 2008, foram acrescentados sete novos municípios com altos índices de desmatamento, totalizando 43 municípios monitorados.

Além do programa PRODES e do projeto DETER, atualmente o INPE possui outros dois programas que ajudam a monitorar a cobertura vegetal na Amazônia brasileira. São eles o DEGRAD (Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira) sistema destinado a mapear áreas em processo de desmatamento onde a cobertura florestal ainda não foi totalmente removida e o QUEIMADAS (Mapeamento de queimadas e incêndios), monitoramento operacional de focos de queimadas e de incêndios florestais detectados por satélites, e o cálculo e previsão do risco de fogo da vegetação (INPE, 2014).

De acordo com os dados do INPE, a área cumulativa desmatada na Amazônia Legal brasileira até 2014 foi de aproximadamente 785 mil km<sup>2</sup>, correspondendo a 19,6% da floresta. Esse desmatamento não é distribuído homogeneamente, e continua concentrado ao longo do denominado “arco do desmatamento”, cujos limites se estendem do sudeste do estado do Maranhão, ao norte do Tocantins, sul do Pará, norte de Mato Grosso, Rondônia, sul do Amazonas e sudeste do estado do Acre (Figura 02).

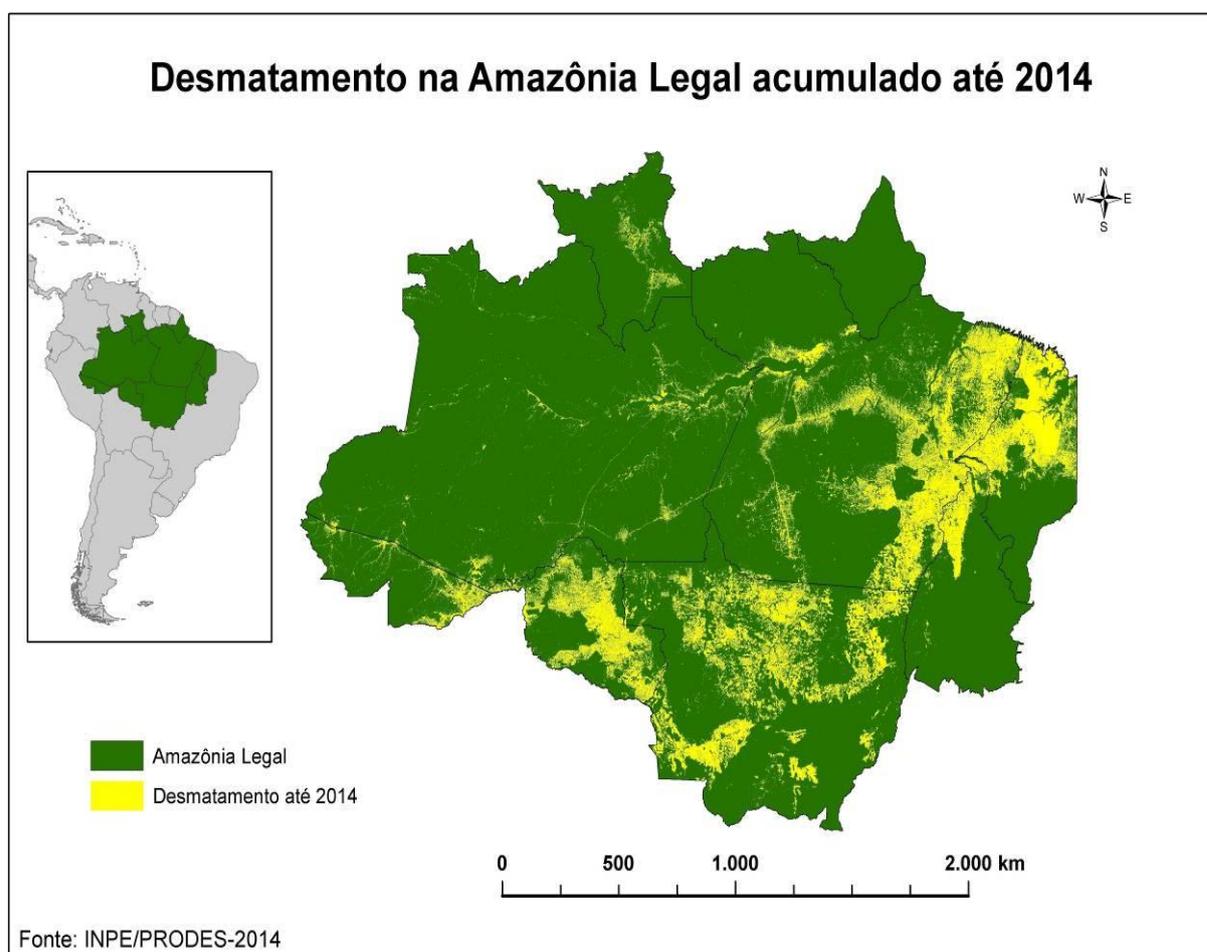


Figura 02. O “arco do desmatamento” na Amazônia Legal.

Entre 1988 e 2014, período em que a Amazônia Legal vem sendo monitorada pelo INPE com imagens de satélite, os estados que mais desmataram na Amazônia brasileira foram Pará, Rondônia, Mato Grosso e Maranhão, que, juntos, corresponderam por 87,4% do desmatamento observado nesse período (Tabela 1).

Tabela 1. Desmatamento observado nos estados da Amazônia Legal

Estados	Período de 1988 a 2014	
	Área em km <sup>2</sup>	%
Mato Grosso	138.289	33,9
Pará	137.923	33,8
Rondônia	55.439	13,7
Maranhão	24.184	6,0
<b>TOTAL</b>	<b>355.835</b>	<b>87,4</b>
Outros Estados	51.675	12,6
Amazônia Legal	407.511	

Fonte: INPE, 2015.

## 2.2. Dados PRODES

Desde 1988, o INPE vem realizando levantamento sistemático das taxas de desflorestamento na Amazônia Legal. O Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia (PRODES) estima taxas anuais do desmatamento bruto e detecta exclusivamente desmatamentos do tipo “corte raso” superiores a 6.25 ha (Figura 03). A partir do ano de 2002, estas estimativas passaram a ser produzidas por classificação digital de imagens. A principal vantagem deste procedimento está na precisão do georreferenciamento dos polígonos de desflorestamento, de forma a produzir um banco de dados geográfico multitemporal.

O PRODES utiliza aproximadamente 220 imagens dos satélites LANDSAT/CBERS, com resolução de espacial 30 m e 20 m. As imagens utilizadas formam uma grade que recobre toda a Amazônia, composta de um conjunto de órbitas e de pontos. O monitoramento necessita de pelo menos oito meses para ser finalizado, quando então os dados produzidos são divulgados e disponibilizados na internet. A partir dos incrementos de desflorestamento identificados em cada imagem, as taxas anualizadas são estimadas para a data de 1º de agosto do ano de referência (PRODES, 2014).

Em 2005 o INPE substituiu o uso da metodologia de classificação automática das imagens e passou a utilizar o sistema TerraAmazon como base tecnológica e a interpretar as imagens de forma visual delimitando os polígonos diretamente na tela do sistema (CÂMARA et al., 2006).



Figura 03. Desmatamento do tipo “corte raso”.  
Fonte: INPE, 2014.

De acordo com Escada et al. (2011), o PRODES tem demonstrado ser de grande importância para ações e planejamento de políticas públicas da Amazônia. Porém, o tempo para a produção de dados cobrindo toda a extensão da Amazônia Legal e a pouca disponibilidade de imagens com baixa cobertura de nuvens (INPE, 2010; CÂMARA et al., 2006), tornam o sistema não adequado para ações de prevenção, fiscalização e controle do desmatamento no curto prazo.

### 2.3. Dados DETER

Conforme descrito anteriormente, o monitoramento das áreas de florestas da Amazônia Legal (PRODES) realizado anualmente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) revela taxas de desflorestamento anuais. Do ponto de vista de políticas públicas, a análise de dados feita pelo PRODES é ainda insuficiente como base de ação governamental. Como os dados são agregados por estado e publicados seis meses após as ocorrências dos eventos de desmatamento, os governos federal e estadual não podem se antecipar à dinâmica de mudança de uso da terra na Amazônia. Deste modo, era preciso complementar os dados do

PRODES com outras iniciativas que permitam ao Estado Brasileiro uma ação preventiva de combate às atividades ilícitas de desmatamento (Valeriano et al., 2005).

Utilizando dados do sensor MODIS do satélite Terra/Aqua e do Sensor WFI do satélite CBERS, o Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER) entrou em operação em maio de 2004 e passou a fazer parte do programa de monitoramento da Amazônia realizado pelo INPE. Trata-se de um levantamento rápido, utilizando sensores ópticos de alta resolução temporal (diária) e de resolução espacial de 250 m (SHIMABUKURO et al., 2005, SHIMABUKURO et al., 2006). Por esta razão o DETER mapeia tanto áreas de corte raso quanto áreas em processo de desmatamento por degradação florestal. O sistema possibilita detectar desmatamentos não cobertos por nuvens, com áreas maiores que 25 ha (DETER, 2014).

O DETER é parte das atividades do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal, e tem como objetivo fornecer rapidamente aos órgãos de controle ambiental informações periódicas sobre eventos de desmatamento, para que o governo possa tomar medidas de contenção e repressão. A produção pelo sistema, de informações sobre as regiões onde estão ocorrendo novos desmatamentos, em curtos intervalos, disponibiliza à sociedade brasileira uma ferramenta inovadora de suporte à gestão de terras na Amazônia (JUNIOR et al., 2007).

O objetivo principal do DETER é fornecer informação estratégica ao IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) sobre localização e indicativo de área de evidências de eventos de desmatamento por corte raso e de degradação florestal.

Além dos mapas com os limites dos Alertas DETER, mensalmente o INPE publica um relatório com a análise dos alertas (qualificação) baseada em imagens de satélites de média resolução espacial. Antes da divulgação dos dados quinzenais de alertas do DETER na internet (<http://www.obt.inpe.br/deter/>) faz-se uma qualificação por amostragem dos polígonos identificados durante o mês de referência (AMARAL et al., 2009). Esse relatório passa a ser bimestral no período de novembro a abril, meses que tradicionalmente apresentam sérias limitações de observação devido às condições meteorológicas (DETER, 2014). A Figura 04

apresenta a amostragem realizada para a qualificação dos alertas DETER para o mês de agosto de 2008.

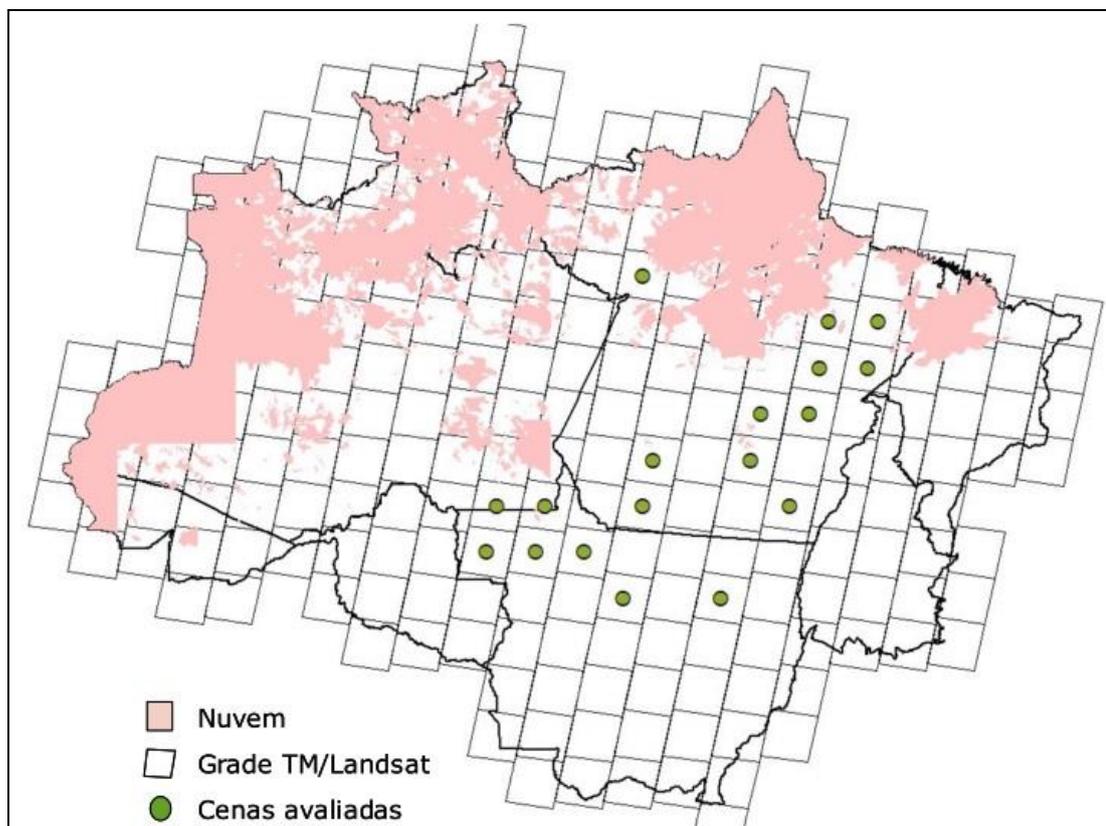


Figura 04. Cobertura de nuvens (rosa) e cenas qualificadas dos alertas DETER para agosto de 2008.

Fonte: INPE/DETER, 2014.

A qualificação dos alertas do DETER tem como objetivo caracterizar os dados quanto ao processo de desmatamento em que a área está sendo submetida. Para a qualificação, faz-se uso de imagens provenientes de sensores a bordo dos satélites LANDSAT 5/TM ou IRS/P6 adquiridas em período equivalente ao das imagens MODIS, com resolução espacial mais fina, aproximadamente 30 m (DETER, 2014). Outra fonte de dados para validar os alertas DETER são as expedições de campo realizadas com órgãos parceiros do INPE (AMARAL et al., 2009).

## 2.4. SENSORIAMENTO REMOTO POR RADAR

### 2.4.1. Características gerais

Os sensores remotos são sistemas fotográficos ou óptico-eletrônicos capazes de detectar e registrar, sob a forma de imagens ou não, o fluxo de energia radiante refletido ou emitido por objetos distantes. Podem ser classificados em função da fonte de energia como ativos ou passivos. Os sistemas ativos possuem sua própria

fonte de radiação eletromagnética, trabalhando em faixas restritas do espectro enquanto que os sistemas passivos, por não possuírem fonte própria de radiação, realizam a medição da radiação solar refletida ou radiação emitida pelos alvos (SPRING-DPI/INPE, 2009).

O termo RADAR (*Radio Detection and Ranging*) refere-se a um dispositivo sensor ativo capaz de detectar informações dos alvos através da indicação da sua posição e distância (SABINS, 1996). Sensores que operam na faixa de microondas podem adquirir dados independentemente da radiação solar e em condições meteorológicas adversas (SABINS, 1996; JENSEN, 2007).

O radar imageador é um sensor de radiofrequência que permite derivar informações sobre características físicas e elétricas dos alvos. A capacidade de prover imagens de elevada resolução espacial, de modo independente de condições atmosféricas e fonte solar, é particularmente importante para regiões como a Amazônia (PARADELLA et al., 2005).

Os radares imageadores utilizam ondas eletromagnéticas na faixa de microondas. São considerados sensores ativos por possuírem a capacidade de gerar sua própria radiação cujo comprimento de onda varia entre 1cm a 1,5m (0.3 a 300 GHz) como mostra a Figura 05.

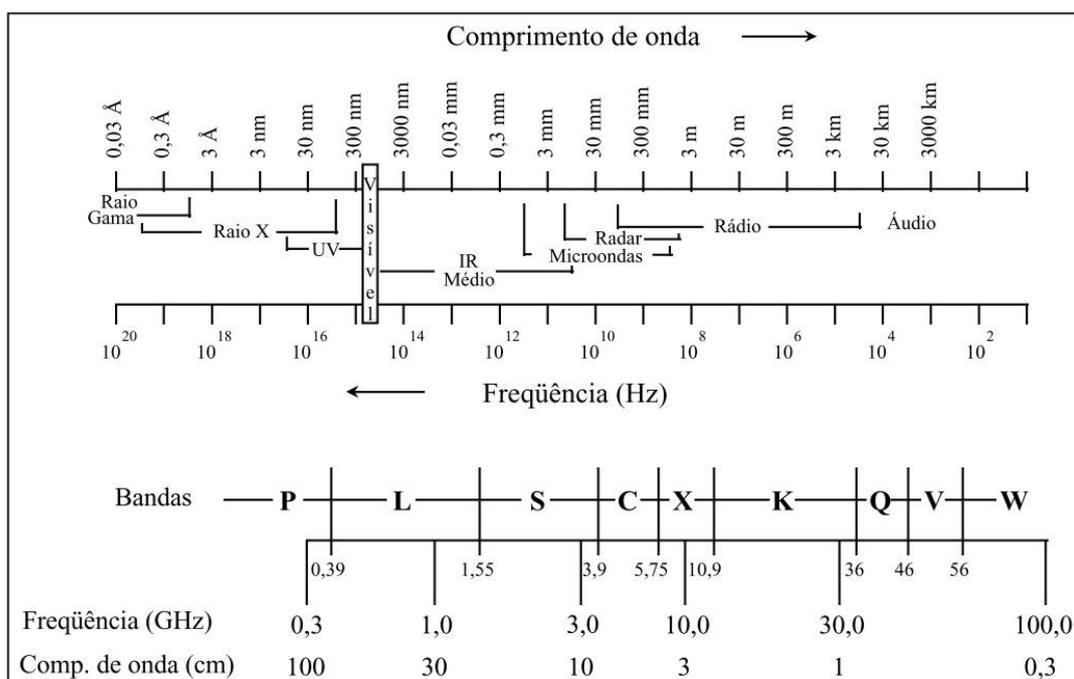


Figura 05. Espectro eletromagnético e bandas da região de microondas.  
Fonte: Adaptada de Dallemand et al. (1993).

Em sistemas ativos a antena transmite sinal em microondas em direção aos alvos na superfície terrestre onde o sinal emitido é retroespalhado. Uma parcela deste sinal retorna na direção do próprio sensor, o que é chamado de retroespalhamento (“*backscattering*”) e é recuperada à medida que o sensor se desloca (JENSEN, 2009).

Dentro da classe dos radares imageadores, existem os radares de abertura real (*Real Aperture Radar – RAR*) e radares de abertura sintética (*Synthetic Aperture Radar – SAR*). Um sistema RAR utiliza o aumento das dimensões físicas da antena para estreitar o feixe do sinal microondas emitido e, deste modo, obter melhores resoluções espaciais na direção de vôo para a construção da imagem. Já um sistema SAR usa um sofisticado processamento de sinais para sintetizar uma antena maior do que seu tamanho físico real para a mesma finalidade (MURA, 2000).

O surgimento e a disponibilidade de dados de radar nas últimas duas décadas possibilitou uma quantidade significativa de projetos de pesquisa voltados a investigar o potencial destas imagens para gerar informações e o monitoramento terrestre, com ênfase no uso e cobertura da terra e detecção de mudança de cobertura (COSTA, 2011). Os radares de abertura sintética (SAR) acrescentam informações além das já fornecidas pelos sensores ópticos e ainda a detecção de mudança da cobertura vegetal e a quantificação e qualificação da estrutura do dossel (ROSENQVIST et al., 2003).

#### **2.4.2. Geometria de imageamento**

Sistemas de Radar são sensores que funcionam através de visadas laterais e, por consequência, os parâmetros geométricos dominantes na cena são: o ângulo de incidência, o ângulo de incidência local (pixel), a direção de visada e o comprimento de onda, assim como, as características da superfície, tais como declividade, inclinação e estrutura (GLOBE SAR, 2012).

A plataforma se desloca para frente na direção de voo com o nadir diretamente abaixo da plataforma. O feixe de microondas é transmitido obliquamente em ângulos retos a direção de voo, iluminando uma faixa do terreno (Figura 06). O alcance (Range) refere-se a dimensão linear perpendicular à faixa direção de voo, enquanto o azimute refere-se ao longo da trajetória paralela a direção de voo (CCRS, 2007).

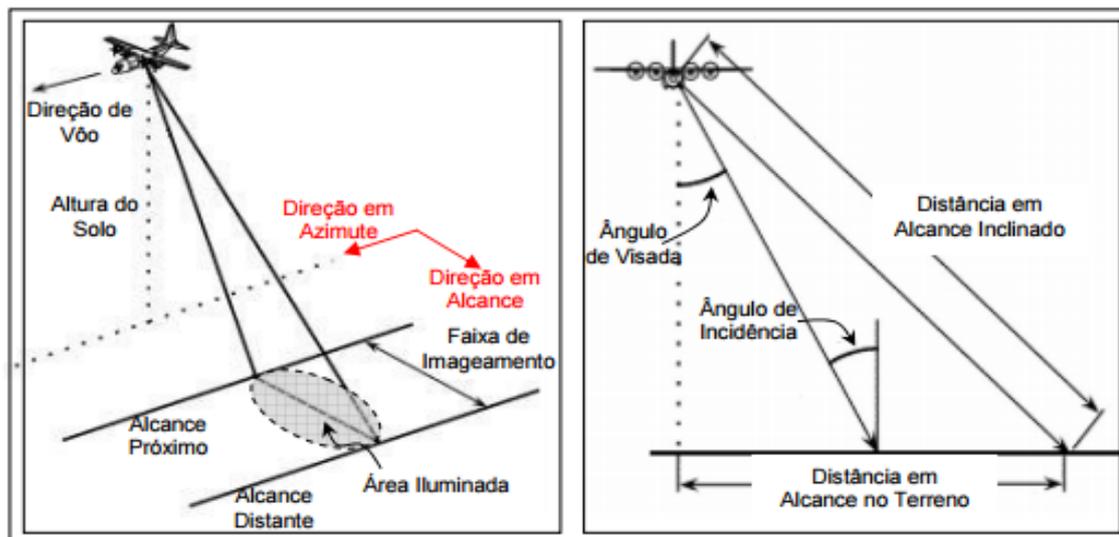


Figura 06. Geometria de aquisição das imagens SAR  
 Fonte: Adaptado de CCRS, 2007.

O ângulo de incidência ( $\theta_i$ ) do radar é aquele formado entre o pulso de microondas incidentes e uma reta vertical estabelecida em relação à Terra (KUPLICH, 2003). O uso de ângulos de incidência específicos pode auxiliar na identificação de determinadas feições na superfície terrestre. Geralmente,  $\theta_i$  menores resultam em maior retroespalhamento, apesar do retroespalhamento ser independente de  $\theta_i$  para superfícies muito rugosas. Ângulos de incidência elevados determinam uma *maior quantidade do objeto* imageado e conseqüentemente, resultam em maiores perdas e um menor retroespalhamento. A rugosidade das superfícies varia em função do ângulo de incidência local (LEWIS e HENDERSON, 1998).

### 2.4.3. Polarização

Quando se discute a energia de microondas, a polarização da radiação é extremamente importante. Polarização é a orientação do campo elétrico em uma onda eletromagnética (Figura 07). Os radares são projetados para transmitir radiação de microondas na polarização horizontal ou polarizado verticalmente. Da mesma forma, a antena recebe o retroespalhamento da energia polarizada horizontalmente ou verticalmente. Alguns radares podem receber transmitir e receber os dois tipos de polarização. As polarizações são designadas pelas letras H para horizontal, e V para a vertical (CCRS, 2007).

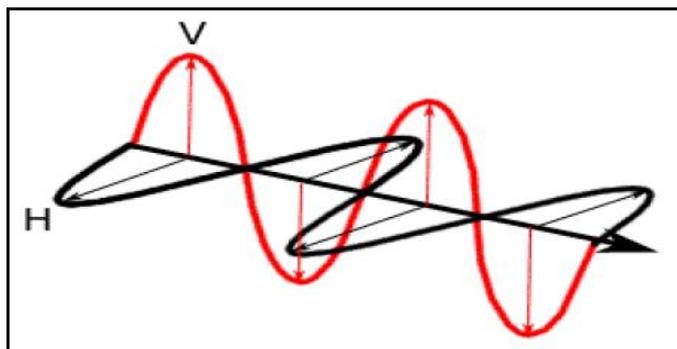


Figura 07: Orientação do campo elétrico  
Fonte: CCRS, 2007.

Considerando que um sistema radar emite e capta um pulso eletromagnético, pode haver quatro combinações de polarizações para transmissão e recepção:

- HH: transmissão na horizontal e recepção na horizontal;
- VV: transmissão na vertical e recepção na vertical;
- HV: transmissão na horizontal e recepção na vertical;
- VH: transmissão na vertical e recepção na horizontal.

Quando ocorre o imageamento com modo de aquisição programado com quatro combinações de sinais transmitidos e recebidos, neste caso, os dados são do tipo multipolarizados com todas as combinações de polarizações possíveis, ou seja, HH,HV,VH,VV (Figura 08).

Radares que operam em único canal, não possuem a capacidade de medir as propriedades dos alvos em sua plenitude, que são descritas pelas assinaturas polarimétricas. Tais informações podem ser adquiridas somente utilizando radares multipolarizados, pois transmitem comprimentos de ondas em ambas polarizações H e V, além de registrar as informações de amplitude e de fase do sinal recebido (COSTA, 2011).

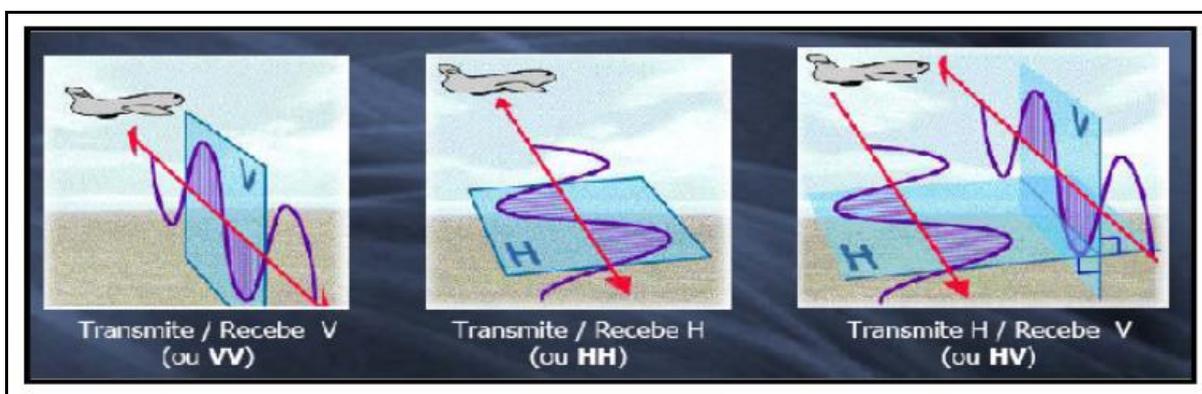


Figura 08: Modos de imageamento polarimétrico em sistema de radar aerotransportado.

Fonte: Adaptada de CCRS, 2009.

#### 2.4.4. Comportamento de alvos

A relação fundamental entre as características do sistema de radar, do alvo e do sinal que é transmitido pela antena, que interage com o alvo e novamente retorna para a antena (ULABY e DOBSON, 1989).

De acordo com Ulaby (1982), as superfícies imageadas por sensores radar são classificadas de acordo com o padrão do retroespalhamento nas seguintes categorias:

- Lisa: quando a superfície reflete a energia incidente de forma especular, com ângulo de reflexão na direção oposta ao ângulo de incidência;
- Intermediária: energia refletida de forma difusa pela superfície;
- Rugosa: a energia incidente é retroespalhada em várias direções de forma homogênea (Figura 09).

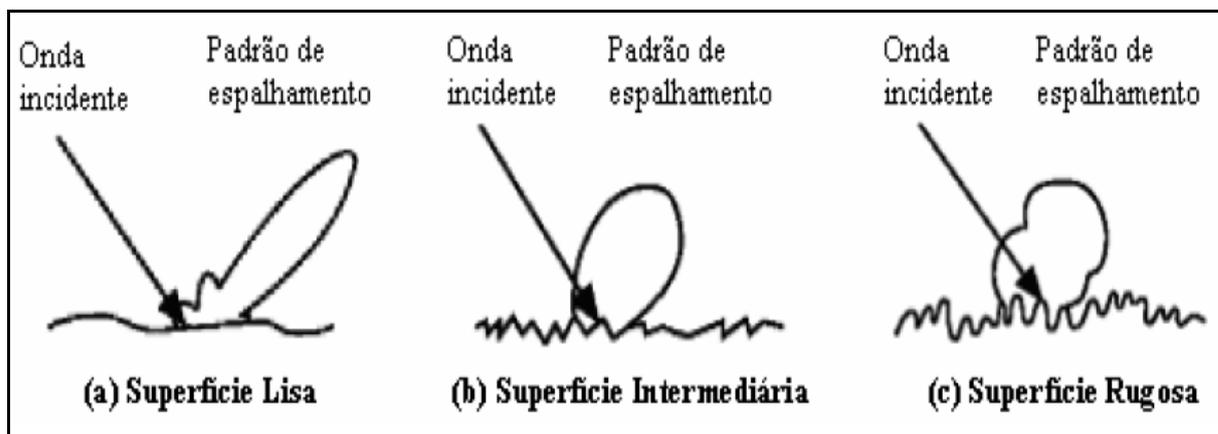


Figura 09: Modelo de padrões de espalhamento em sistema aerotransportado.  
Fonte: Adaptado de Ulaby (1982).

#### 2.4.5. Constante dielétrica

De acordo com Lewis e Henderson (1998), a constante dielétrica influencia fortemente a interação da radiação eletromagnética com a superfície do terreno, ou seja, o sinal de retroespalhamento do radar é influenciado pela umidade do solo e da vegetação. Um elevado conteúdo de umidade resulta em uma constante dielétrica alta, e conseqüentemente em um alto sinal de retorno. Um conteúdo de umidade baixo implica em uma constante dielétrica baixa e um baixo sinal de retorno, exceto em caso de solos muito secos, onde ocorre uma maior penetração na superfície.

Tal fenômeno em ambientes florestais causa alta refletividade no sinal emitido conforme o teor de umidade contido no dossel, quanto maior o teor de umidade maior será o efeito da constante dielétrica (ULABY e BATLIVALA, 1976).

## 2.5. Imagens R99-SAR/SIPAM

Saatchi (1997) analisaram o desmatamento e uso da terra em áreas do Estado de Rondônia, usando classificadores automáticos nas imagens SAR polarimétricas do radar SIR-C, obtendo o mapeamento de cinco classes temáticas com cerca de 72% de precisão.

Angelis et al. (2002) utilizaram dados do JERS-1 SAR para avaliar a evolução temporal do uso e cobertura da terra na Floresta Nacional do Tapajós, no estado do Pará e mostraram que o comportamento do restrespalhamento das imagens SAR em áreas de rebrota é influenciado pelo uso anterior do solo e por impactos humanos como incêndios e corte seletivo.

Ao fazer um estudo multitemporal do desmatamento na porção oeste da Amazônia brasileira, utilizando imagens do sensor JERS-1 SAR, Almeida Filho et al. (2007) afirmam que a detecção de áreas desflorestadas é facilmente identificada em imagens SAR devido à alta resposta de sinal em banda L quando se faz o uso da polarização HH durante a análise.

Guerra et al., (2010) obtiveram bons resultados ao realizarem classificações automáticas de imagens R99-SAR/SIPAM em banda L para discriminação de incrementos de desflorestamento em Rio Branco e Bujari, no estado do Acre.

Aboud Neta (2009) avaliou o potencial de imagens de radar do satélite ALOS para discriminar incremento de desflorestamento na Floresta Nacional de Tapajós-PA e encontrou melhores resultados na aplicação do classificador *Bhattacharyya* na polarização dual HH+HV.

Costa et al. (2011) utilizou classificação automática de imagens R99-SAR/SIPAM em banda L para discriminar classes de uso e cobertura da terra na região de Manaus-AM, obtendo as melhores classificações para a polarização dual HH e VV com o classificador MAXVER-ICM e HH, HV e VV com o classificador SVM, ambos com aplicação de filtros.

Através da interpretação visual, Kux et al. (1998) utilizaram imagens RADARSAT para detectar áreas urbanas, corpos d'água e o padrão geral de desmatamento no do estado do Acre.

Amaral et al. (2009) simularam o uso imagens ALOS/PALSAR (polarização HH) na qualificação dos alertas DETER, onde aproximadamente 50% dos polígonos pode ser detectados sem ortorretificação e calibração radiométrica.

De acordo com Kuplich (2003), mesmo se os mecanismos de interação entre as microondas e os componentes vegetais ainda não estão totalmente conhecidos, o tipo de informação oferecida pelos dados SAR assegura sua permanência como dado único e complementar para o estudo de florestas.

Atualmente, existem diferentes sistemas geradores de imagens SAR em nível orbital que operam em distintas bandas, frequências e polarizações, como o RADARSAT-2, TerraSAR-X e a constelação COSMO-SkyMed. Quanto aos aerotransportados, destaca-se o sensor do Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM), órgão federal subordinado ao Ministério da Defesa, que possui o sensor R99-SAR operando nas bandas L e X, e no setor privado o radar desenvolvido pela empresa OrbiSat da Amazônia, o OrbiSAR RFP (Radar para Penetração em Folhagem) que opera na banda P e X.

Em 2008, o Ministério do Meio Ambiente (MMA), estabeleceu um acordo com o CENSIPAM e solicitou o imageamento de 36 municípios situados no Bioma Amazônia que mais apresentaram aumento da taxa de desmatamento no período de 2003 a 2007. O CENSIPAM foi responsável pelo processamento e análise dos dados, gerando como produto final mapas do desmatamento dos 36 municípios em questão (CENSIPAM, 2008). As áreas desmatadas (corte raso) foram mapeadas e vetorizadas em ambientes de SIG (Sistemas de Informações Geográficas), utilizando-se como método a interpretação visual das imagens R99-SAR/SIPAM (COSTA et al., 2011).

A assimilação de dados R99-SAR/SIPAM no programa de monitoramento da Amazônia poderá complementar as atividades do PRODES e DETER. Estes dados poderão gerar maior precisão na detecção de desmatamento devido a melhor resolução espacial (3, 6 e 18 metros) e, principalmente, cobrir áreas com constante cobertura de nuvens, como é o caso da parte setentrional da Amazônia brasileira, onde os sensores ópticos tem capacidade limitada de monitoramento no período chuvoso.

O SIPAM dispõe de imagens geradas a partir do sensor SAR acoplado em três aeronaves Embraer ERJ-145, denominadas de R-99B, operadas pelo 2º Esquadrão do 6º Grupo de Aviação da Força Aérea Brasileira (ANDRADE e SANTA ROSA, 2005). O sensor entrou em funcionamento em 2003, nas atividades operacionais do SIPAM. O sistema permite a obtenção de informações sobre as características geométricas e elétricas dos alvos terrestres (COSTA et al., 2007).

O R99-SAR/SIPAM difere dos demais sensores radar pela capacidade de imageamento simultâneo com a banda L (1,27 GHz de frequência e 23,9 cm de comprimento de onda), nas polarizações HH, VV, VH e HV, e banda X na polarização HH. Possui a capacidade de medir as propriedades de polarização dos objetos através de assinaturas polarimétricas geradas pela transmissão de ondas em duas polarizações (COSTA et al., 2007).

O sensor coleta dados na banda X em um radome externo que abriga as duas antenas, que podem ser utilizadas em conjunto gerando, por meio de interferometria, Modelos Digitais de Elevação (MDE) (COSTA et al., 2011).

Instaladas acima do radome da banda X, as antenas da banda L são fixas uma de cada lado da aeronave, a fim de permitir o imageamento tanto à direita quanto à esquerda da aeronave (Figura 10).

O sensor R99-SAR/SIPAM possui opções de coleta em três resoluções espaciais: 3, 6 e 18 metros. Segundo Fonseca (2005), o imageador SAR foi concebido para executar o monitoramento em tempo real e a coleta de dados para o mapeamento da superfície, na faixa das microondas. Por ser um sensor ativo, é capaz de operar de dia e de noite, em condições meteorológicas adversas, na presença de chuva, nuvens, nevoeiro ou fumaça. Porém, o monitoramento em tempo real, tem sido executado somente durante a fase de coleta dentro das aeronaves R-99B, pois a geração das imagens necessita de processamento em estações de solo.

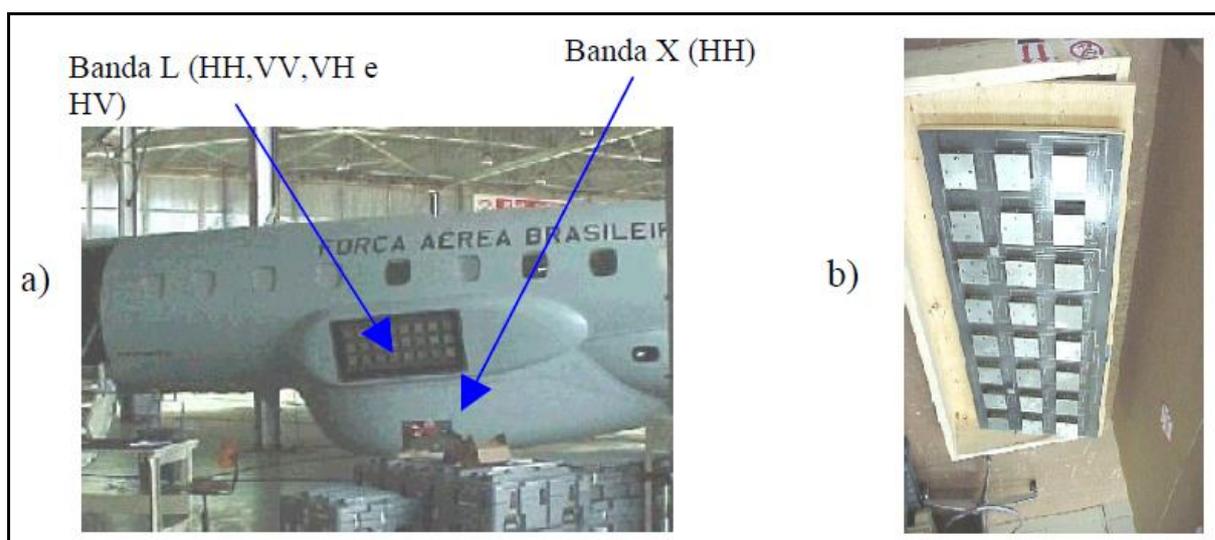


Figura 10. a) Localização das bandas L e X, do sensor R99-SAR/SIPAM. b) Detalhe da antena da banda L.

Fonte: Costa et al., 2007.

## 2.6. Missão SIPAM/SAR-MMA/2008

A Portaria 28/2008 do Ministério do Meio Ambiente autorizou a Missão SIPAM/SAR-MMA/2008, realizada pelo CENSIPAM em parceria com o Ministério do Meio Ambiente, integrando a Operação Arco Verde do Governo Federal. Foram analisadas as áreas de 36 municípios que mais apresentaram aumento da taxa de desmatamento no período de 2003 a 2007, na Amazônia Legal. Esses municípios foram considerados prioritários para ações de prevenção e controle do desmatamento no Bioma Amazônia (Figura 11).

O CENSIPAM foi o responsável pelo processamento das imagens obtidas por meio do sensor R99-SAR/SIPAM e análise do desmatamento. A análise foi realizada por município e teve como produto final mapas com a vetorização (polígonos) de toda área desmatada (corte raso). Para quantificar o desmatamento nos 36 municípios, foram aplicados dois métodos: Análise visual e análise automática. As imagens R99/SAR foram fusionadas com imagens LANDSAT – 5/TM e sobre essas imagens foram sobrepostos dados vetoriais de vegetação e limites municipais do IBGE, utilizados como apoio à interpretação.

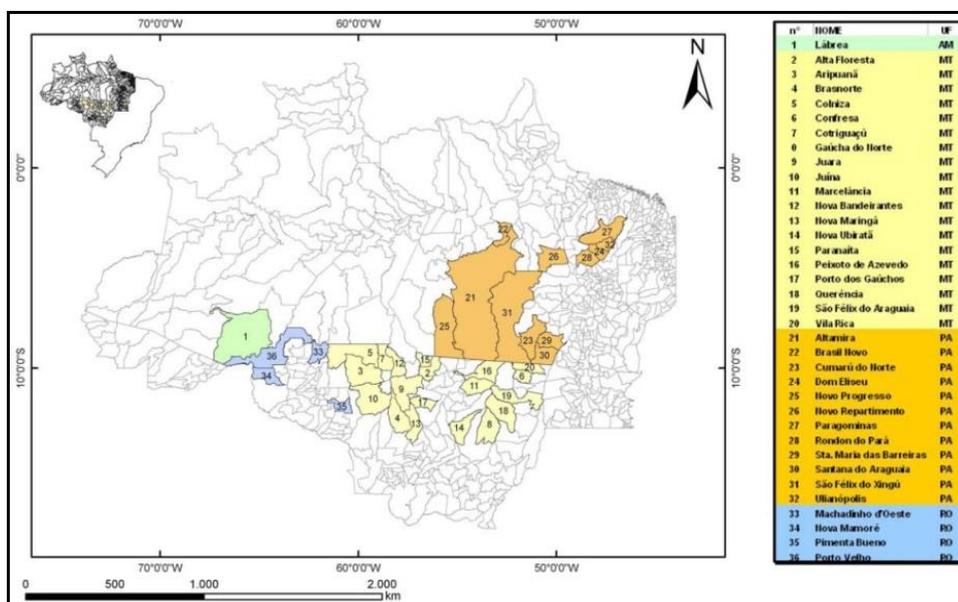


Figura 11. Municípios prioritários - Portaria 28/2008-MMA  
Fonte: Costa et al., 2011.

De acordo com o relatório final da Missão SIPAM/SAR-MMA/2008, a análise visual das imagens R99-SAR/SIPAM mostrou-se mais eficiente e apresentou melhores resultados que a análise automática (CENSIPAM, 2008).

A Tabela 2 descreve o resultado da análise do desmatamento dos 36 municípios prioritários.

Tabela 2. Resultado da análise do desmatamento dos 36 municípios prioritários.

UF	Município	Área (km <sup>2</sup> ) (IBGE)	Data de referência do imageamento	Total de segmentos	Área desmatada (km <sup>2</sup> )	Porcentagem do desmatamento
AM	Lábrea	68.233	Maio de 2008	35	2.772,1	4,06%
MT	Alta Floresta	8.947	Junho de 2008	9	4.400,57	49,18%
MT	Apucarã	25.049	Abril de 2008	24	3.309,1	13,21%
MT	Brasnorte	15.960	Junho de 2008	16	6.493,80	40,68%
MT	Colíza	27.952	Abril de 2008	17	3.218,72	11,51%
MT	Confresa	5.795	Março de 2008	7	3.379,04	58,3%
MT	Colnizaçu	9.124	Abril de 2008	6	1.548,66	16,97%
MT	Gaúcha do Norte	16.899	Abril de 2008	14	4.091,10	23,78%
MT	Juara	21.387	Junho de 2008	17	7.459,67	34,88%
MT	Juina	26.251	Junho de 2008	25	3.701,09	14,10%
MT	Marcelândia	12.294	Março de 2008	11	3.094,00	25,16%
MT	Nova Bandeirantes	9.531	Abril de 2008	10	2.726,33	28,60%
MT	Nova Maringá	11.512	Junho de 2008	12	2.959,21	25,70%
MT	Nova Ubiratã	12.695	Junho de 2008	11	5.698,04	44,88%
MT	Paranaíta	4.830	Junho de 2008	5	1.872,67	38,77%
MT	Peixoto de Azevedo	14.398	Março de 2008	16	3.066,27	21,25%
MT	Porto dos Gaúchos	7.010	Junho de 2008	9	2.741,99	39,11%
MT	Querência	17.850	Abril de 2008	17	5.106,75	28,61%
MT	São Félix do Araguaia	16.848	Abril de 2008	21	4.955,35	29,41%
MT	Vila Rica	7.434	Março de 2008	11	4.142,12	55,72%
PA	Altamira	159.698	Junho de 2008	96	6.223,3	3,90%
PA	Brasil Novo	6.368	Junho de 2008	12	2.216,66	34,81%
PA	Cumaru do Norte	17.085	Junho de 2008	22	6.625,8	38,78%
PA	Dom Eliseu	5.269	Setembro de 2008	8	3.222,39	61,15%
PA	Novo Progresso	38.164	Junho de 2008	36	4.957,41	12,99%
PA	Novo Repartimento	15.399	Setembro de 2008	12	6.412,6	41,64%
PA	Paragominas	19.341	Setembro de 2008	10	6.739,1	34,84%
PA	Rondon do Pará	8.245	Outubro de 2008	8	5.047,4	61,22%
PA	Santa Maria das Barreiras	10.330	Junho de 2008	11	6.510,34	63,02%
PA	Santana do Araguaia	11.590	Junho de 2008	17	7.004,24	60,43%
PA	São Félix do Xingu	84.210	Junho de 2008	62	14.639,7	17,38%
PA	Ulianópolis	5.088	Setembro de 2008	10	3.853,90	75,74%
RO	Machadinho D'Oeste	8.509	Junho de 2008	7	2.560,20	30,09%
RO	Nova Mamoré	10.070	Abril de 2008	14	2.469,25	24,52%
RO	Pimenta Bueno	6.242	Abril de 2008	8	2.560,48	41,02%
RO	Porto Velho	34.098	Abril de 2008	24	6.962,00	20,42%

Fonte: Costa et al., 2011.

## 2.7. Interpretação visual de imagens de radar

Existe uma ênfase dominante no uso qualitativo da informação (brilho) das imagens de radar, restrita à amplitude do sinal retroespalhado, e tais imagens tem sido usadas principalmente através de interpretações visuais similares às utilizadas com fotos aéreas e imagens ópticas (PARADELLA et al., 2005).

No projeto RADAMBRASIL (década de 1970), os tipos florestais foram diferenciados por interpretação visual, através de sua relação com a topografia/geomorfologia das áreas, em produtos fotográficos da banda X (KUPLICH, 2003).

A interpretação visual de imagens SAR desempenha um papel importante na discriminação de tipos florestais (LECKIE e RANSON 1998; KUNTZ e SIEGERT, 1999).

A análise visual de imagens aerotransportadas utiliza como base, métodos de fotointerpretação geológica, inicialmente desenvolvidos para fotografias aéreas por Soares e Fiori (1976) e que posteriormente, possibilitaram a extração de

informações por meio da análise dos elementos da imagem e de suas relações (VENEZIANI e ANJOS, 1982).

Os radares imageadores geram um pulso eletromagnético que interage com o terreno produzindo um retroespalhamento da energia, que por sua vez é registrada pelo receptor do sensor. A capacidade de registrar diferentes tipos de energia polarizada a partir de um elemento de resolução no terreno possibilita a obtenção de informações valiosas sobre os recursos naturais da Terra (JENSEN, 2009).

O sensor R99-SAR/SIPAM opera com dados polarimétricos, ou seja, envia e recebe radiação eletromagnética nas polarizações vertical, horizontal e cruzada (HH, VV, HV e VH) (COSTA, 2011). Composições coloridas utilizando diferentes polarizações destacam além de formas geométricas, cores e tons diferenciados para classes diferentes. Na composição falsa-cor R-LHH, G-LHV e B-LVV das imagens do radar R99-SAR/SIPAM, áreas desmatadas tem textura lisa e tonalidade cinza-avermelhada e áreas florestadas tem textura rugosa e tonalidade cinza-esverdeada (Figura 12).

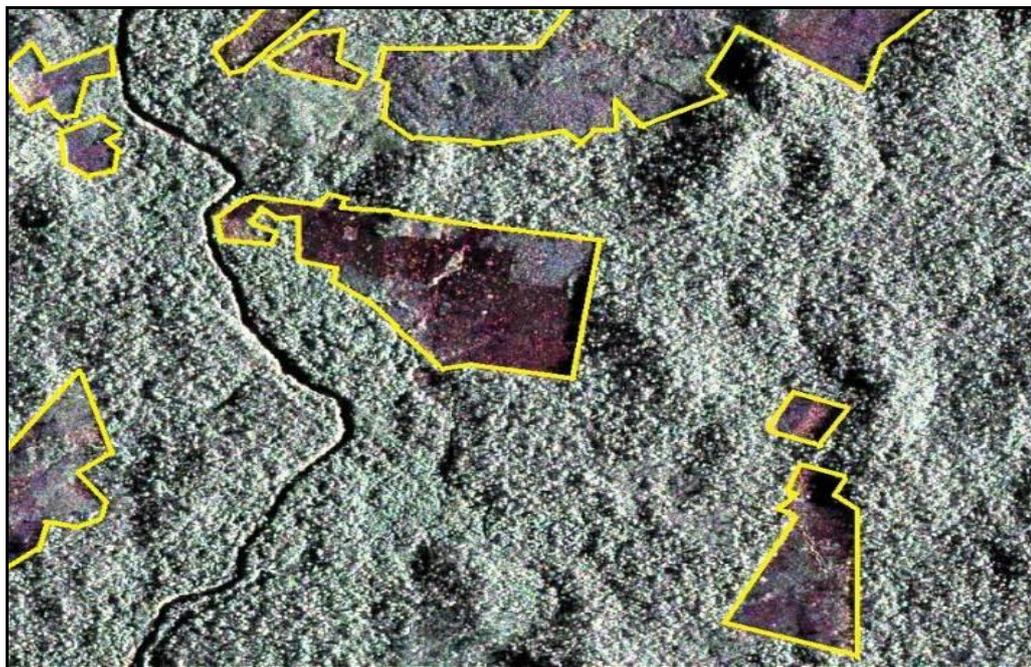


Figura 12. Composição falsa-cor (R-LHH, G-LHV e B-LVV) numa imagem R99-SAR/SIPAM. Em destaque, áreas desmatadas em floresta tropical (polígonos amarelos).

De acordo com Leckie e Ranson (1998), a representação de uma floresta em imagem SAR é a combinação das respostas geradas por meio de diferentes mecanismos de espalhamento e inclui a contribuição direta do solo, tronco, copa das árvores, interação copa-solo e da reflexão dupla tronco-solo.

Para Lé Toan et al. (2002), os componentes vegetais que agem como principais fontes de espalhamento são da mesma ordem de magnitude dos comprimentos de onda com os quais interagem, ou seja, componentes vegetais menores que o comprimento de onda incidentes funcionam como atenuadores do retroespalhamento (Tabela 3).

Tabela 3. Associação entre as principais fontes de retroespalhamento e a faixa de microondas.

<b>BANDA</b>	<b>X</b>	<b>C</b>	<b>L</b>	<b>P</b>
Principais fontes de retroespalhamento	Folhas e acículas	Folhas e galhos	Galhos	Galhos e troncos

Fonte: Lé Toan, 2002.

Devido às quatro polarizações (HH, VV, HV e VH) da banda L do sensor SAR das aeronaves R-99B, a diferenciação entre tipos florestais, espécies arbóreas e áreas florestadas e não florestadas é facilitada (CENSIPAM, 2008).

Estudos desenvolvidos por Santos et al., (2002), em áreas de florestas tropicais, indicam a superioridade da banda L para a diferenciação entre tipos florestais e diferentes coberturas da terra.

Segundo Luckman et al., (1997) e Saatchi et al., (1997), as polarizações cruzadas (HV ou VH) são indicadas para a diferenciação entre floresta madura e em regeneração. Dados de polarização horizontal favorecem a discriminação entre áreas desmatadas com troncos remanescentes e a floresta subjacente, uma vez que as microondas interagem com os troncos no chão (RIGNOT et al., 1997).

## CAPÍTULO 3

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. ÁREA DE ESTUDO

Para essa pesquisa foram selecionadas duas áreas de estudo distintas. Elas abrangem o município de Novo Repartimento, no estado do Pará e Iranduba, no estado do Amazonas (Figura 13).

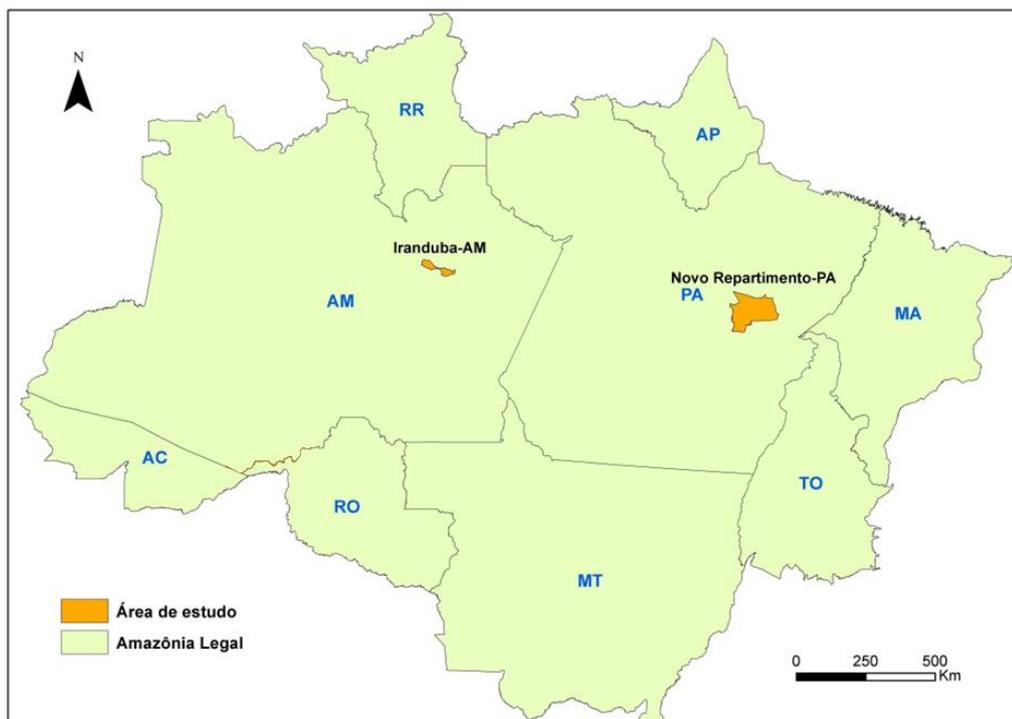


Figura 13. Localização das duas áreas de estudo.

Para facilitar a distinção das áreas, foi denominado como área de estudo número 01 o município de Novo Repartimento e número 02 o município de Iranduba.

Os fatores que justificam a escolha das áreas de estudo serão descrito a seguir.

#### 3.1.1. Área de estudo 01: Novo Repartimento-PA

A área de estudo número 01 compreende todo o município de Novo Repartimento, localizado na porção sudeste do estado do Pará (Figura 14). Sua área territorial é de 15.399 km<sup>2</sup> (IBGE, 2005), sendo 4.540 km<sup>2</sup> ocupados por estabelecimentos agropecuários (Censo Agropecuário IBGE/2006).

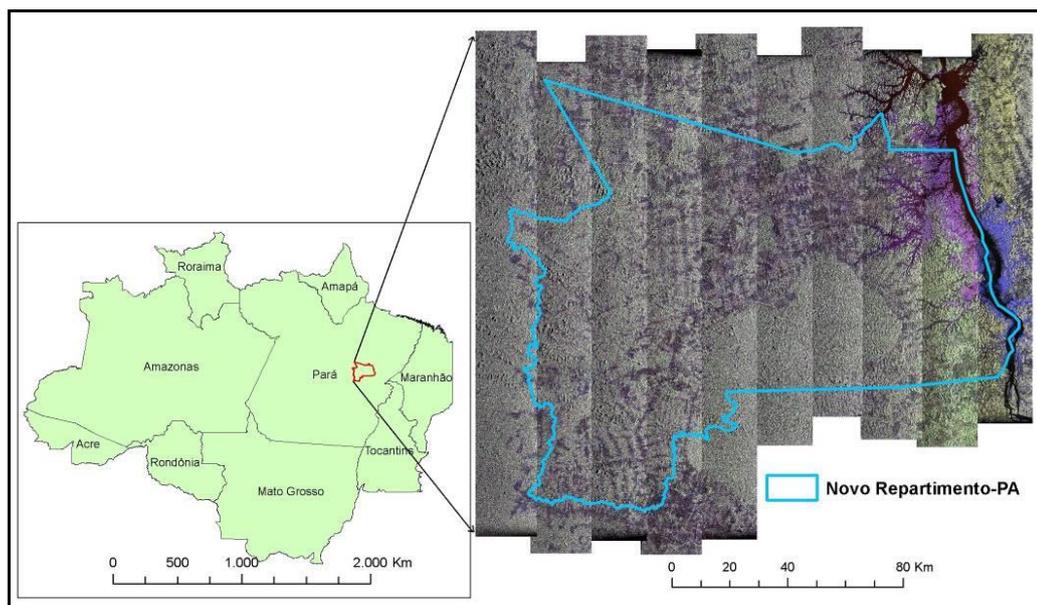


Figura 14. Área de estudo número 01 com imagens R99B-SAR/SIPAM.

Dados do PRODES mostraram que até o ano de 2003, Novo Repartimento-PA possuía uma área desmatada de 4.382 km<sup>2</sup>, correspondendo a 28,4% da área total do município. Em 2007, a área desmatada mapeada chegou a 5.762 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 37,34% de sua área total (PRODES, 2007). Portanto nesse período (apenas quatro anos) foram desmatados 1.380 km<sup>2</sup>, correspondendo a quase 10% da área total do município.

Em 2008, o município de Novo Repartimento-PA foi incluído pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) na lista dos 36 municípios da Amazônia Legal que mais apresentaram aumento da taxa de desmatamento entre 2003 a 2007 (Portaria nr 28 do MMA, de 24 de janeiro de 2008). Conseqüentemente, o MMA solicitou ao CENSIPAM o imageamento e análise do desmatamento nesses municípios e a partir de novembro de 2008 imagens geradas pelo radar R99-SAR/SIPAM de Repartimento-PA ficaram disponíveis para órgãos de fiscalização e estudos científicos (CENSIPAM, 2008). Vale ressaltar que os imageamentos realizados pelo sensor R99-SAR/SIPAM são realizados mediante demandas, não havendo um cobertura sistemático de áreas.

No mês de agosto de 2008, 84 polígonos de alerta DETER foram detectados na área do município de Novo Repartimento, quantidade bastante significativa para um só mês.

Os eventos citados anteriormente foram fatores preponderantes para a escolha de Novo Repartimento-PA como umas das áreas de estudo desse trabalho.

### 3.1.1.1. Características fisiográficas de Novo Repartimento-PA

A região de Novo Repartimento-PA apresenta uma relativa regularidade climática, caracterizada por estações com pequenas variações anuais na distribuição das temperaturas, da velocidade dos ventos, da umidade do ar, da insolação e da evaporação. O clima é caracterizado por um índice pluviométrico anual da ordem de 2000 mm, com moderado período de estiagem (entre julho e setembro), com precipitações inferiores a 50 mm e temperatura média de 26°C. As precipitações distribuem-se ao longo do ano em períodos secos de maio a novembro e chuvosos de dezembro a abril (BRASIL, 1992).

Novo Repartimento está inserido na Região de Integração do lago de Tucuruí-PA. Do ponto de vista do relevo, a área é representada essencialmente por uma grande depressão, com altitudes menores a 100 metros sobre o nível do mar. Na região predominam os modelados caracterizados pelo forte processo erosivo em rochas sedimentares e depósitos não consolidados, facilmente transportados pela água do escoamento superficial. O modelado geomorfológico predominante é a Depressão da Amazônia Meridional, com incidência de Planaltos Residuais da Amazônia Ocidental na parte sudoeste do município, como mostra a Figura 15 (BRASIL, 2015).

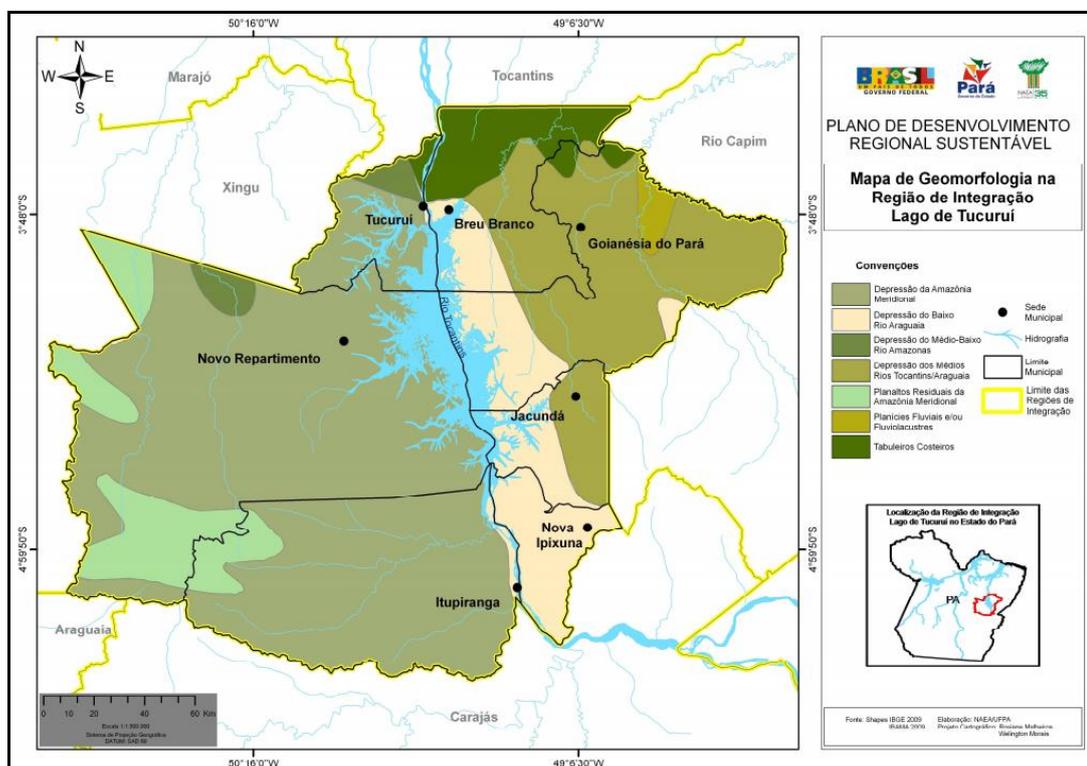


Figura 15. Mapa da geomorfologia do Lago de Tucuruí-PA.  
Fonte: BRASIL, 2015.

A vegetação predominante é a Floresta Ombrófila Densa, com ocorrência de vegetação secundária e áreas agrícolas (IBGE, 2002).

Os tipos de solos que predominam no município de Novo Repartimento são os Argissolos Vermelhos Amarelos (Figura 16). São solos minerais não hidromórficos, com argila de atividade baixa, cores vermelhas e amarelas. Tais solos pertencem a classe dos eutróficos e distróficos (com boa e baixa fertilidade natural respectivamente). Esta classe de solo apresenta ampla variabilidade de profundidade e de classes texturais (BRASIL, 2015).

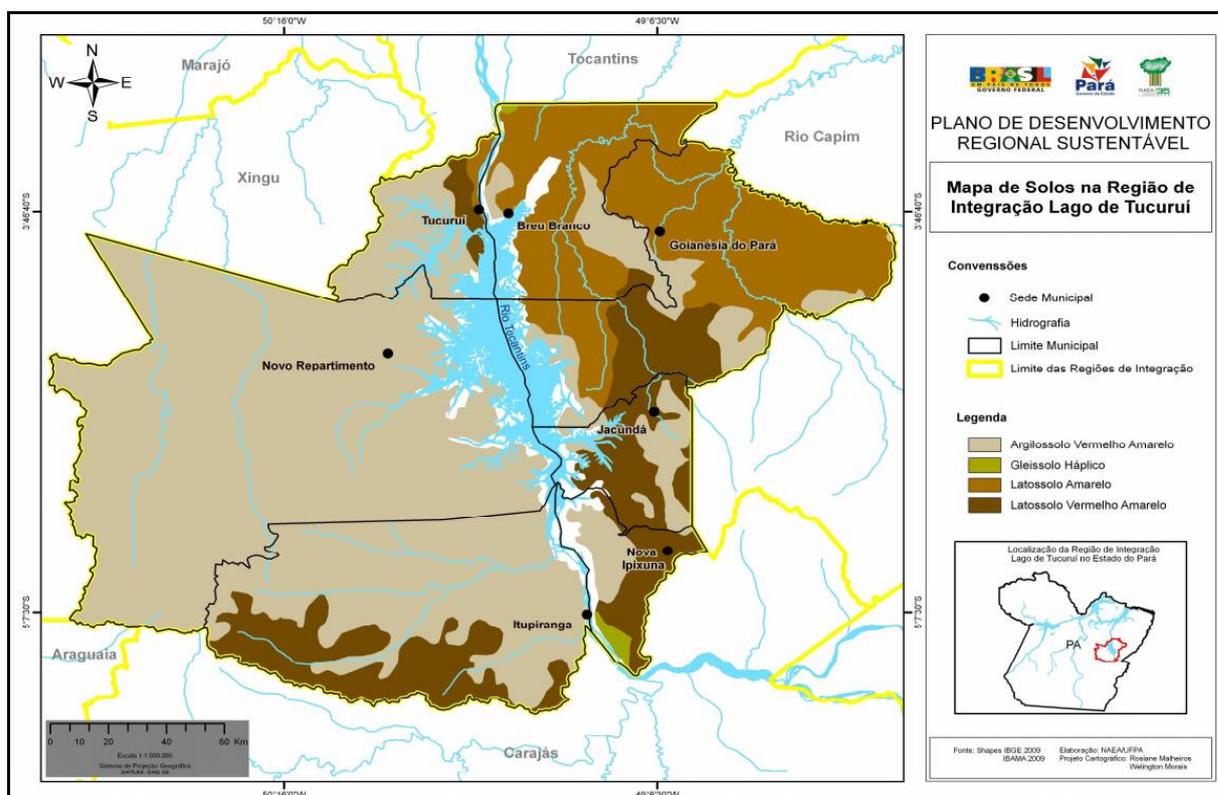


Figura 16. Mapa de Solos do Lago de Tucuruí-PA.  
Fonte: BRASIL, 2015.

### 3.1.2. Área de estudo 02: Iranduba-AM

A área de estudo número 02 compreende 89% do município de Iranduba, localizado na mesorregião centro amazonense. A área analisada limitou-se as imagens R99-SAR/SIPAM compreendidas dentro do limite municipal de Iranduba-AM (Figura 17). Com uma área territorial de 2.214 km<sup>2</sup> e uma população estimada para o ano de 2014 de 45.250 habitantes, o município de Iranduba-AM está inserido na Região Metropolitana de Manaus e tem sua economia baseada na indústria cerâmica-oleira, agropecuária e serviços (IBGE, 2014).

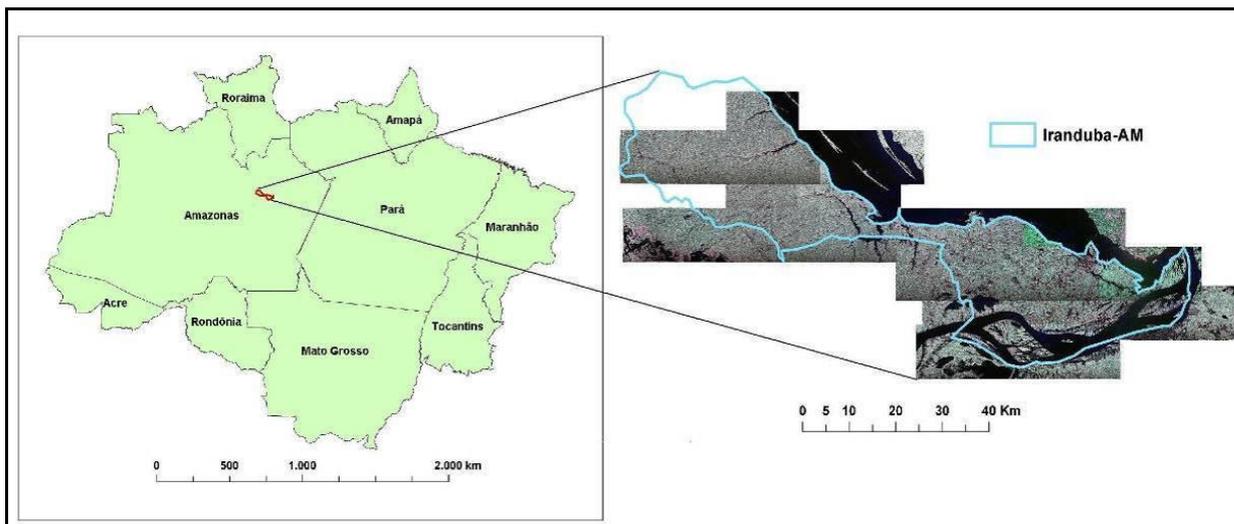


Figura 17. Área de estudo número 02 com imagens R99B-SAR/SIPAM.

Em 2007, teve início a construção da Ponte Rio Negro (Figura 18) ligando por via terrestre a cidade de Iranduba à capital Manaus (Portal da Amazônia, 2007). Sua inauguração ocorreu no dia 24 de outubro de 2011 trazendo a expectativa de uma nova configuração espacial para a região.

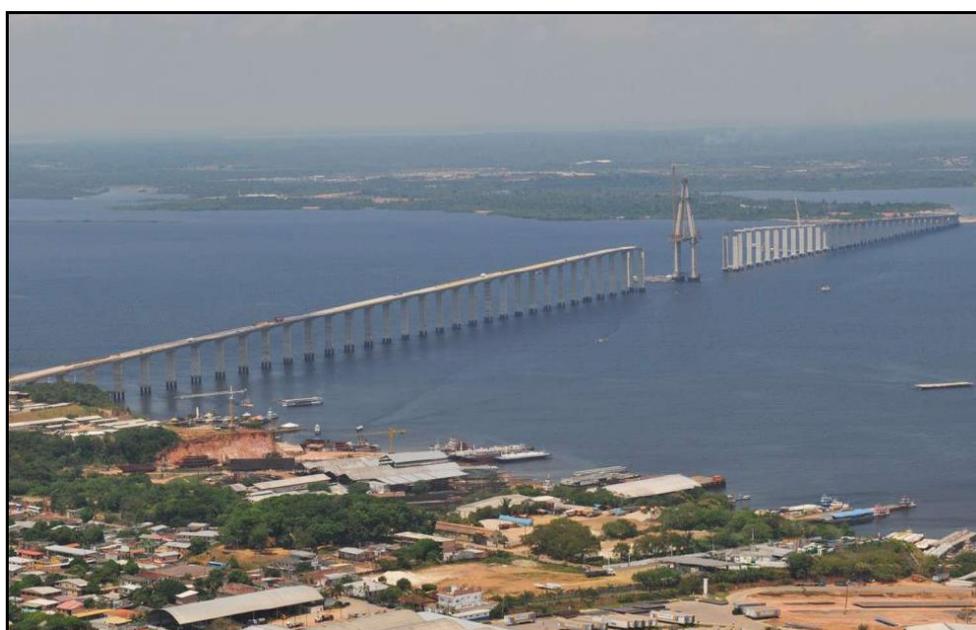


Figura 18. Ponte Rio Negro ainda em fase de construção.  
Fonte: Ibracon, 2010.

A escolha de Iranduba para este estudo tem duas justificativas: 1. A construção da nova ponte sobre o Rio Negro pode ter trazido impactos ambientais, incluindo desmatamento por conta da mudança do uso e ocupação da terra,

principalmente causada pela especulação imobiliária; 2. A proximidade e o acesso para coleta de dados em campo.

### 3.1.2.1. Características fisiográficas de Iranduba-AM

O clima predominante na região onde está inserido Iranduba-AM é o Tropical de Monção (Tipo Am) de acordo com a classificação climática de *Köppen*. As principais características desse tipo de clima são: a) clima megatérmico, estação de inverno ausente, intensa precipitação anual superior a evapotranspiração potencial, ocorrência de precipitação em todos os meses do ano e temperatura média de temperatura média de 26,7°C. O mês mais frio do ano permanece acima de 18°C (IPAAM, 2012).

A classificação geomorfológica estabelecida para a área de estudo, é dominada por duas macrocompartimentações: a Planície Interiorana, que também pode ser identificada como Planície Amazônica e o Planalto Dissecado Rio Trombetas-Rio Negro ou Baixo Platôs da Depressão Amazônica (IBGE, 2002a). O empreendimento se localiza dentro da unidade de Baixos Platôs da Depressão Amazônica (Figura 19).

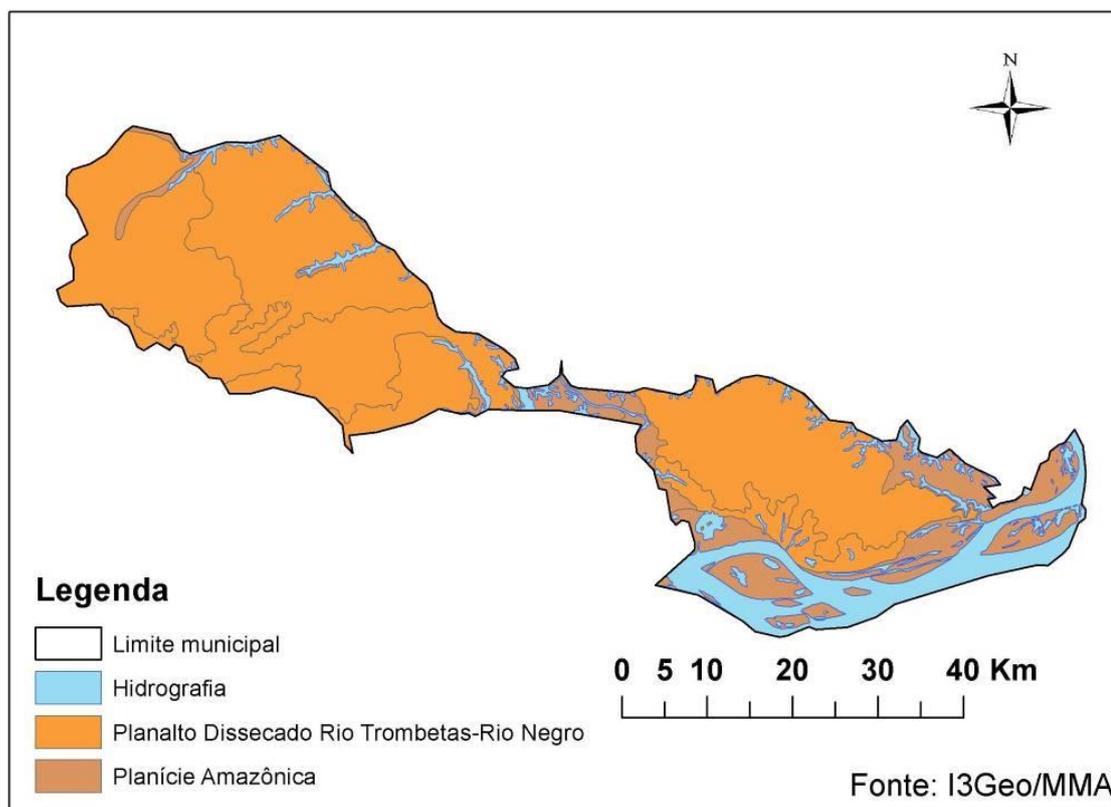


Figura 19. Compartimentação geomorfológica da Iranduba-AM.  
Fonte: Adaptado de I3Geo/MMA.

A vegetação na região estudada (Figura 20) é dominada pela Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas, com porções de Floresta Ombrófila Densa Aluvial e vegetação secundária, de acordo com a classificação do IBGE (2004).

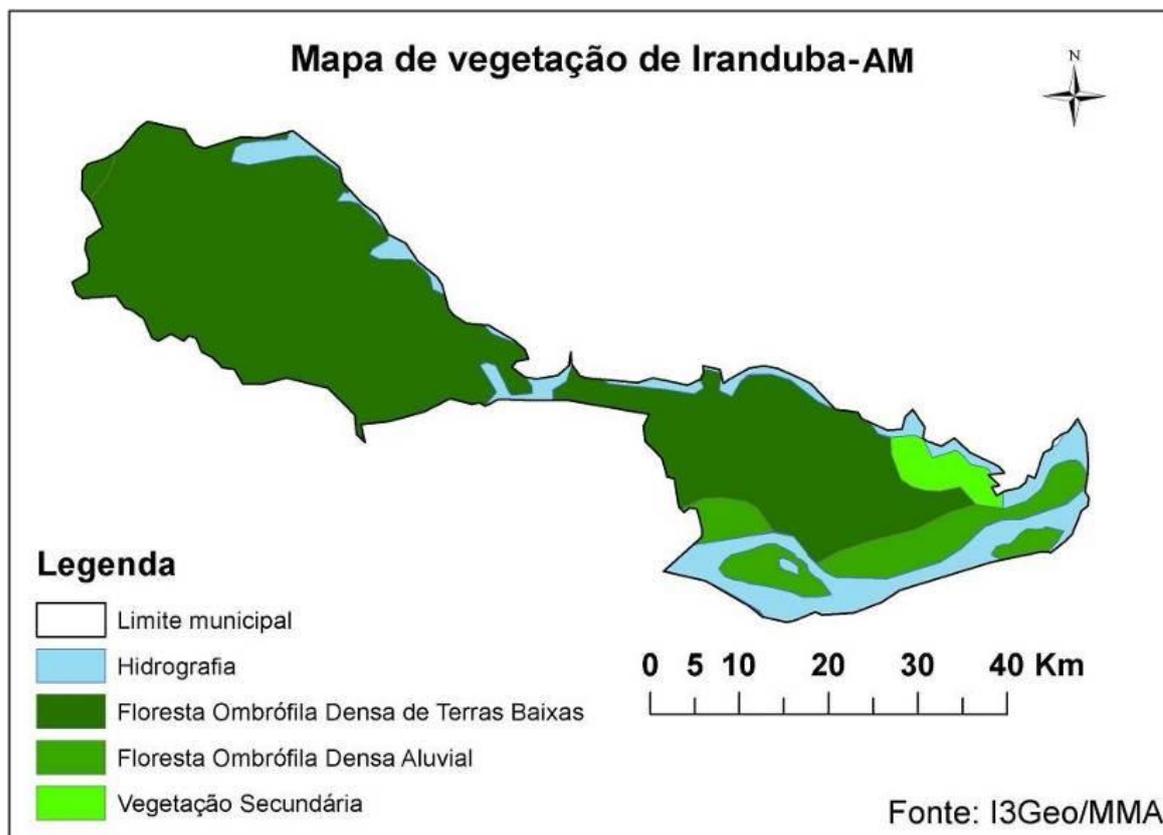


Figura 20. Tipos de vegetação na área de estudo 02, Iranduba-AM.  
Fonte: Adaptado de I3Geo/MMA.

Na área de estudo os solos têm sua origem a partir do material proveniente de rochas sedimentares do período Cretáceo/Terciário, representado pela formação Altér do Chão. A litologia quartzo-arenito é usada em construção civil, com a denominação arenito Manaus. O material resultante da alteração dessas rochas sedimentares deu origem aos Latossolos Amarelos nas suas diferentes classes texturais, Plintossolos e Solos Aluviais (EMBRAPA, 2006). O Solo predominante em Iranduba-AM é o Latossolo Amarelo (Figura 21).

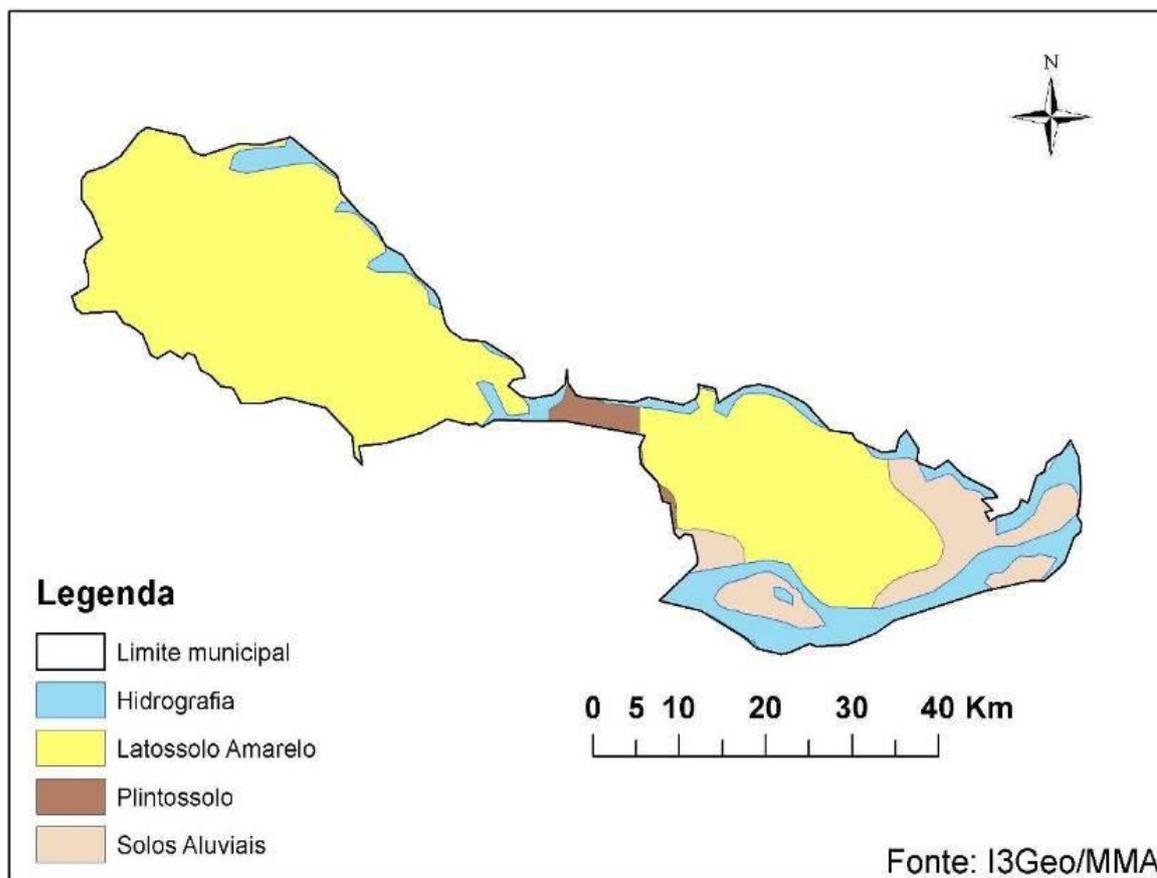


Figura 21. Tipos de solo na área de estudo 02, Iranduba-AM.  
Fonte: Adaptado de I3Geo/MMA.

São solos desenvolvidos de materiais argilosos ou areno-argilosos sedimentares da formação Barreiras na região litorânea do Brasil ou nos baixos platôs da região amazônica relacionados à Formação Alter-do-Chão. A cor amarelada é uniforme em profundidade, o mesmo ocorrendo com o teor de argila. A textura mais comum é a argilosa ou muito argilosa (AGEITEC, 2015).

## 3.2. MATERIAIS UTILIZADOS

### 3.2.1. Imagens do radar R99-SAR/SIPAM

As imagens de radar utilizadas nessa pesquisa foram geradas pelo sensor SAR a bordo da aeronave R-99B da Força Aérea Brasileira e disponibilizadas pelo CENSIPAM, através da Divisão de Sensoriamento Remoto do Centro Regional de Manaus. Em cada área de estudo as imagens tiveram parâmetros distintos, tanto no modo de aquisição quanto no processamento (Tabela 4).

Tabela 4. Parâmetros de aquisição e processamento das imagens R99-SAR/SIPAM utilizadas na pesquisa.

<b>Parâmetro</b>	<b>Área de estudo 01</b>	<b>Área de estudo 02</b>
Data da coleta	27/09/2008	10/09/2013
Modo de Imageamento	QuadL+X	QuadL+X
Bandas	L e X	L e X
Número de segmentos	10	07
Polarizações	HH, HV, VH e VV	HH, HV, VH e VV
Altitude de vôo	35.000 pés	37.000 pés
Sentido de vôo	N-S, S-N	L-O, O-L
Tipo de dado	Unsigned 08 bits	Unsigned 08 bits
Número de Looks	8	4
Resolução espacial	6 metros	3 metros
Tamanho do pixel	5 metros	2,5 metros
Sistema de Coordenadas	Geográficas Lat/Long	Geográficas Lat/Long
Datum	WGS-84	WGS-84
Largura da faixa	20 km	10 km
Software de processamento	PROSAR-BR <sup>1</sup>	GSP-2 <sup>2</sup>
Registro de pontos de controle	ENVI 4.7	GSP-2

Fonte: SIPAM/DSR/CR-Manaus.

Para o estudo realizado em Novo Repartimento-PA foram utilizados 10 segmentos de imagens R99-SAR/SIPAM, nas polarizações da banda L (L-HH, L-VV, LHV, LVH), com resolução espacial de 6m. Cada segmento<sup>3</sup> de imagem corresponde a uma determinada faixa do terreno e foi sobrevoada nas direções Norte-Sul/Sul-Norte pela aeronave R-99B. Cada segmento cobre em média uma área de 110 km x 20 km (Figura 22).

<sup>1</sup> Processador de imagens SAR desenvolvido pelo Instituto de Estudos Avançados e o Centro Tecnológico da Aeronáutica para o projeto SIVAM/SIPAM.

<sup>2</sup> Processador de imagens SAR do CENSIPAM adquirido da empresa canadense MDA.

<sup>3</sup> O termo “segmento” se refere a área contínua imageada pelo sensor. Em algumas literaturas usa-se o termo “faixa”.

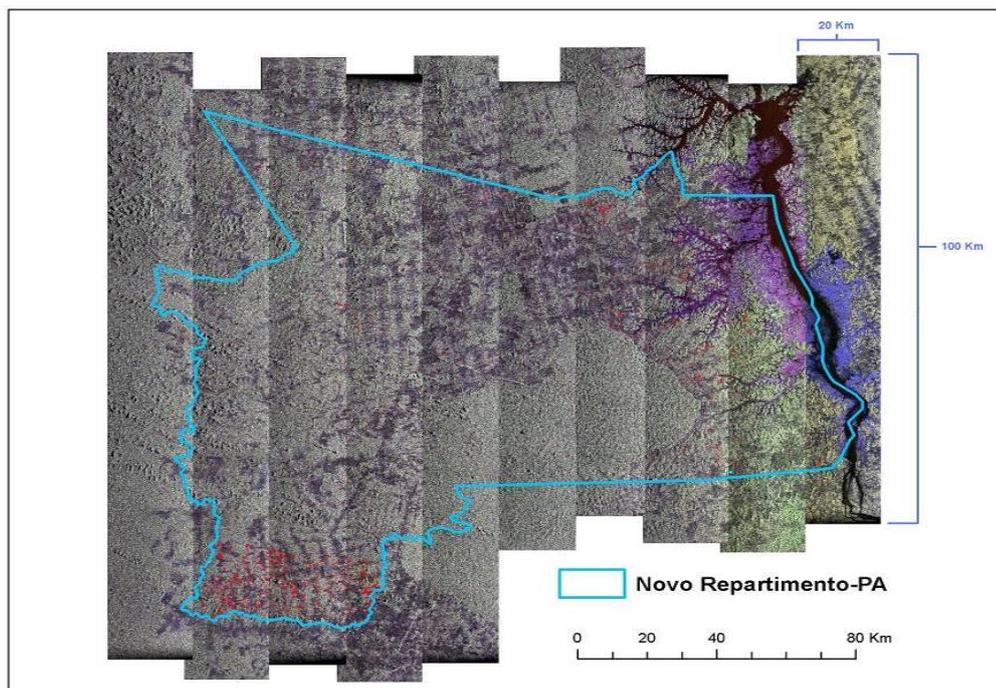


Figura 22. Imagens R99-SAR/SIPAM usadas para qualificação dos alertas DETER.

Para o estudo realizado em Iranduba-AM foram utilizados 07 segmentos de imagens R99-SAR/SIPAM, nas polarizações da banda L (L-HH, L-VV, LHV, LVH), com resolução espacial de 3m. O sobrevoo foi realizado nas direções Leste-Oeste/Oeste-Leste. Os segmentos possuem uma largura padrão de 10 km e variam de 15 a 100 km de extensão. Essa variação é intencional, objetivando limitar a aquisição apenas na área de interesse e pode ser controlada pelo tempo de coleta do segmento (Figura 23).

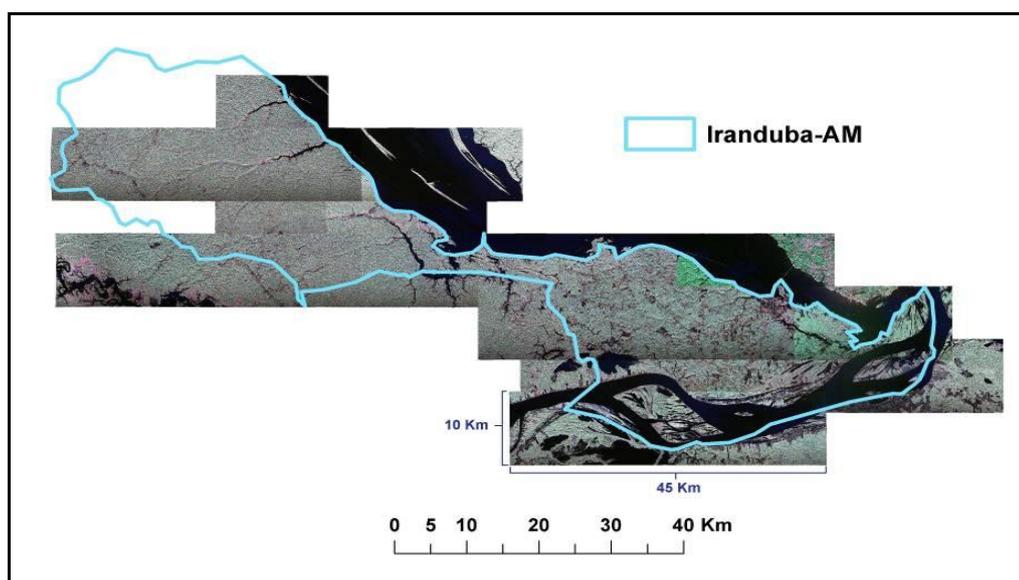


Figura 23. Imagens R99-SAR/SIPAM usadas no mapeamento do desmatamento de Iranduba-AM.

Imagens de radar podem apresentar ruídos multiplicativos (*Speckle*) inerentes de dados adquiridos através da transmissão e recepção de ondas coerentes (SANT'ANNA, 1995). Não foram encontrados ruídos *Speckle* significativos nas imagens SAR analisadas nessa pesquisa.

Também não houve necessidade de aplicar correção do padrão de antena nas imagens utilizadas, pois apresentaram qualidade satisfatória para interpretação visual.

### 3.2.2. Imagens LANDSAT 8

O satélite LANDSAT 8 foi lançado em fevereiro de 2013. As imagens deste satélite estão disponíveis gratuitamente no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2013). A qualidade no posicionamento e a gratuidade no acesso foram primordiais para escolha de tais imagens. A cena utilizada corresponde à órbita/ponto 231/062, coletada no dia 14 de julho de 2014 (Figura 24).

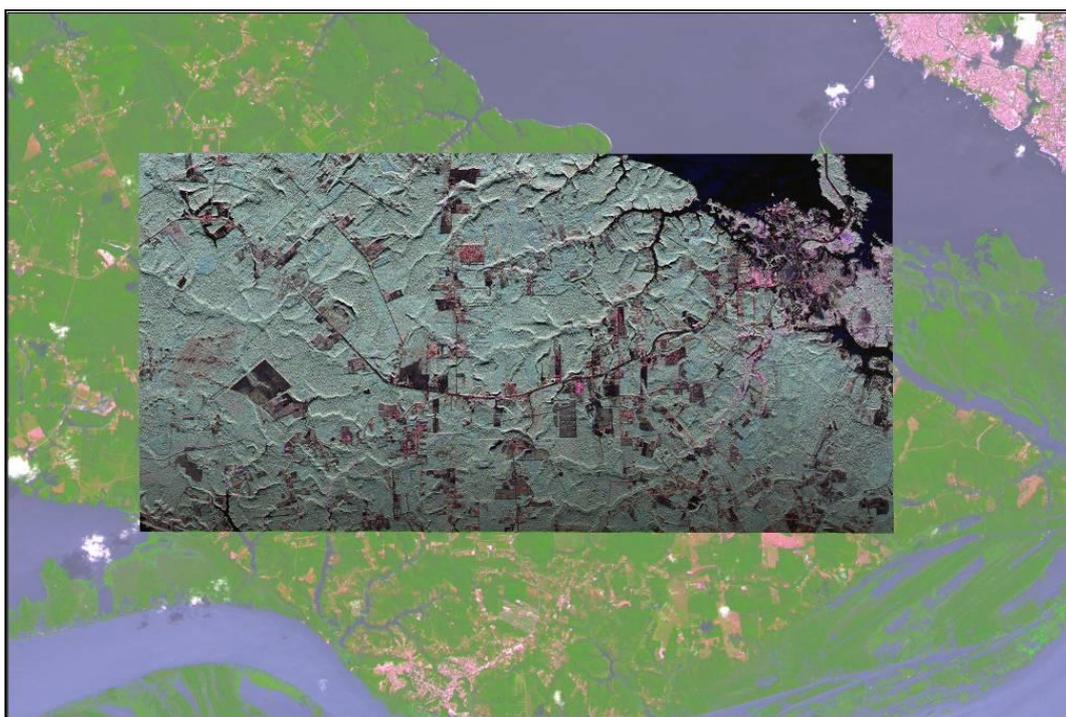


Figura 24. Imagem R99-SAR/SIPAM georreferenciada sobre a imagem Landsat 8.

O LANDSAT 8 está equipado com os sensores *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) e possuem nove bandas espectrais com resolução espacial de 30 metros nas bandas espectrais e uma banda pancromática com resolução espacial de 15 metros. Possui também duas bandas termais coletadas

com 100 metros de resolução espacial (Quadro 1). O tamanho aproximado da cena é 170 km no sentido norte/sul por 183 km no sentido leste/oeste.

Quadro 1. Bandas do satélite LANDSAT 8

	Bandas	Comprimento de onda (micrometros)	Resolução Espacial (metros)
Landsat 8	Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
	Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
Operational Land Imager (OLI) e Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
	Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
	Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
	Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
Lançado em 11 Fev 2013	Band 10 - Thermal IR (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
	Band 11 - Thermal IR (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

**Fonte:** Adaptado de USGS, 2013.

### 3.2.3. Dados vetoriais de desmatamento

Foram utilizados nesse trabalho os seguintes dados vetoriais:

- a) Polígonos de desmatamento do PRODES 2007, 2008 e 2013, disponíveis no *site* <http://www.obt.inpe.br/prodes>;
- b) Alertas de desmatamento do DETER 2007 e 2008, disponíveis no *site* <http://www.obt.inpe.br/deter>;
- c) Polígonos de desmatamento do município de Novo Repartimento, vetorizados pelo CENSIPAM na Missão SIPAM/SAR-MMA/2008, gentilmente cedido pelo CENSIPAM, através do Centro Regional de Manaus / Divisão de Sensoriamento Remoto.

### **3.2.5. Aplicativos e hardwares**

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os seguintes aplicativos:

- ArcGIS 10.1
- Envi 4.7
- Google Earth

O ArcGis 10.1 foi utilizado para confecção de mapas temáticos mostrados nesse trabalho, visualização das imagens R99-SAR/SIPAM para interpretação visual e vetorização de polígonos de desmatamento.

O aplicativo Envi 4.7 foi utilizado para a realização dos procedimentos de processamento digital das imagens R99-SAR/SIPAM e LANDSAT 8 (georreferenciamento, contraste, composições RGB e aplicação de filtros).

Todos os processamentos foram realizados em um microcomputador com processador Intel Centrino Core2 Duo, com velocidade de processamento de 2.3 GHz, memória RAM de 3 GBytes, com capacidade de armazenamento de 120GB e sistema operacional Windows XP.

Os aplicativos licenciados e hardwares utilizados nessa pesquisa foram gentilmente disponibilizados pelo CENSIPAM, Centro Regional de Manaus.

A visualização das imagens de alta resolução do Google Earth foi utilizada para auxiliar no planejamento e escolha dos pontos a serem visitados durante o trabalho de campo em Iranduba-AM.

### **3.2.6. Dados auxiliares**

#### **3.2.6.1. Dados pluviométricos**

Utilizou-se como informação complementar na análise das imagens R99-SAR/SIPAM, dados pluviométricos provenientes de Postos de Coleta de Dados (PCD) mais próximos das áreas de estudo, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia/INMET.

#### **3.2.6.2. Dados de campo**

Foi realizado um trabalho de campo no dia 13 de dezembro de 2014 para coletar amostras de áreas desmatadas na área de estudo e verificar se os locais visitados correspondiam a áreas mapeadas como desmatamento nas imagens R99-SAR/SIPAM (Figura 26). Foram registradas fotografias de 16 locais com

desmatamento do tipo “corte raso”. A escolha dos pontos a serem visitados foi baseada na maior concentração do desmatamento no município de Iranduba-AM. A Figura 25 mostra o mosaico das cenas R99-SAR/SIPAM da área de estudo com a distribuição dos pontos visitados durante o trabalho de campo e o mapa do desmatamento em Iranduba-AM de acordo com o PRODES 2103.

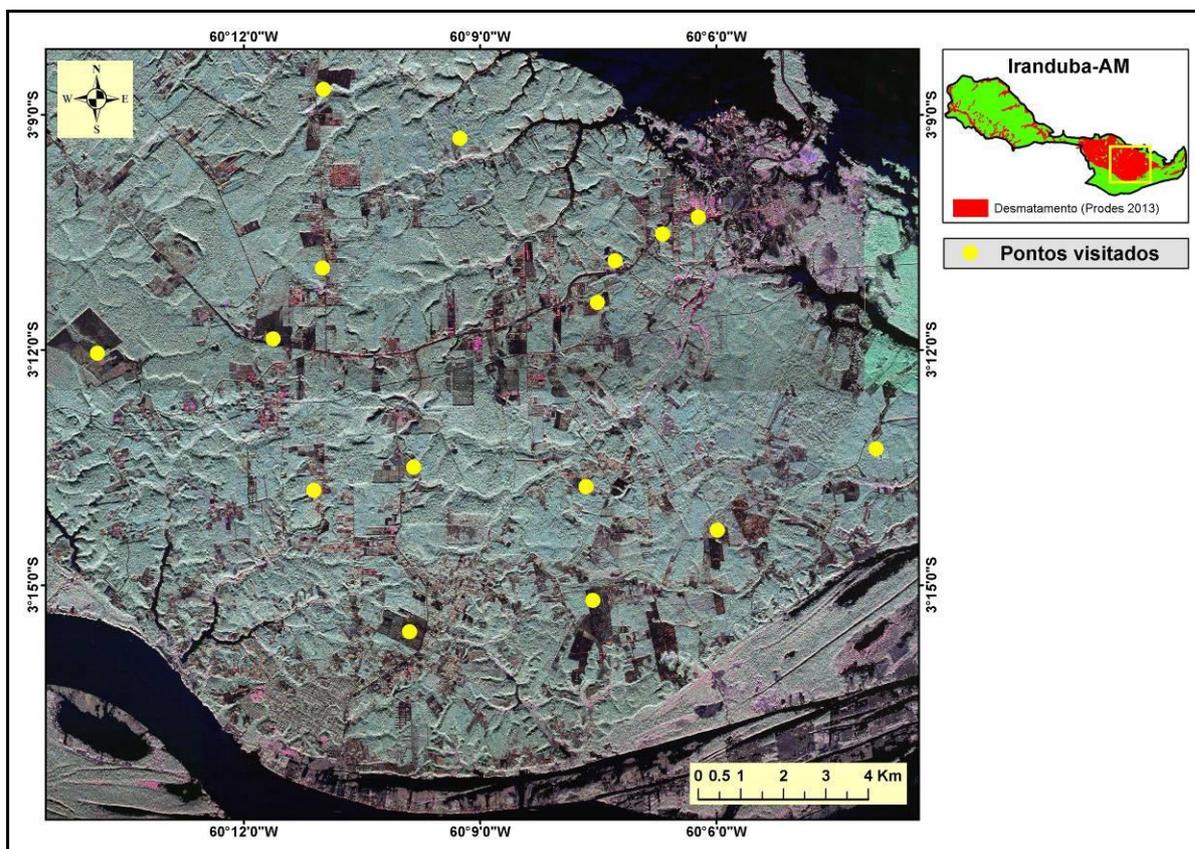


Figura 25. Imagem R99-SAR/SIPAM de 2013, com pontos visitados no dia 13/Dez/14 no trabalho de campo.

### 3.2.7 Materiais diversos

- 01 aparelho receptor Sistema de Posicionamento Global (GPS) MAP 76CSx Garmin;
- 01 Câmera fotográfica marca Nikon, modelo Coolpix P510;

### 3.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos executados nesta pesquisa estão ilustrados no fluxograma da Figura 26. Os detalhamentos da metodologia empregada estão descritos nas seções a seguir e organizados conforme os objetivos específicos propostos.

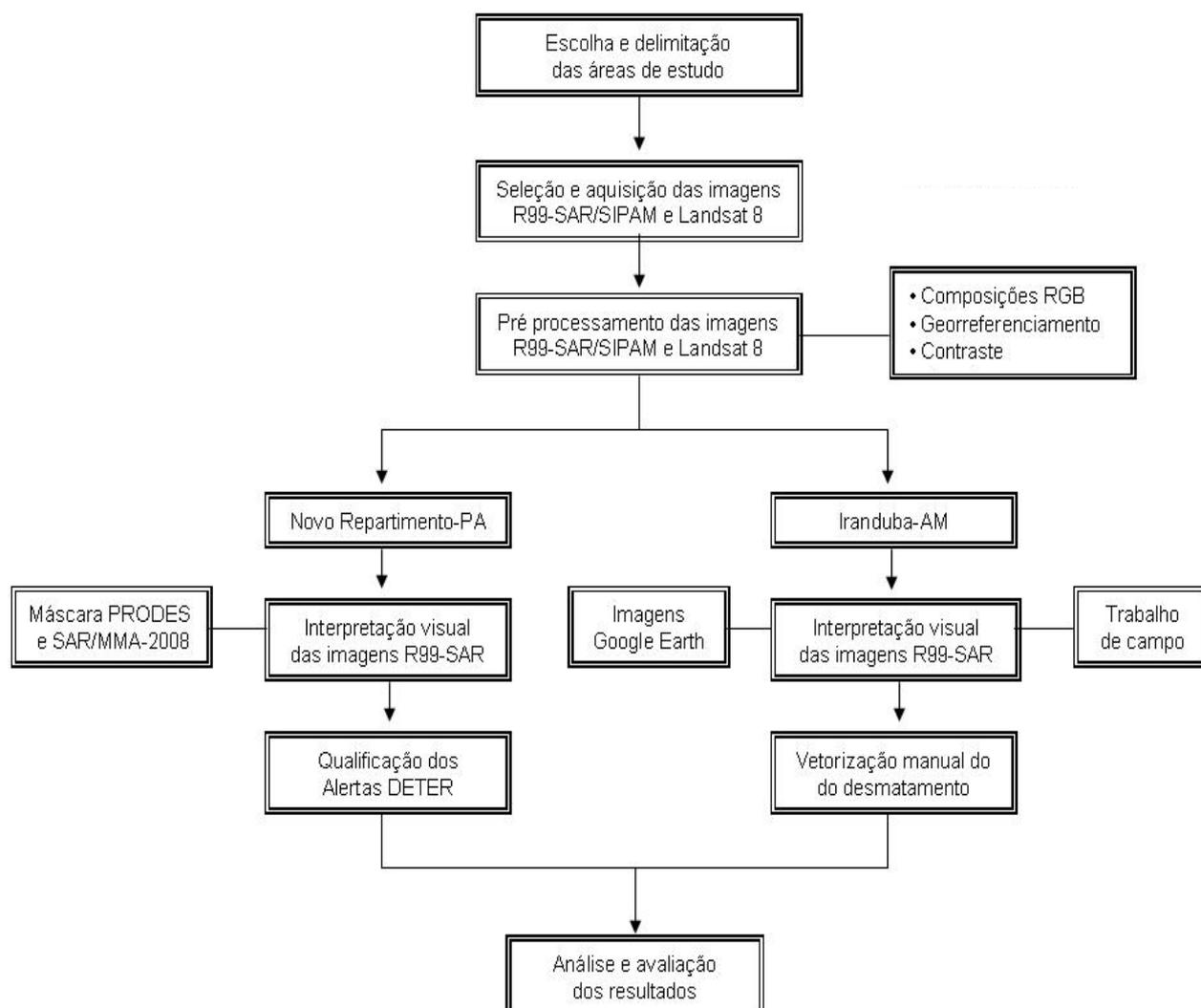


Figura 26. Fluxograma das principais etapas metodológicas.

### 3.3.1. Pré-processamento das Imagens R99-SAR/SIPAM

#### 3.3.1.2. Composição colorida

A composição colorida de imagens tem por objetivo facilitar a identificação dos alvos pelo interprete visual. Após análise de diversas combinações, a composição colorida escolhida para interpretação visual das imagens R99-SAR/SIPAM foi do tipo falsa-cor formada pelas seguintes bandas: **(R)** LHH, **(G)** LHV e **(B)** LVV. Essa composição destaca feições de desmatamento em área florestadas (Figura 27). O processamento foi realizado no software Envi 4.7.



Figura 27. Exemplo de imagem R99-SAR na composição falsa-cor R-LHH, G-LHV e B-LVV.

### 3.3.1.1. Georreferenciamento

A correção geométrica (georreferenciamento) das imagens R99-SAR/SIPAM, teve como base imagens ortoretificadas do satélite LANDSAT 8, conforme as seguintes etapas:

- elaboração de uma composição falsa-cor das imagens LANDSAT, utilizando-se as bandas 6, 5 e 4 nos canais R, G e B respectivamente (vermelho, verde e azul);

- fusão da imagem falsa-cor com a imagem da banda 8 (pancromática). O objetivo da fusão é alcançar a melhor resolução da banda pancromática (15 metros), mantendo as características espectrais da imagem falsa-cor, que tem menor resolução espacial (30 metros). O método de transformação utilizado foi o *Gram-Schmidt Spectral Sharpening*;

- georreferenciamento das imagens R99-SAR/SIPAM, utilizando os seguintes critérios: média de 25 pontos de controle, buscando a melhor distribuição geométrica e o menor erro médio quadrático (*RMS*); grau de polinômio 2; e Interpolação do tipo *vizinho mais próximo*.

Todos os procedimentos acima mencionados foram realizados no software ENVI 4.7.

### 3.3.1.3. Aplicação de contraste

A técnica de realce de contraste tem por objetivo melhorar a qualidade das imagens sob os critérios subjetivos do olho humano, auxiliando a interpretação visual de imagens (ESRI, 2013). As figuras abaixo mostram o contraste do tipo desvio padrão, aplicado nas imagens R99-SAR/SIPAM. Os histogramas representam os valores de pixels nas Figuras 28a e 28b. Ao esticar os valores (reamostragem), é possível alterar e melhorar visualmente o aspecto da imagem.

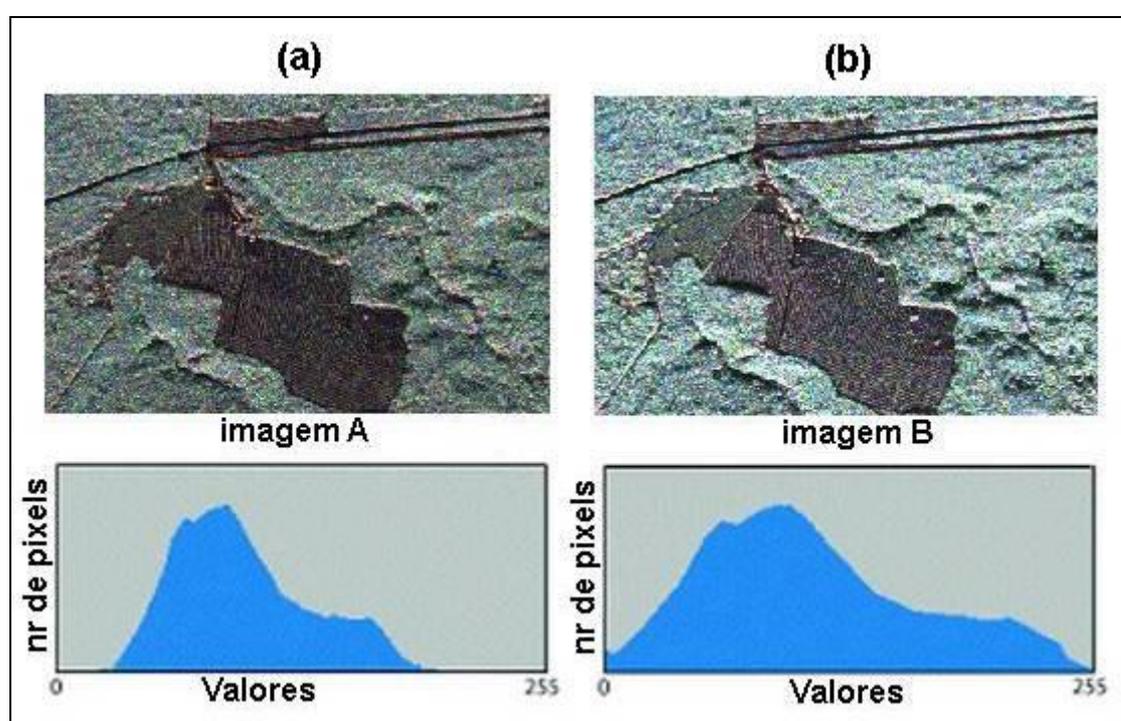


Figura 28. Aplicação de contraste nas imagens R99-SAR  
Fonte: Adaptado de ESRI, 2013.

### 3.3.2. Avaliação da umidade nas áreas de estudo

Segundo Ulaby *et al.* (1986), a ocorrência de elevados índices de precipitação pluviométrica em regiões de florestas tropical eleva a concentração de umidade dos alvos imageados e podem influenciar no processo de interpretação e discriminação de alvos em imagens de radar.

Alvos com alto teor de umidade têm um sinal de retorno elevado, ou seja, aumentam o seu brilho, podendo confundir o intérprete durante a análise visual. Portanto, foram considerados nesse trabalho dados de precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar das áreas analisadas.

Os dados de precipitação utilizados na área de estudo número 01 (Novo Repartimento-PA) referem-se ao mês de setembro do ano de 2008, onde no dia 27 do referido mês foi realizada a coleta das imagens R99-SAR/SIPAM.

A precipitação acumulada foi registrada na estação pluviométrica mais próxima, identificada como 82361-Tucuruí, localizada nas coordenadas de Latitude: 3° 45' 36" S e Longitude: 49° 39'36" O, no município de Tucuruí-PA com distância aproximada de 80 km do centro da área de estudo.

Os volumes de precipitação acumulada na região no mês de setembro de 2008 foram estimados em aproximadamente 29 mm, sendo que o valor acumulado nas últimas 24 horas que antecederam o imageamento (26 de setembro de 2008) foi de 0 mm de precipitação e umidade relativa do ar em torno de 76% (Figuras 29 e 30).

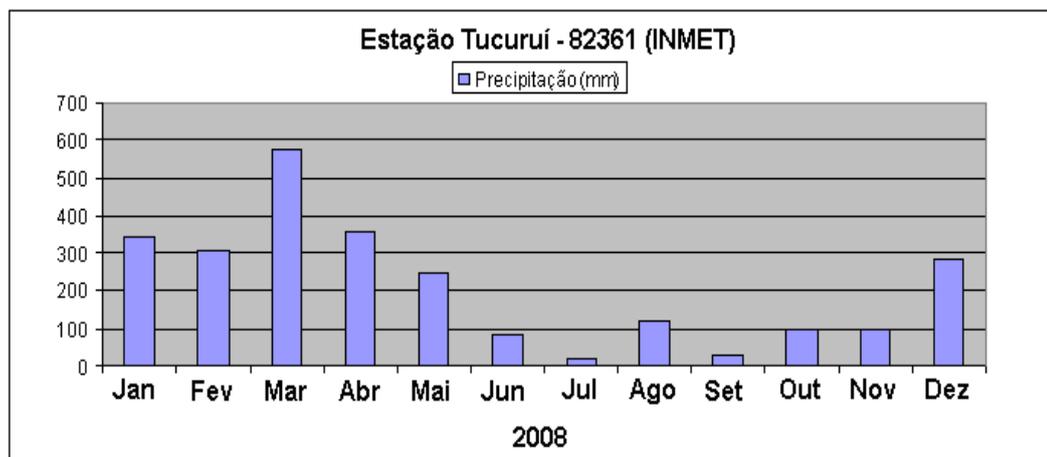


Figura 29. Precipitação mensal de 2008, estação Tucuruí-PA.  
Fonte: INMET, 2015.

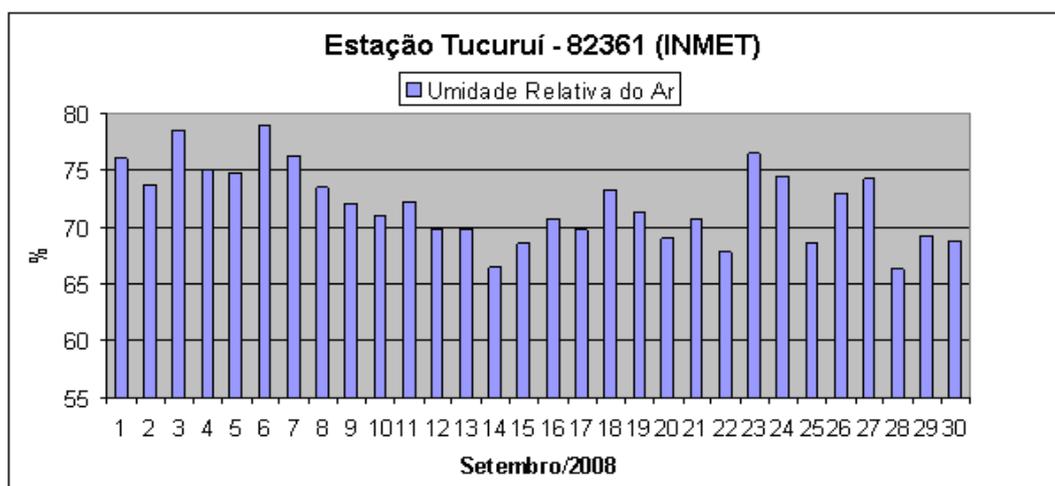


Figura 30. Valores diários de umidade relativa do ar para o mês de setembro de 2008, estação Tucuruí-PA.  
Fonte: INMET, 2015.

Os dados utilizados na área de estudo número 02 (Iranduba-AM) referem-se ao mês de setembro do ano de 2013, onde no dia 10 do referido mês foi realizado o imageamento. A precipitação acumulada foi registrada na estação pluviométrica identificada como 82331- Manaus, localizada nas coordenadas de Latitude: 3° 07' 45" S e Longitude: 59° 56' 54" O, no município de Manaus, com distância aproximada de 20 km do centro da área de estudo.

Os volumes de precipitação acumulada nesta região, para o mês de setembro de 2008, foram estimados em aproximadamente 29 mm. O valor acumulado nas últimas 24 horas que antecederam o imageamento (09 de setembro de 2013) foi de 3 mm de precipitação e umidade relativa do ar em torno de 73% (Figuras 31 e 32).

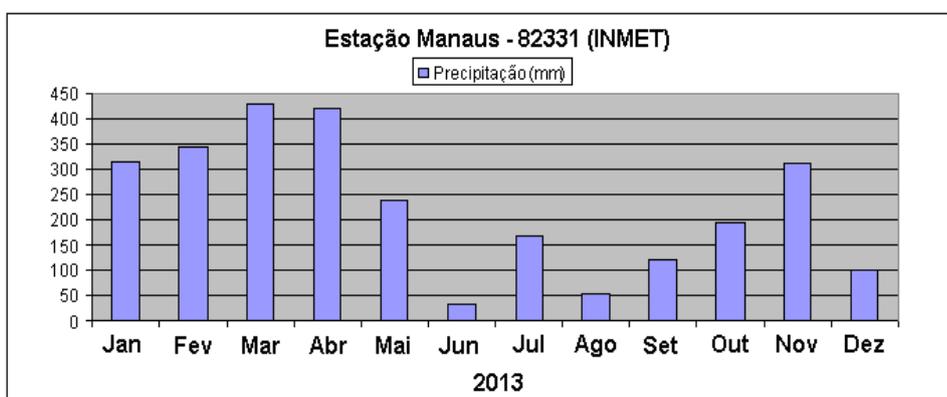


Figura 31. Precipitação pluviométrica mensal do ano 2013, estação Manaus. Fonte: INMET, 2015.

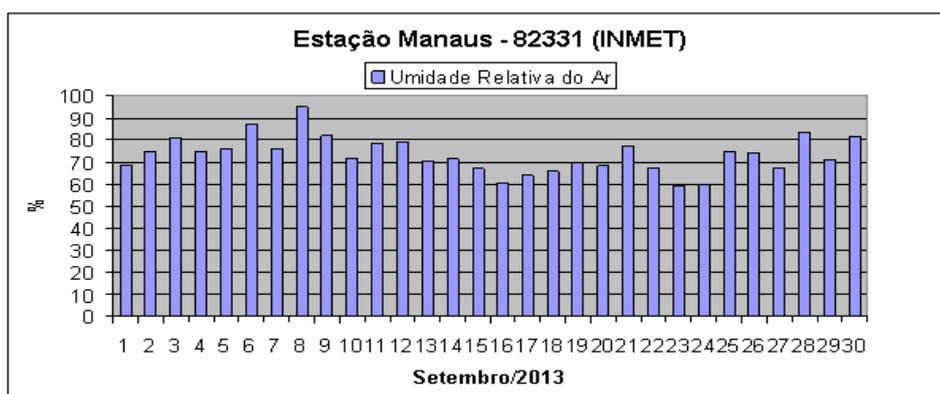


Figura 32. Valores diários de umidade relativa do ar para o mês de setembro de 2013, estação Manaus-AM.

Fonte: INMET, 2015.

A análise dos dados de precipitação e umidade relativa do ar nas áreas de estudo indica que não houve elevação da concentração de umidade dos alvos imageados, não influenciando no processo de interpretação e discriminação dos alvos nas imagens R99-SAR/SIPAM.

### 3.3.3. Aplicação de máscara com dados PRODES e MMA/2008

O termo “máscara” em geoprocessamento é utilizado para definir regiões de interesse. Nesse trabalho foram utilizados polígonos de desmatamento do PRODES 2007 que cobrem o município de Novo Repartimento-PA, que serviram como máscara para que desmatamentos antigos não fossem considerados durante a qualificação dos alertas DETER.

Os polígonos foram sobrepostos as imagens R99-SAR/SIPAM coletadas em setembro de 2008 e utilizados para identificar áreas desmatadas anteriores ao período relativo à pesquisa (agosto/2007 a agosto/2008).

Para auxiliar na identificação de áreas desmatadas, foram utilizados polígonos de desmatamento do município de Novo Repartimento-PA, gerados pelo CENSIPAM na operação Arco Verde/2008. Esses dados serviram para auxiliar na validação dos Alertas DETER e na interpretação visual de áreas desmatadas nas Imagens R99-SAR/SIPAM (Figura 33).



Figura 33. Polígonos de áreas desmatadas (amarelo) no município de Novo Repartimento-PA/2008.

Fonte: SIPAM, 2008.

### 3.3.4. Qualificação dos alertas DETER em Novo Repartimento-PA

Os Alertas DETER são gerados a partir de imagens do sensor MODIS. Sua baixa resolução espacial (250 metros) e a incidência de nuvens dificulta a interpretação visual, não servindo para qualificar os Alertas emitidos. Para isso devem ser utilizadas imagens com melhor resolução espacial e se possível, imagens de radar por não sofrerem interferência de nuvens. A Figura 34 mostra Alertas DETER sobrepostos a uma imagem MODIS.

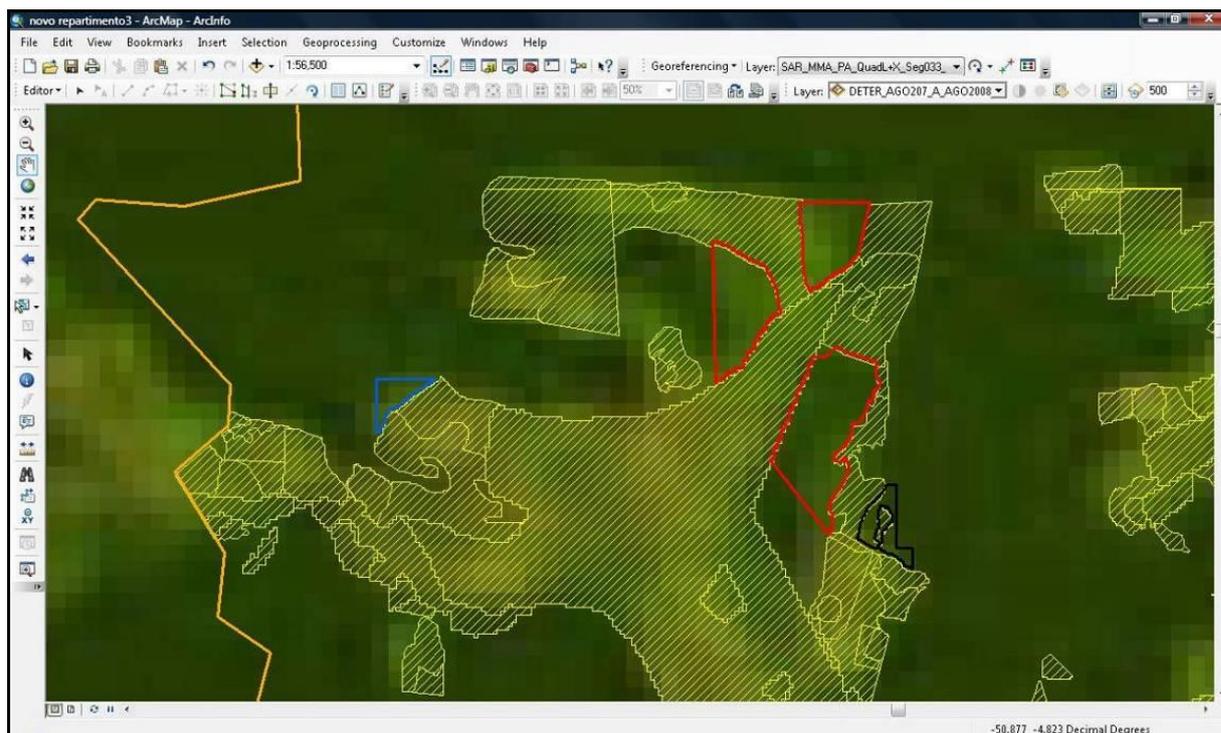


Figura 34. Alertas DETER (vermelho, preto e azul) sobrepostos a imagem MODIS.

O método de análise e qualificação dos alertas DETER proposto nesse estudo foi baseado nas investigações preliminares feitas por Amaral et al., (2009). Nessa pesquisa foram analisados os polígonos de alertas DETER emitidos entre agosto de 2007 e agosto de 2008, correspondentes às áreas do município de Novo Repartimento-PA. Os alertas foram avaliados sobre as imagens R99-SAR/SIPAM adquiridas em sobrevôo realizado em setembro de 2008, de modo a simular a detecção de alertas referentes a corte raso e degradação florestal através de interpretação visual.

Nessa pesquisa 149 polígonos de alertas DETER maiores que 25 hectares, foram avaliados sobre as imagens R99-SAR/SIPAM. Os polígonos de alerta DETER foram sobrepostos às imagens R99-SAR/SIPAM e interpretados visualmente quanto à capacidade de indicar áreas com desmatamento. Para separar desmatamentos

ocorridos antes do período avaliado nessa pesquisa, utilizou-se uma máscara com polígonos de desmatamentos do PRODES anteriores a agosto de 2007 (Figura 35).

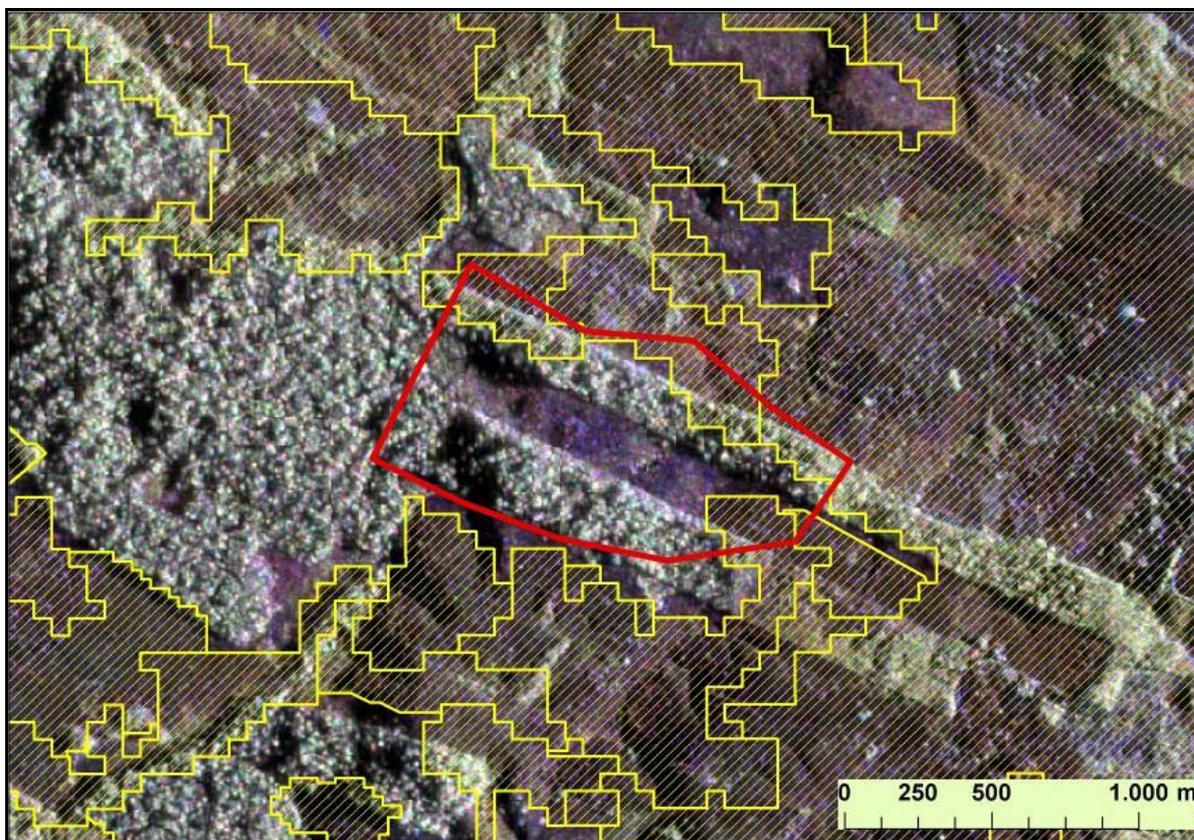


Figura 35. Alerta DETER (vermelho) indicando área desmatada, confirmado na imagem R99-SAR/SIPAM (fundo). Máscara do PRODES 2007 (amarelo hachurado) foi usada como dado auxiliar.

Além da variação de textura e da tonalidade dos pixels, a presença de limites retilíneos foi usada como critério para interpretação e indicação de áreas desmatadas. Usando essa metodologia, cada polígono de alerta DETER foi então analisado e qualificado quanto à possibilidade de indicar áreas desmatadas ou não, nas imagens R99-SAR/SIPAM.

### 3.3.5. Mapeamento do desmatamento em Iranduba-AM

Para o mapeamento de áreas desmatadas em Iranduba-AM, foi utilizado o método da interpretação visual e vetorização manual das áreas com desmatamento. Esse tipo de vetorização consiste basicamente em seguir cada feição da imagem matricial com o cursor, formando polígonos correspondentes a classe mapeada. Nesse trabalho foram mapeados desmatamentos do tipo corte raso. De acordo com o PRODES (2013), o processo de desmatamento por corte raso é aquele que resulta

na remoção completa da cobertura florestal em um curto intervalo de tempo. Nesse processo, a cobertura florestal é totalmente removida e substituída por outras coberturas e usos (agrícola, pastagem, urbano, hidroelétricas, etc.).

Foi utilizado para visualização das imagens R99-SAR/SIPAM, vetorização dos polígonos de desmatamento e cálculo das áreas desmatadas o software ArcGis 10.1(Figura 36).

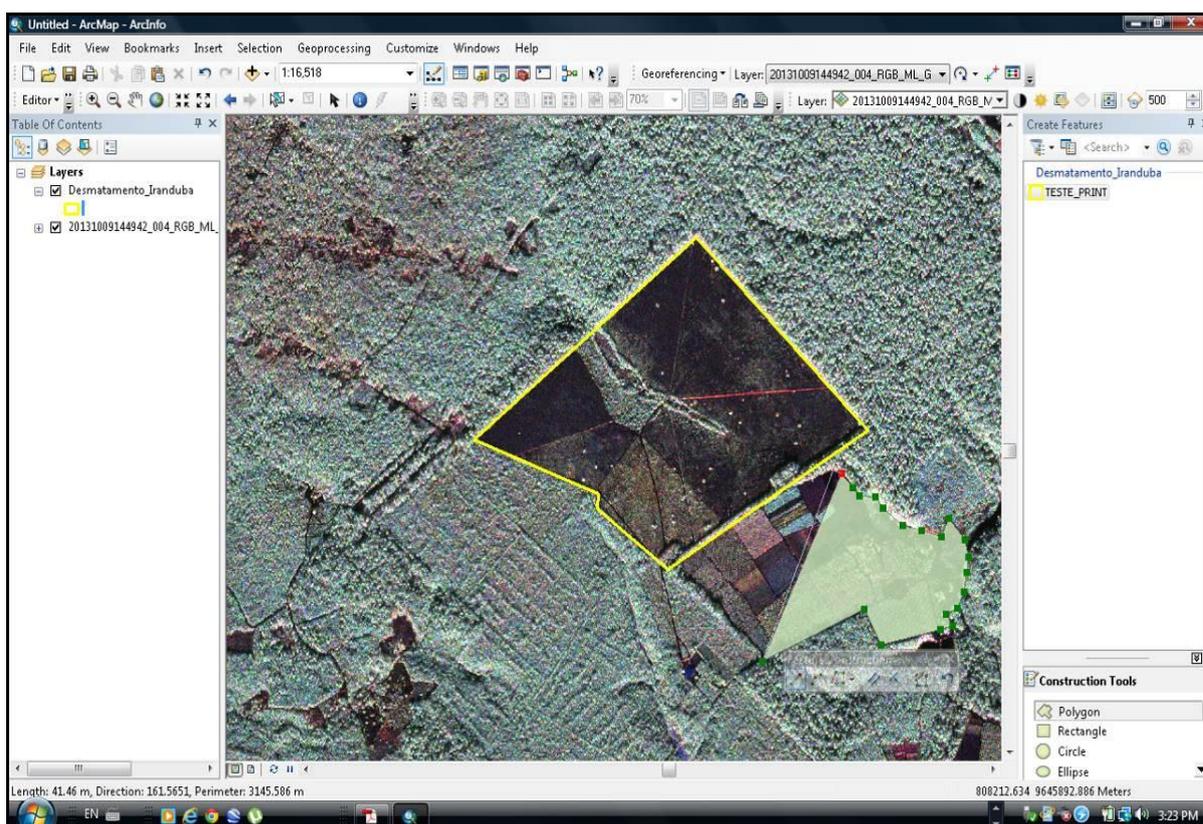
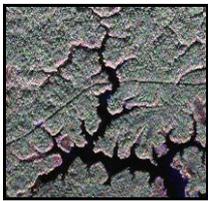
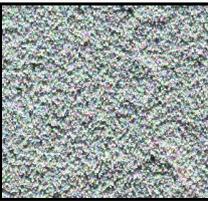
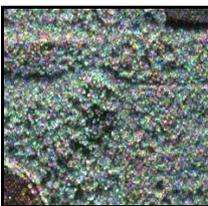


Figura 36. Vetorização de polígonos (corte raso) utilizando o ArcGis 10.1.

A identificação das classes temáticas foi feita a partir da análise de certos elementos da imagem descritos por Novo (1992), como: tonalidade, cor, forma, textura, sombra, padrão e contexto. Com base nestes elementos foi elaborada uma chave de interpretação, que serviu como guia no mapeamento das áreas desmatadas nas imagens R99-SAR/SIPAM (Quadro 2).

É importante ressaltar que o número de pesquisas abordando o uso de imagens de radar para esse tipo de análise é limitado, e os poucos estudos que existem, referem-se ao uso de imagens orbitais com características técnicas distintas das imagens aerotransportadas R99-SAR/SIPAM (CENSIPAM, 2008).

Quadro 2. Chave de interpretação das classes temáticas nas imagens R99-SAR.

<b>Classe temática</b>	<b>Elemento de interpretação</b>	<b>Imagem R99-SAR/SIPAM</b>
Hidrografia/ Corpos d'água	Forma: dendrítica Cor/Tonalidade: preto Padrão: irregular	
Campos Naturais	Forma: arredondada Cor/Tonalidade: vermelho escuro Padrão: fragmentado Textura: lisa	
Vegetação Primária	Cor/Tonalidade: cinza claro esverdeado Textura: granulosa Padrão: homogêneo	
Vegetação Secundária	Cor/Tonalidade: cinza claro esverdeado Textura: granulosa grossa Contexto: proximidade de áreas desmatadas	
Corte raso	Cor/Tonalidade: vermelho escuro Padrão: fragmentado Textura: lisa e fina Forma: geométrica	

## CAPÍTULO 4

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.1. Qualificação dos alertas DETER

##### 4.1.1. Análise dos dados PRODES/2008 e da Missão SAR/MMA-2008

Comparando os polígonos de desmatamento do PRODES 2008 e Missão SAR/MMA-2008 no município de Novo Repartimento-PA, utilizados como dados auxiliares durante a qualificação dos alertas DETER, notou-se grande similaridade na quantificação da área desmatada. De acordo com o PRODES/2008 o desmatamento acumulado foi de 6.203,9 km<sup>2</sup>, correspondendo a 40,2% da área total do município, enquanto o levantamento realizado pela Missão SAR/MMA-2008 mapeou um total de 6.413 km<sup>2</sup>, correspondendo a 42% da área total do município (Figura 37).

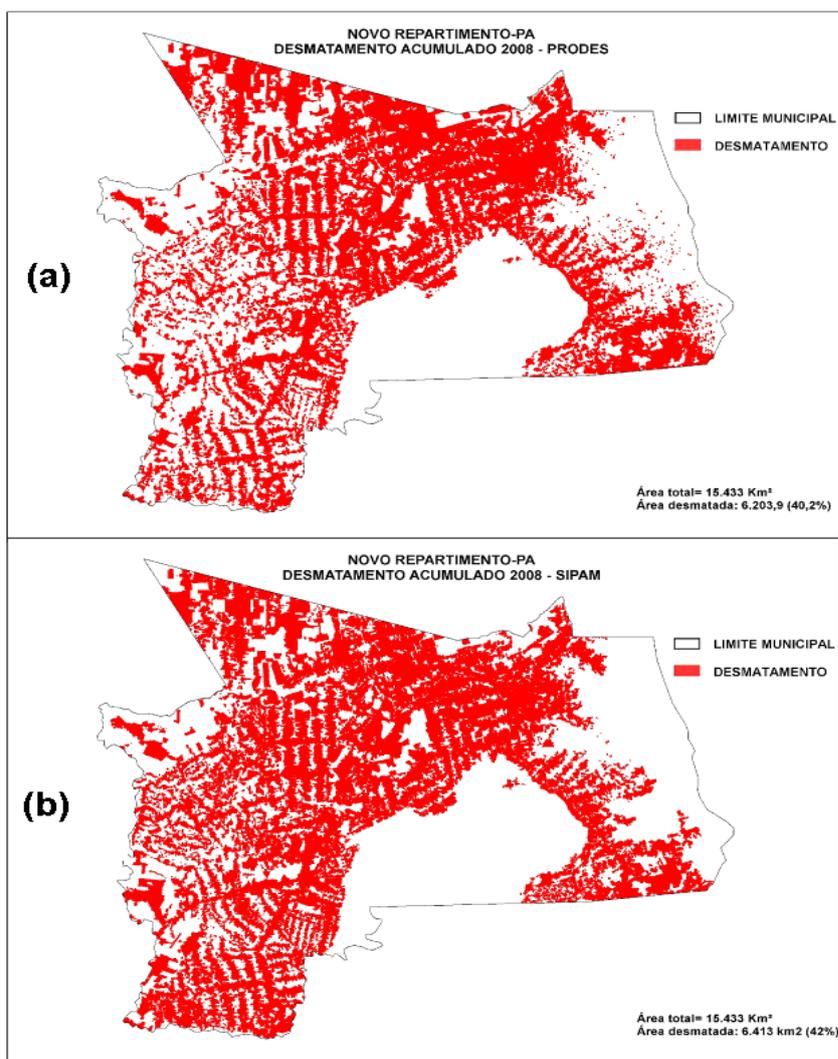


Figura 37. Similaridade no mapeamento do desmatamento realizado pelo PRODES/2008 (a) e Missão SAR-SIPAM/MMA-2008 (b) em Novo Repartimento-PA.

Considerando que as imagens R99-SAR/SIPAM têm capacidade de detecção de áreas desmatadas abaixo de 6,25 hectares, limitação das imagens ópticas utilizadas para qualificação dos Alertas DETER (TM/LANDSAT ou CBERS), durante a análise qualitativa e quantitativa dos polígonos de desmatamento da Missão SIPAM/SAR-MMA/2008, verificou-se que foram mapeados 901 polígonos no município de Novo Repartimento-PA, usando o método de interpretação visual. Desse total, 571 polígonos eram menores que 25 hectares, limitação espacial dos Alertas DETER e 292 polígonos com área abaixo de 6,25 hectares, limitação do PRODES (Tabela 5).

Tabela 5. Análise qualitativa e quantitativa dos polígonos de desmatamento da MISSÃO SIPAM/SAR-MMA/2008 utilizados na identificação de áreas desmatadas em Novo Repartimento-PA.

<b>Polígonos mapeados</b>			
	Tamanho (hectares)		Quantidade
	A	0,3 a 6,24	292
	B	6,25 a 24,9	279
	C	> 25	330
	Total		901
Detecção R99-SAR	A, B e C		
Detecção PRODES	B e C		
Detecção DETER	C		

#### **4.1.2. Análise dos alertas DETER**

Conforme os dados do INPE/DETER, no período compreendido entre 01 de agosto de 2007 e 31 de agosto de 2008, foram emitidos 1.653 Alertas DETER no Estado do Pará. Desse total, 149 foram emitidos para a área do município de Novo Repartimento-PA. Um dos Alertas apontou desmatamento dentro da unidade de conservação APA do Lago de Tucuruí e outro Alerta foi emitido dentro da Terra Indígena Parakanã. A maior concentração dos Alertas ocorreu na porção oeste do município, área já bastante afetada pelo desmatamento (Figura 38).

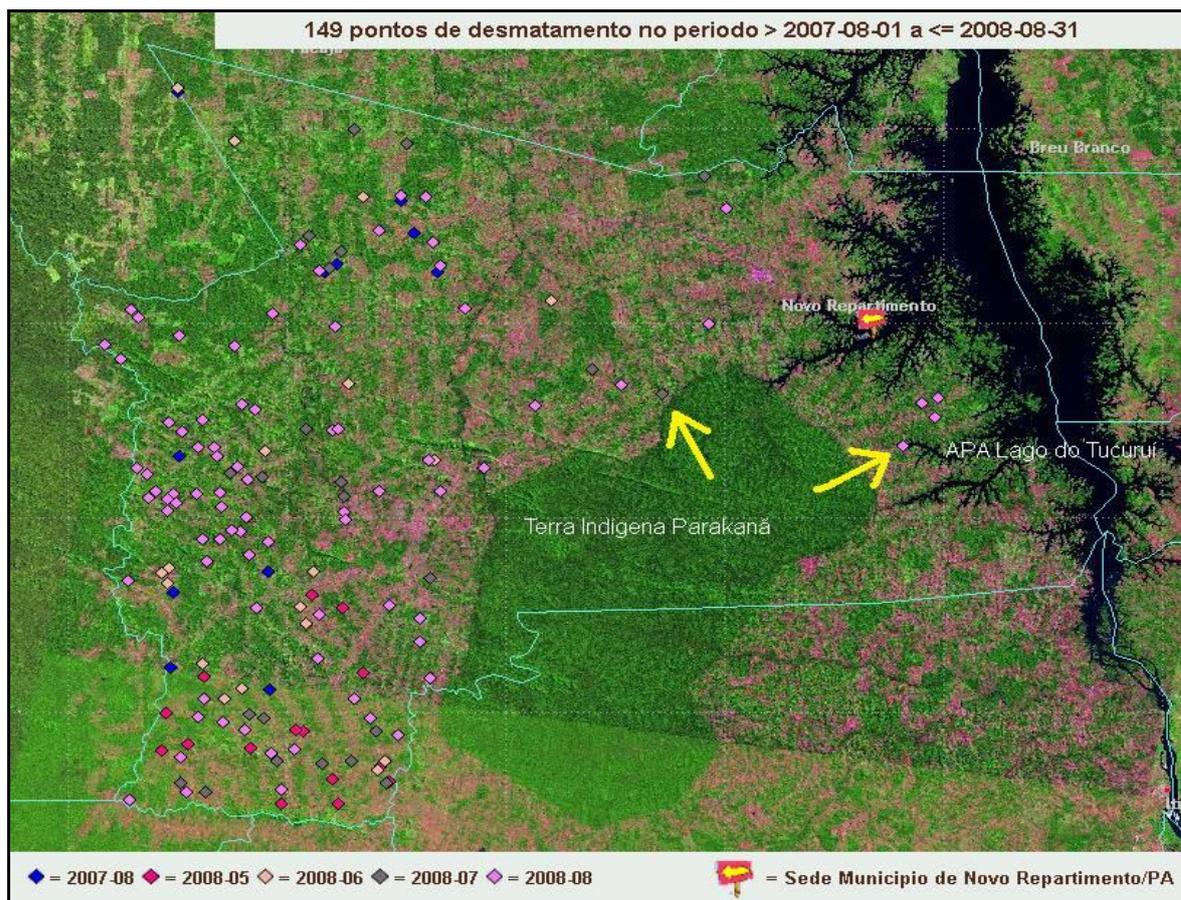


Figura 38. Distribuição espacial e temporal dos Alertas DETER em Novo Repartimento-PA. Em destaque Alertas emitidos dentro de áreas protegidas  
Fonte: INPE/DETER, 2014.

Os Alertas emitidos em Novo Repartimento-PA, entre agosto de 2007 e agosto de 2008, foram então avaliados sobre as imagens R99-SAR/SIPAM, para que confirmassem ou não a existência de desmatamento nas áreas apontadas.

A precisão de posicionamento das imagens R99-SAR/SIPAM em relação aos polígonos de alerta DETER foi suficiente para a análise por interpretação visual proposta. A geometria das imagens R99-SAR/SIPAM cedidas para essa área de estudo já estava corrigida, por terem sido utilizadas no mapeamento do desmatamento em Novo Repartimento-PA em 2008.

O uso da máscara com dados do PRODES 2007, destacando os polígonos de desmatamento anteriores a agosto de 2007, auxiliou na separação das áreas desmatadas passíveis de serem detectadas pelos Alertas DETER de agosto de 2007 a agosto de 2008. A alta resolução espacial (6m) e o uso da composição colorida falsa-cor destacaram as áreas desmatadas e facilitaram a interpretação visual das imagens R99-SAR/SIPAM (Figura 39).

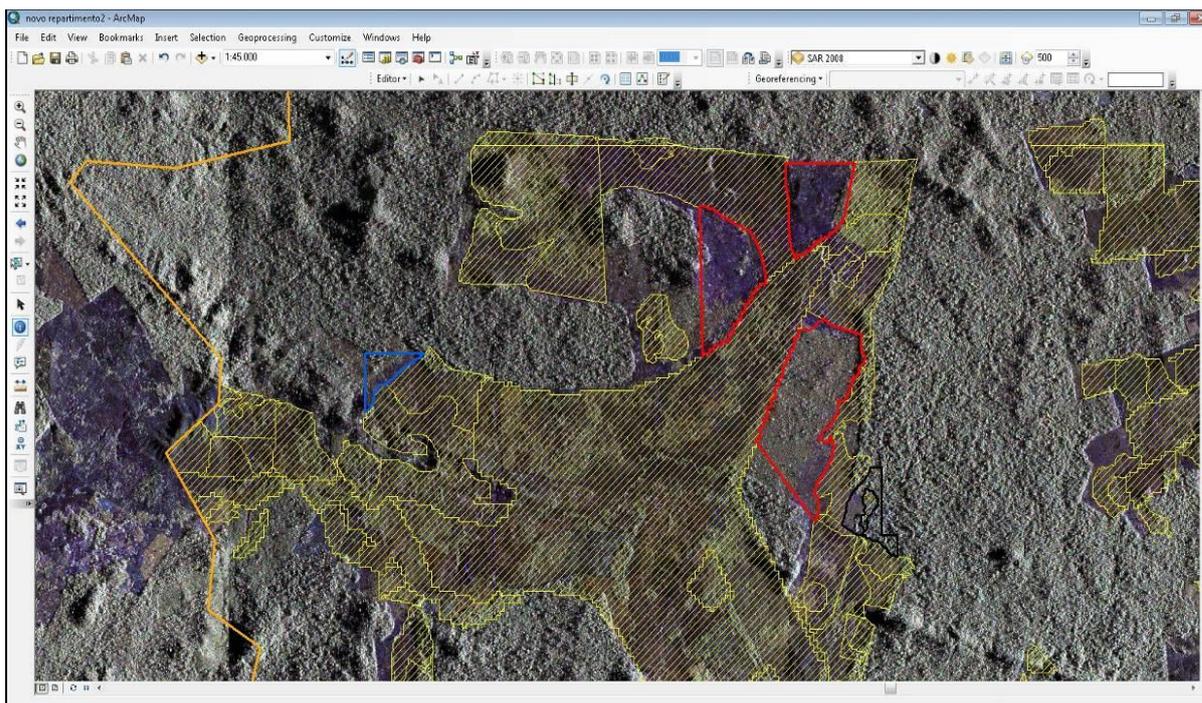


Figura 39. Metodologia utilizada para qualificação dos Alertas DETER (polígonos em vermelho, azul e preto). Os polígonos em amarelo hachurado formam a máscara do PRODES/2007.

Os 149 Alertas DETER emitidos em Novo Repartimento-PA, entre agosto de 2007 e agosto de 2008, foram identificados e analisados sobre as imagens R99-SAR/SIPAM. Desse total, 135 (90,6%) foram confirmados e indicaram áreas desmatadas (Tabela 6).

Tabela 6. Resultado da qualificação dos Alertas DETER.

Período		Alertas DETER	Deteção R99-SAR	%
2007	Agosto	11	11	100
	Setembro	0	0	-
	Outubro	0	0	-
	Novembro	0	0	-
	Dezembro	0	0	-
2008	Janeiro	0	0	-
	Fevereiro	0	0	-
	Março	0	0	-
	Abril	0	0	-
	Maio	15	12	80%
	Junho	18	15	83,4%
	Julho	23	21	91,3%
	Agosto	82	76	92,7%
<b>Total de Alertas</b>		<b>149</b>	<b>135</b>	<b>90,6%</b>

Dentre os alertas analisados, 14 (9,4%) não foram identificados como áreas desmatadas (corte raso) nas imagens R99-SAR/SIPAM. Tais polígonos podem estar relacionados a degradação florestal progressiva, detectados pelo sensor MODIS e de difícil percepção na interpretação visual de imagens do R99-SAR/SIPAM (Figura 40).

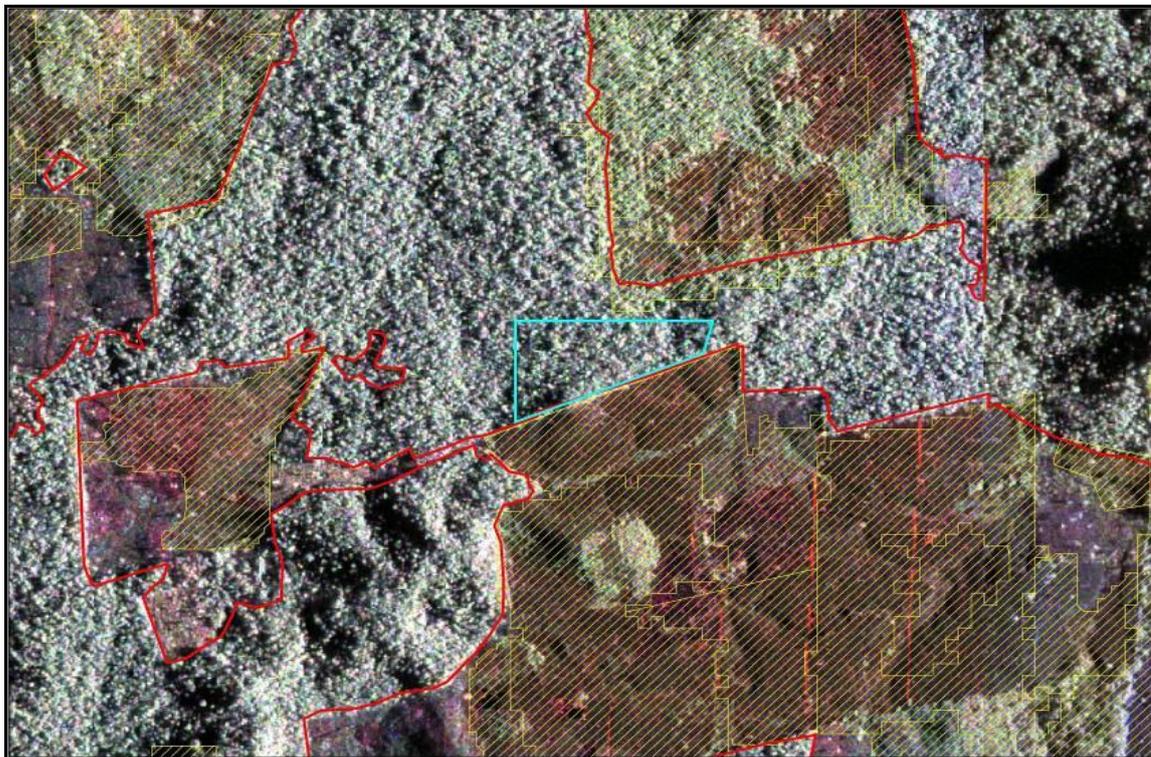


Figura 40. Na cor azul alerta DETER emitido em julho de 2008, não identificado como área desmatada nas imagens R99-SAR/SIPAM. Em vermelho, polígonos de desmatamento da missão SAR-MMA/2008.

O resultado da análise dos dados DETER mostrou que não foram emitidos Alertas no município de Novo Repartimento-PA entre setembro de 2007 e abril de 2008. Sabe-se que nesse período do ano a cobertura de nuvens sobre a Amazônia aumenta demasiadamente, podendo interferir na emissão dos Alertas, tendo em vista que são gerados a partir da coleta de imagens ópticas do sensor MODIS (INPE, 2008).

Junto com os Alertas, o DETER divulga dados de cobertura de nuvens na Amazônia Legal. Para cada composição colorida MODIS interpretada, extrai-se também os polígonos referentes às nuvens. O mapa de nuvens contém as informações de cobertura de nuvens de todas as imagens utilizadas (INPE, 2008).

Baseado nos dados de cobertura de nuvens disponibilizados pelo DETER, foram elaborados mapas que mostraram a cobertura de nuvens sobre Novo

Repartimento-PA no período entre setembro de 2007 e abril de 2008, período sem Alertas DETER no município (Figura 41).

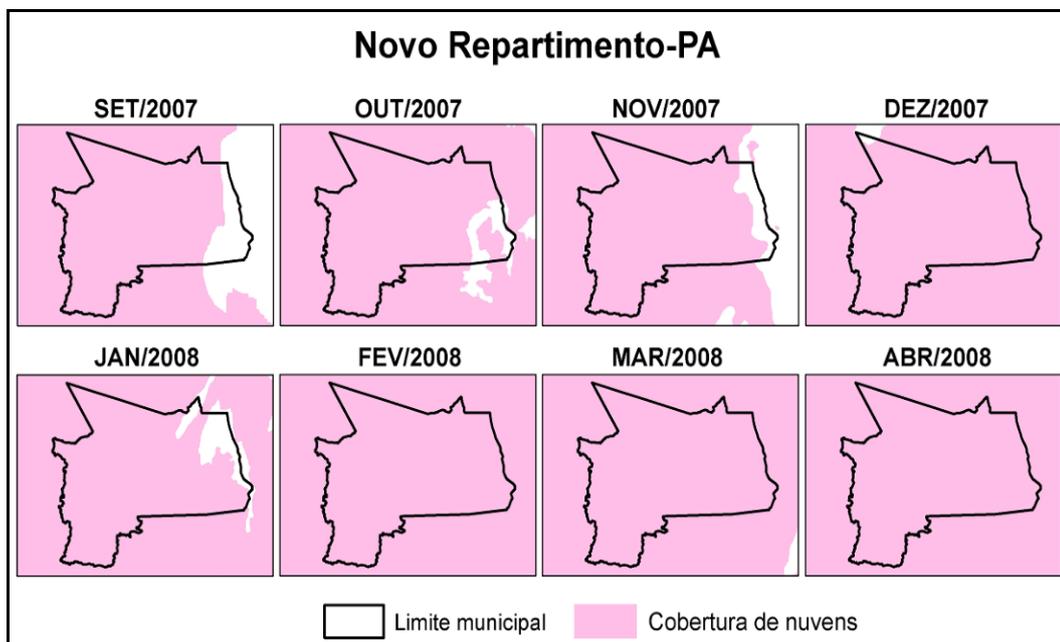


Figura 41. Cobertura de nuvens em Novo Repartimento-PA  
Fonte: INPE/DETER, 2014.

Os mapas de cobertura de nuvens elaborados podem explicar a ausência de Alertas DETER sobre Novo Repartimento-PA no período avaliado. A área total do município permaneceu com mais de 90% de cobertura de nuvens durante esse período. Na porção oeste, região onde o desmatamento é mais intenso, a cobertura de nuvens chegou a 100% nos meses analisados.

Observando os dados de maio a agosto de 2008, percebe-se que ao diminuir a cobertura de nuvens, os Alertas voltaram a ser emitidos. Destaque para o mês de agosto de 2008, quando 82 Alertas foram emitidos no município de Novo Repartimento-PA (Figura 42).

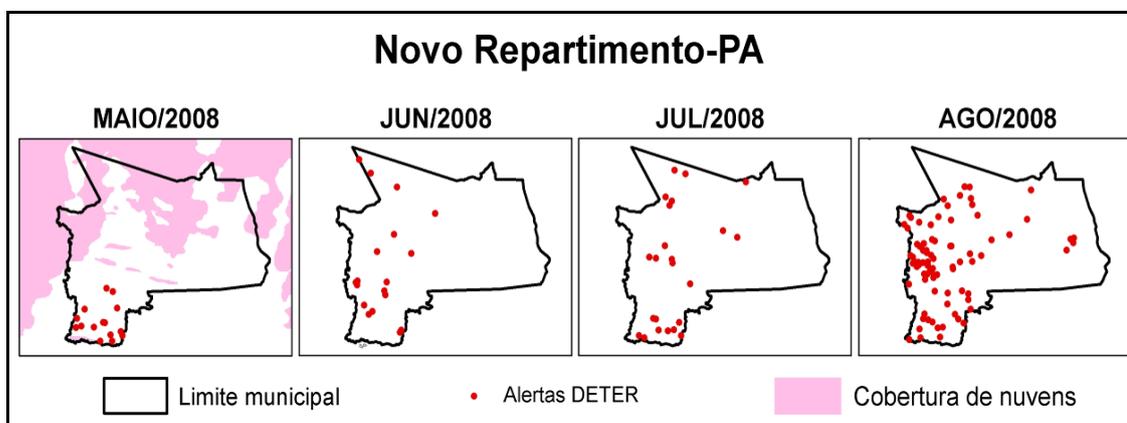


Figura 42. Cobertura de nuvens e Alertas em Novo Repartimento-PA  
Fonte: INPE/DETER, 2014.

## 4.2. Mapeamento e caracterização das áreas desmatadas em Iranduba-AM

### 4.2.1. Evolução do desmatamento em Iranduba-AM (2000-2013)

De acordo com dados do PRODES (INPE, 2013), até o ano de 2000 a área total desmatada no município de Iranduba-AM era de 342,1 km<sup>2</sup>, correspondendo a 15,35% da área do município. Em 2013 a área total desmatada chegou a 485 km<sup>2</sup>, correspondendo a 21,76% da área do município (Figura 43).

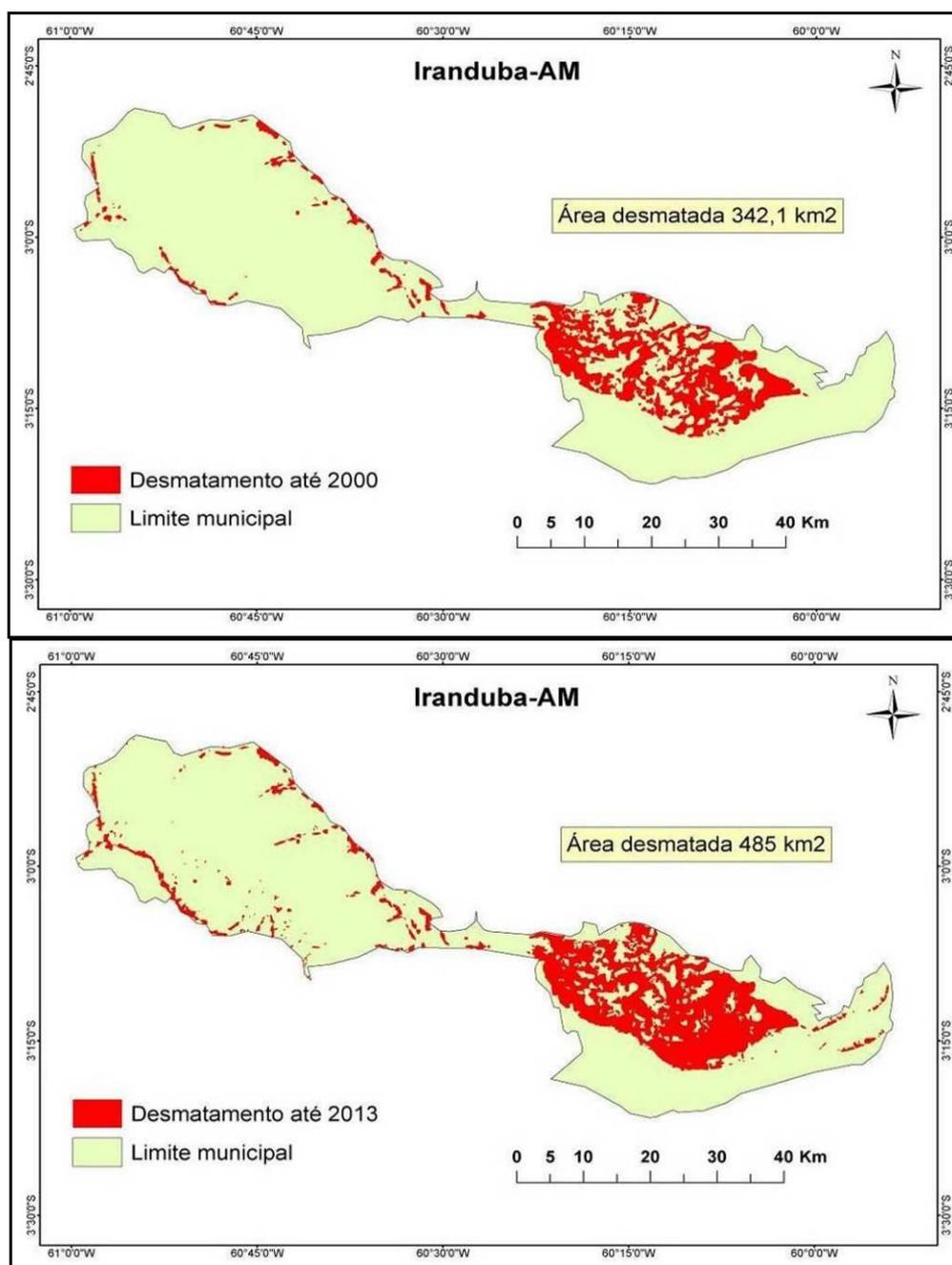


Figura 43. Evolução do desmatamento no município de Iranduba-AM no período de 2000 a 2013.

Fonte: INPE, 2013.

Apesar da maior parte do desmatamento ocorrer no extremo sul do Amazonas, o município de Iranduba vem acompanhando a evolução das taxas de desmatamento no Estado (INPE, 2013).

A Figura 43 mostra a variação das taxas de desmatamento no estado do Amazonas e no município de Iranduba no período entre os anos de 2000 e 2013. A maior incoerência entre as taxas ocorreu no ano de 2009 (em destaque), época em que a Ponte Rio Negro encontrava-se na metade do seu período de construção (2007 a 2011).

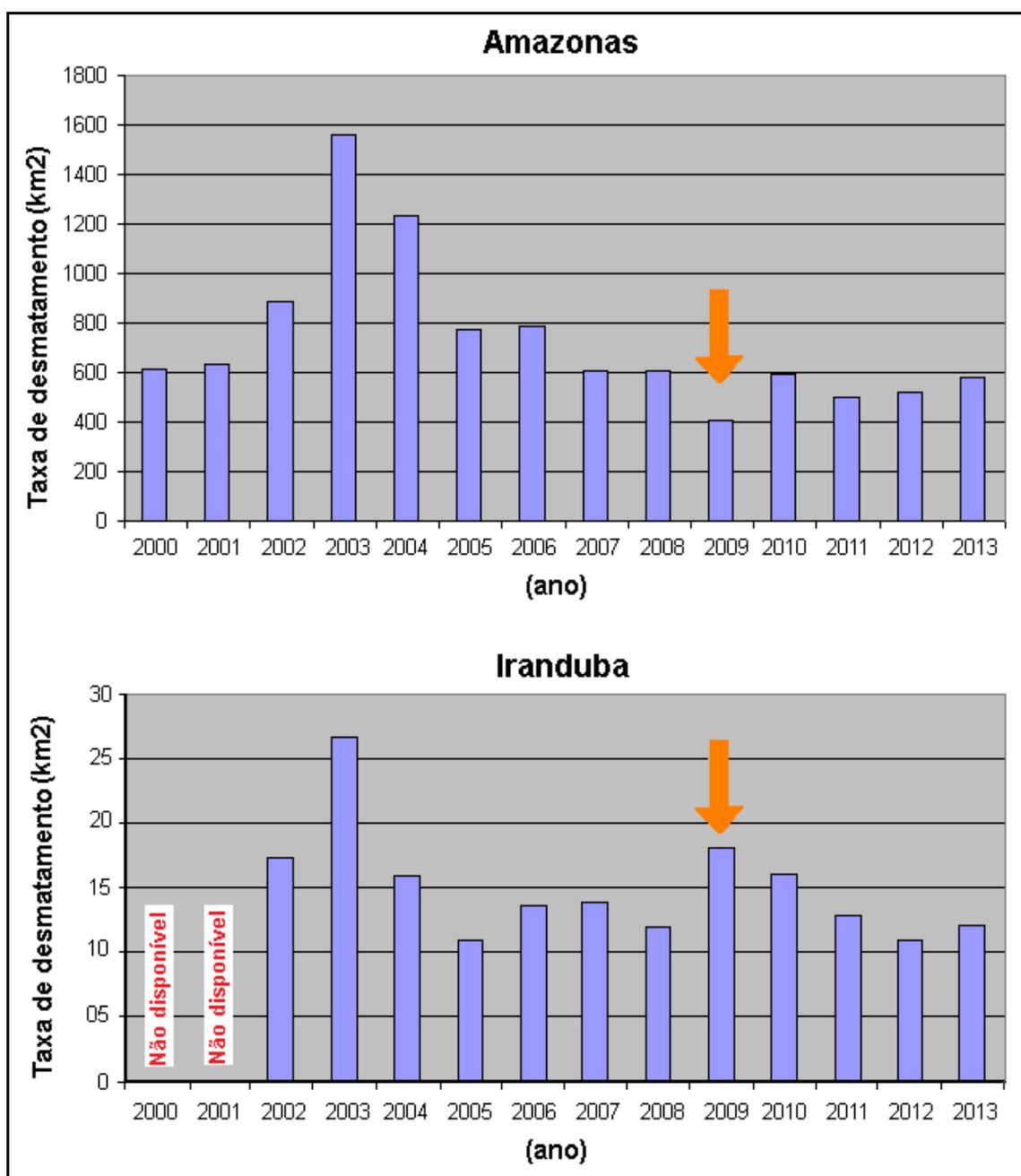


Figura 44. Taxas de desmatamento no Amazonas e Iranduba  
Fonte: INPE, 2013.

#### 4.2.2. Mapeamento com Imagens R99-SAR/SIPAM

Após análise e interpretação visual das imagens do radar R99-SAR/SIPAM foram gerados polígonos que serviram de base para elaboração de um mapa temático de desmatamento no município de Iranduba-AM. Foram mapeados 2.134 polígonos com áreas que variaram entre 0,04 e 525 hectares. A média de tamanho foi de 6,9 hectares. Foram mapeados 1.766 polígonos com menos de 6,25 hectares, limitação do projeto PRODES, que só identifica áreas com desmatamento maiores que 6,25 hectares.

A Figura 45 mostra o mapa de desmatamento gerado pela interpretação visual das imagens R99-SAR/SIPAM, para o município de Iranduba-AM.

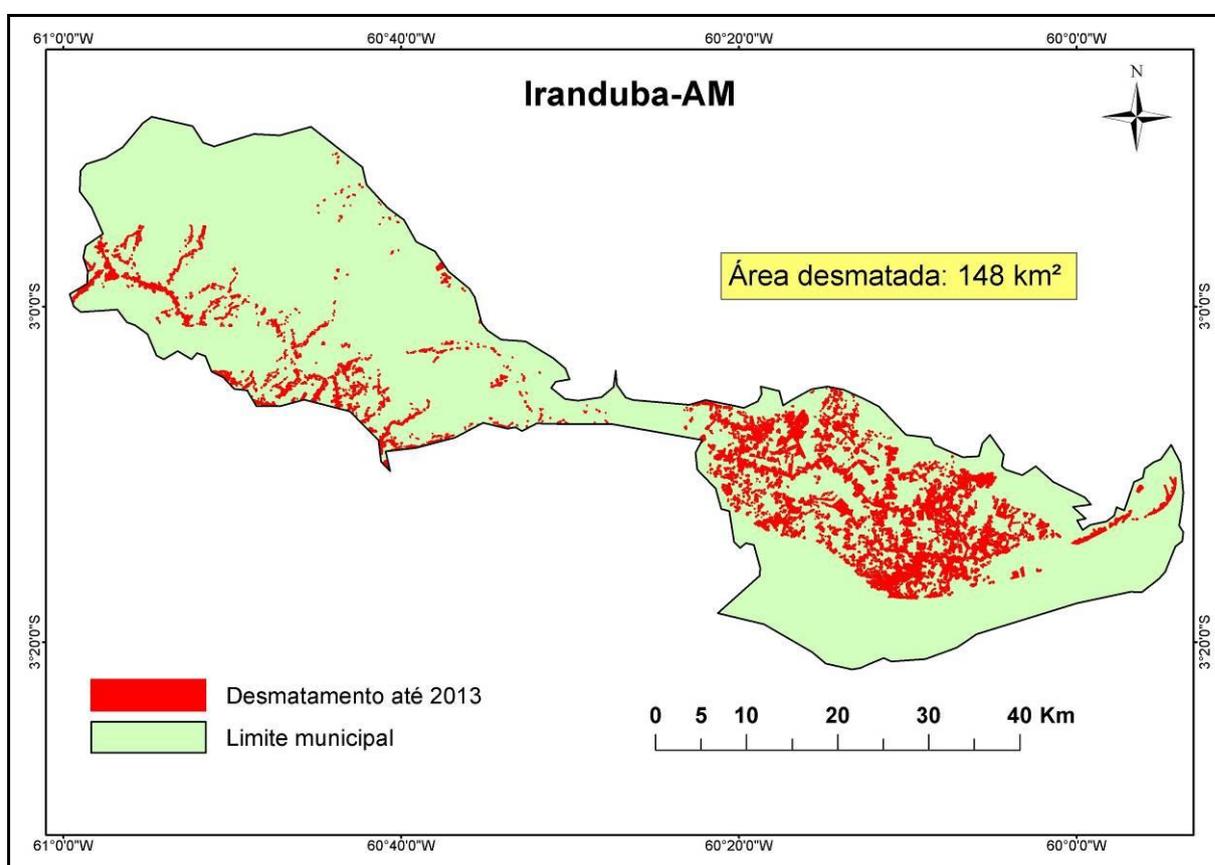


Figura 45. Desmatamento em Iranduba-AM até 2013, mapeado nas imagens R99-SAR/SIPAM.

O resultado do mapeamento com as imagens R99-SAR foi comparado com dados de desmatamento do PRODES acumulado até 2013, referente a área analisada (89% do município de Iranduba). A comparação entre os dois mapeamentos foi feita por análise visual. Polígonos de desmatamento mapeados na imagem SAR e polígonos do PRODES foram sobrepostos num recorte de imagem R99-SAR da área de estudo (Figura 46).

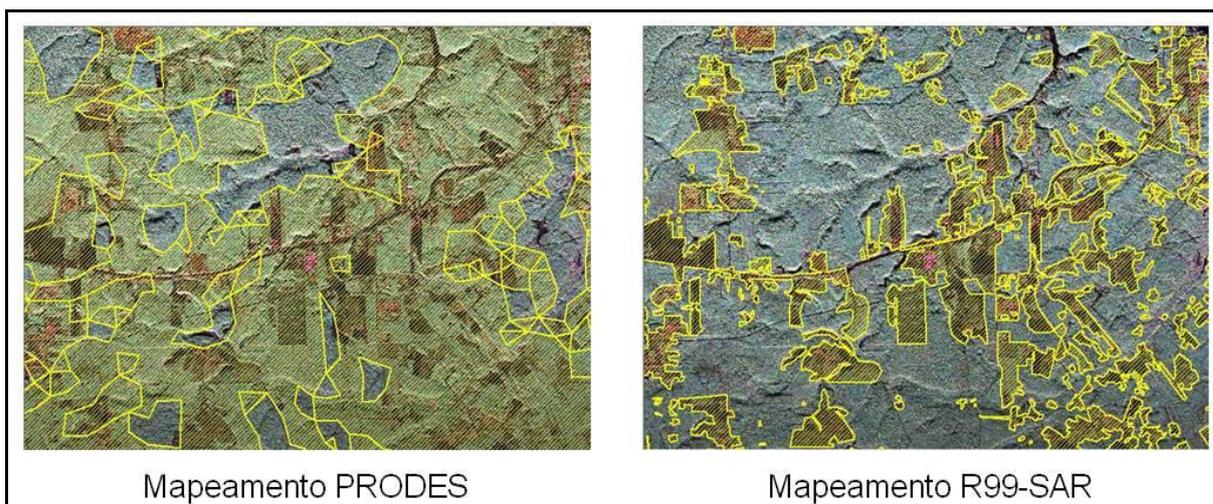


Figura 46. Comparação entre mapeamento PRODES e R99-SAR de uma mesma área no município de Iranduba-AM. Os polígonos amarelos hachurados correspondem a áreas desmatadas (corte raso).

A análise visual mostra que os mapeamentos foram distintos quantitativamente e qualitativamente. O PRODES mapeou 452 km<sup>2</sup> de desmatamento acumulado até 2013 na área analisada dentro do município de Iranduba-AM, enquanto o mapeamento feito com as imagens R99-SAR contabilizou 148 Km<sup>2</sup> de desmatamento para a mesma área.

Algumas áreas interpretadas como vegetadas nas imagens R99-SAR foram mapeadas como desmatamento pelo PRODES. Um dos fatores determinantes para essa diferença é a alta resolução espacial das imagens R99-SAR que permitem um mapeamento mais refinado, distinguindo bem o limite entre as classes.

Deve-se considerar que nas imagens R99-SAR foram mapeados apenas polígonos de desmatamento do tipo corte raso, obedecendo aos critérios da chave de interpretação criada para interpretação visual dos dados. São áreas limpas com pouco ou nenhum tipo de vegetação (áreas com resposta na cor vermelho escuro e textura lisa).

Áreas com algum tipo de vegetação, inclusive de pequeno porte, não foram contabilizadas como desmatamento, pois apresentam cor, tonalidade e textura muito parecidas com vegetação primária e secundária (cor cinza claro esverdeado e textura granulosa), sendo difícil sua identificação visual e diferenciação.

Outro fato que deve ser considerado é que polígonos de desmatamento do PRODES não são atualizados quanto a áreas regeneradas. Áreas que foram consideradas desmatamento do tipo corte raso e mapeadas há mais de vinte anos,

continuam registradas nos dados PRODES com os mesmos parâmetros. Porém algumas dessas áreas já se encontram em processo de regeneração, situação observada na interpretação visual das imagens antigas do satélite LANDSAT 5 comparadas as imagens atuais do LANDSAT 8. Como forma de ratificar tais observações, foi analisada uma imagem LANDSAT 5 do ano de 1989 e uma imagem LANDSAT 8, de 2014 (Figura 47). Nas imagens as áreas com polígonos amarelos mostram áreas regeneradas após 25 anos.

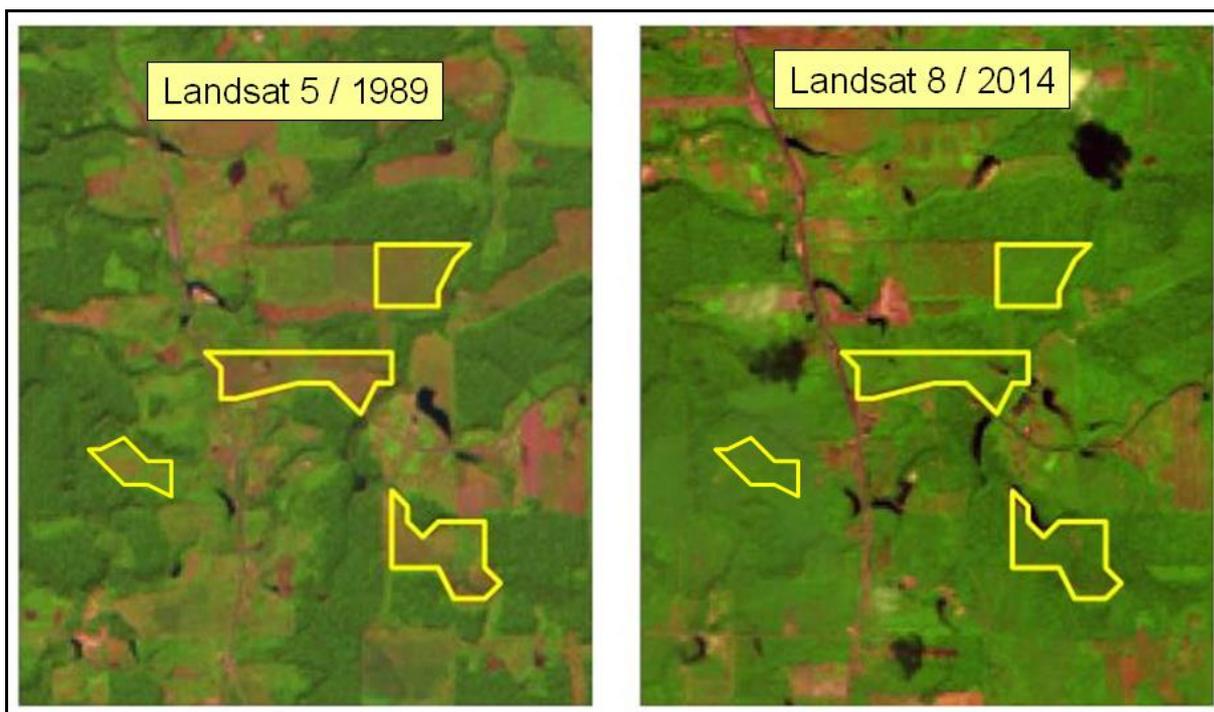


Figura 47. Regeneração da vegetação na área de Iranduba, mostradas nas imagens LANDSAT de 1989 e 2014.

#### 4.2.3. Unidades de Conservação em Iranduba

Unidades de Conservação têm desempenhado um importante papel na conservação de extensas áreas contíguas de floresta, em alguns casos em áreas de expansão acelerada de frentes agropecuárias e madeireiras (VIEIRA et al., 2005).

Parte do município de Iranduba está inserido na Área de Proteção Ambiental (APA) Margem Direita Rio Negro. A APA foi criada em 1995 e tem uma área de 566.365 hectares e faz parte do Corredor Ecológico Central da Amazônia.

O mapa da Figura 48 mostra a unidade de conservação existente em Iranduba-AM e o desmatamento dentro dessas áreas até 2013, mapeado nas imagens R99-SAR/SIPAM.

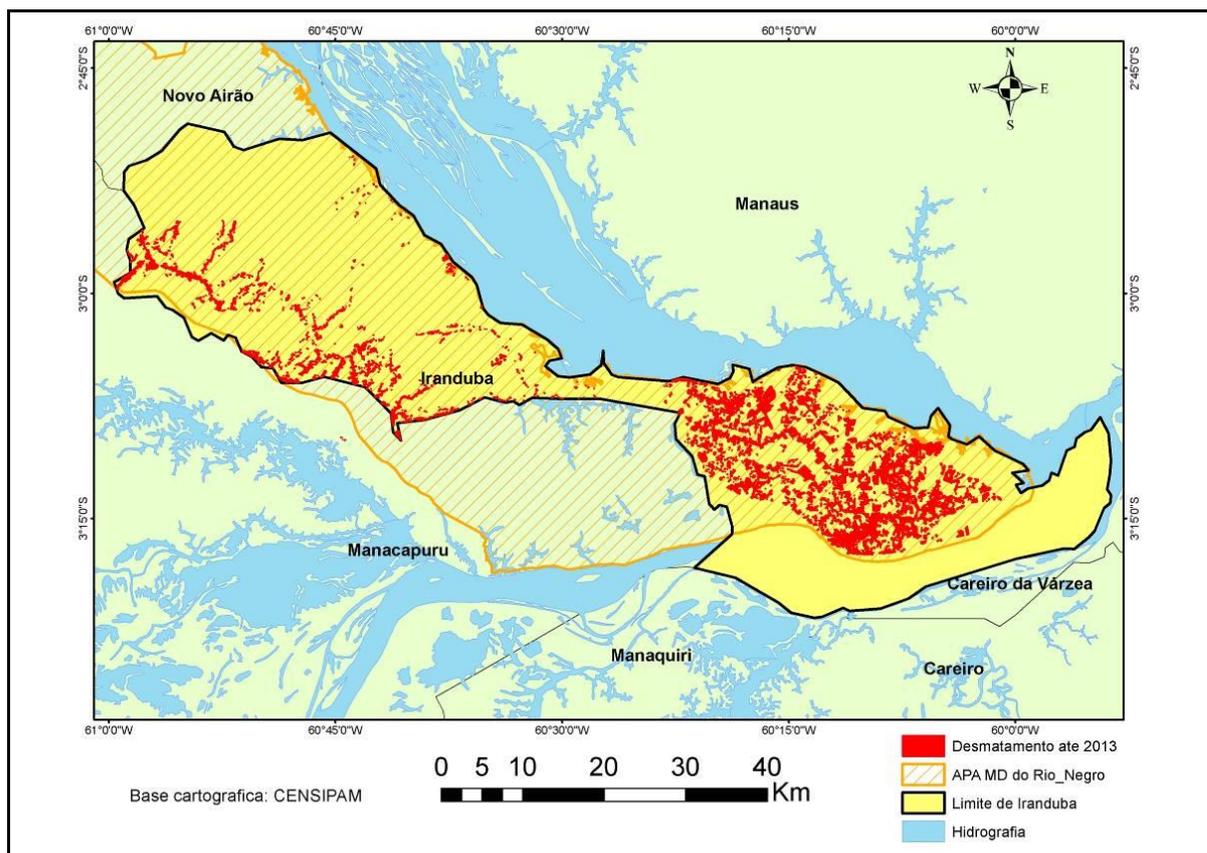


Figura 48. Desmatamento em Iranduba-AM, dentro da APA Margem Direita do Rio Negro.

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), estabelecido pela Lei 9.985 de 18 de julho de 2000, afirma que o objetivo primordial de uma APA é a conservação de processos naturais e da biodiversidade, orientando o desenvolvimento, adequando as várias atividades humanas às características ambientais da área. Podem ser estabelecidas em áreas de domínio público e/ou privado, pela União, estados ou municípios, não sendo necessária a desapropriação das terras. No entanto, as atividades e usos desenvolvidos estão sujeitos a um disciplinamento específico.

De acordo com dados históricos do PRODES, desde a sua criação até o ano de 2013, a APA Margem Direita Rio Negro já havia perdido aproximadamente 678 km<sup>2</sup> de sua cobertura vegetal.

#### 4.2.4. Tipos de uso e cobertura da terra

No trabalho de campo foi verificado que as áreas desflorestadas no município de Iranduba-AM possuem diversos tipos de uso e ocupação. Para auxiliar na caracterização do desmatamento nessas áreas foram utilizados dados do Projeto

TerraClass (INPE, 2014a). O projeto tem por objetivo qualificar o desflorestamento da Amazônia Legal, tendo por base as áreas desflorestadas mapeadas e publicadas pelo Projeto PRODES até o ano de 2012. O Projeto foi realizado em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

A Figura 49 mostra os tipos de uso do solo no município de Iranduba-AM, de acordo com os dados do projeto TerraClass 2012.

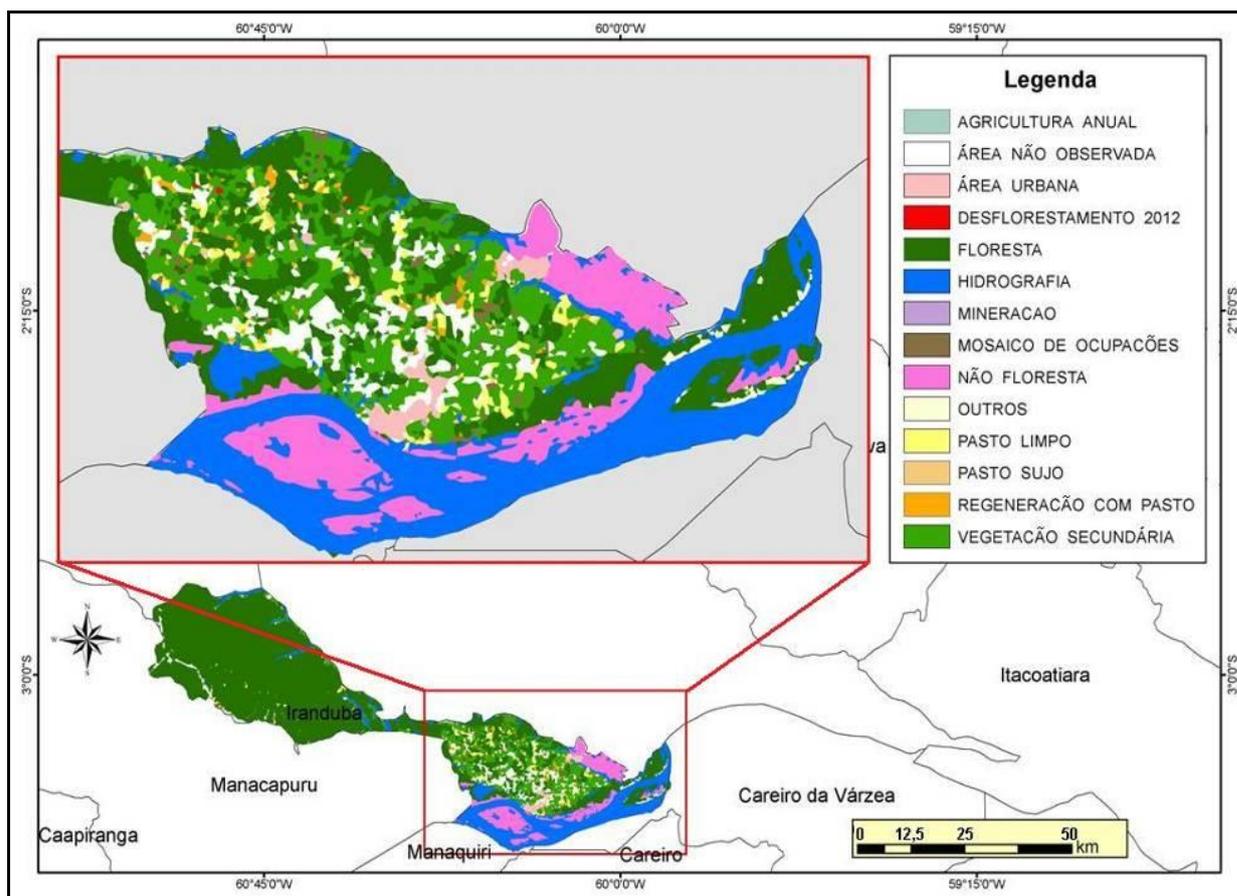


Figura 49. Mapa de uso e cobertura da terra em Iranduba-AM.

Fonte: INPE/TerraClass 2012.

Analisando o gráfico com dados de uso da terra do TerraClass 2012, observa-se que as quatro classes que mais ocorrem em áreas desflorestadas no município de Iranduba são: vegetação secundária, pasto limpo, área urbana e mosaico de ocupações. As duas classes com menor representação no uso de áreas desflorestadas são mineração e agricultura anual (Figura 50).

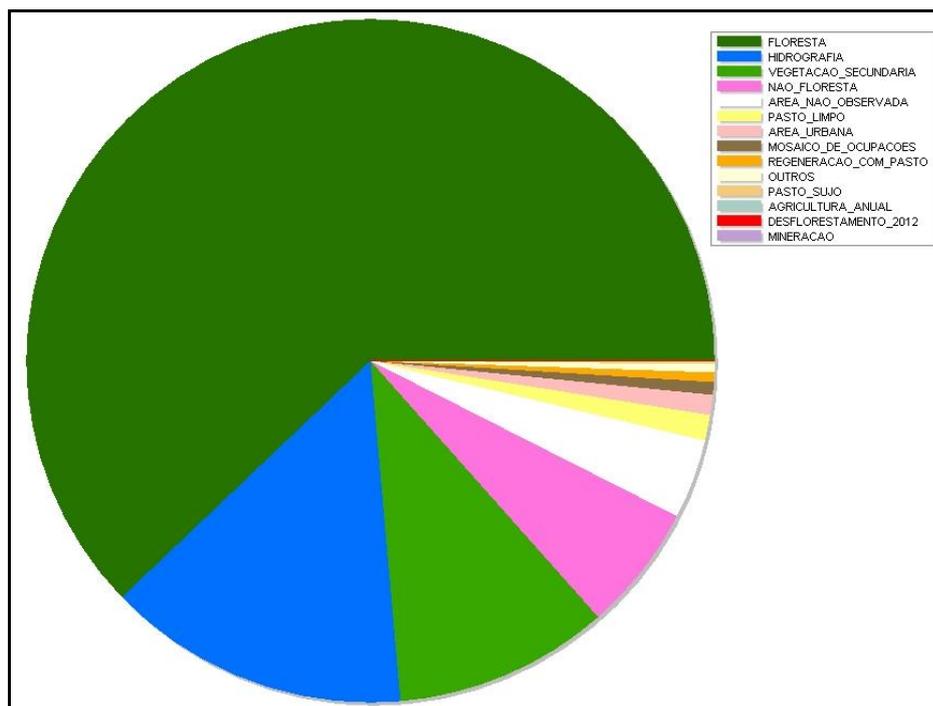


Figura 50. Uso da terra em Iranduba-AM  
Fonte: INPE/TerraClass 2012.

Para melhor compreender as quatro classes que predominam nas áreas desflorestadas de Iranduba, suas características estão abaixo definidas, de acordo com o Projeto TerraClass 2012 (INPE, 2014a):

- *Vegetação secundária*: áreas que, após a supressão total da vegetação florestal, encontram-se em processo avançado de regeneração da vegetação arbustiva e/ou arbórea ou que foram utilizadas para a prática de silvicultura ou agricultura permanente com uso de espécies nativas ou exóticas.
- *Pasto limpo*: áreas de pastagem em processo produtivo com predomínio de vegetação herbácea, e cobertura de espécies de gramíneas entre 90 e 100%.
- *Área Urbana*: manchas urbanas decorrentes da concentração populacional formadora de lugarejos, vilas ou cidades que apresentam infraestrutura diferenciada da área rural apresentando adensamento de arruamentos, casas, prédios e outros equipamentos públicos.
- *Mosaico de ocupações*: áreas representadas por uma associação de diversas modalidades de uso da terra e que devido à resolução espacial das imagens de satélite não é possível uma discriminação entre seus componentes. Nesta classe, a agricultura familiar é realizada de forma conjugada ao subsistema de pastagens para criação tradicional de gado.

## 4.2.5. Desmatamento observado em campo

### 4.2.5.1. Pecuária

Responsável por cerca de 80% de toda área desmatada na Amazônia Legal a expansão da pecuária na Amazônia tem se beneficiado da disponibilidade de terras baratas e, em diversos casos, pela falta de cumprimento da legislação ambiental e trabalhista (FEARNSIDE, 2005).

Durante o trabalho de campo foi constada na área rural do município de Iranduba a existência de diversas propriedades rurais com as terras ocupadas por gado de corte. Esse tipo de uso da terra está inserido principalmente na classe *pasto limpo* (Figura 51).

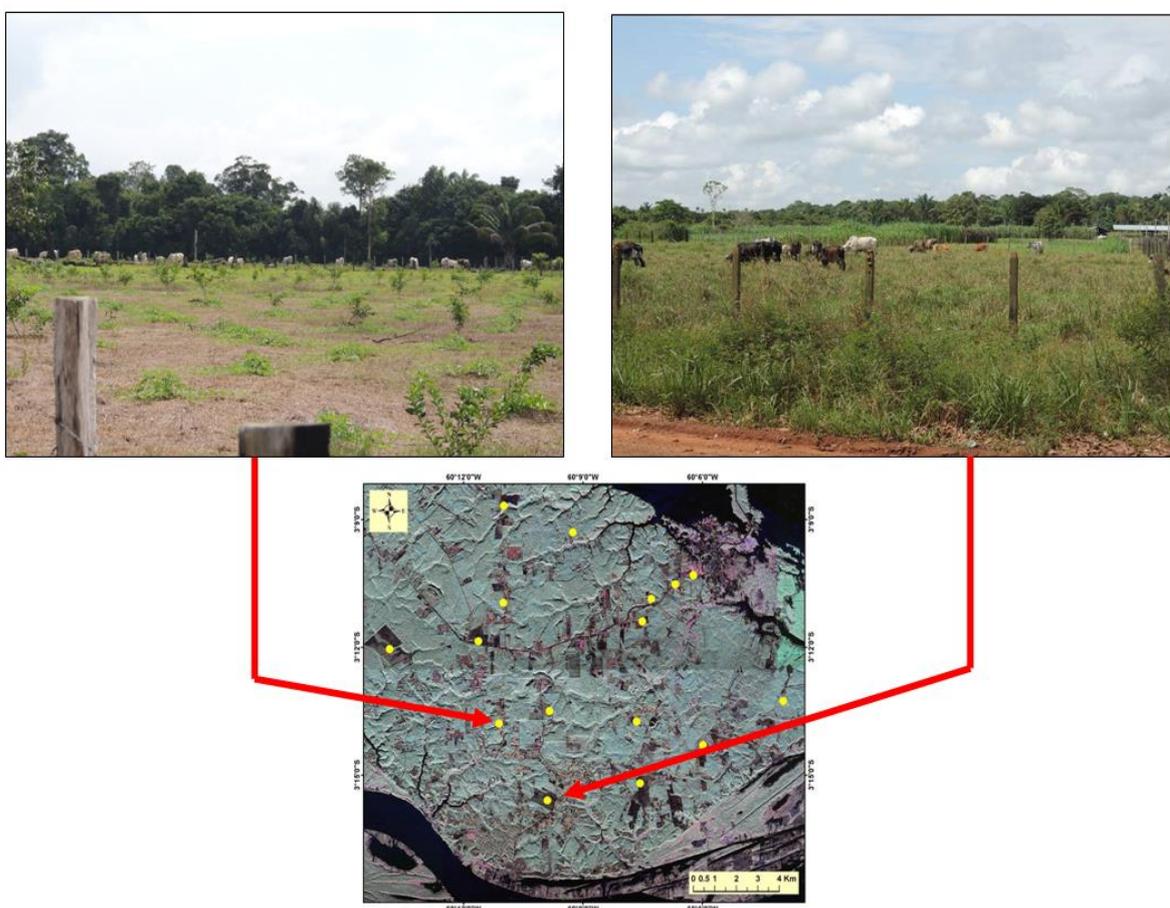


Figura 51. Criação de gado na área rural de Iranduba-AM (Dez, 2014).

### 4.2.5.2. Obras de infraestrutura recentes

Historicamente, os projetos de infraestrutura planejados para a Amazônia brasileira, tais como estradas, usinas hidrelétricas, pontes e hidrovias, tem como objetivo principal o desenvolvimento econômico da região e do país. Atualmente o

município de Iranduba-AM vem passando por grandes mudanças na sua paisagem natural, sofrendo os impactos sócio-ambientais de três grandes obras de infraestrutura: A Ponte Rio Negro, a duplicação da Rodovia AM-070 e construção da Cidade Universitária.

Durante o trabalho de campo foram observadas algumas áreas que sofreram mudanças na cobertura vegetal por conta dessas grandes obras. Os detalhes estão descritos nos tópicos a seguir.

#### **a. Ponte Rio Negro**

A Ponte do Rio Negro foi inaugurada no dia 24 de outubro de 2011 e liga o município de Manaus ao de Iranduba. Possui 3.595 metros de comprimento, sendo a primeira ponte de grandes dimensões a ser construída sobre um rio da Amazônia (AMAZONAS, 2011). A ponte também faz parte da rodovia AM-70, que liga Manaus a Manacapuru (Figura 52).



Figura 52. A Ponte Rio Negro. Ao fundo a capital Manaus.  
Fonte: Jornal Folha de São Paulo (2012)

O aumento na quantidade de novos empreendimentos imobiliários no município de Iranduba é certamente um dos impactos socioeconômicos causados pela Ponte Rio Negro. Essa mudança sócio-espacial era observada mesmo antes de sua inauguração e foi possível verificar *in loco* durante a visita de campo (Figura 53).

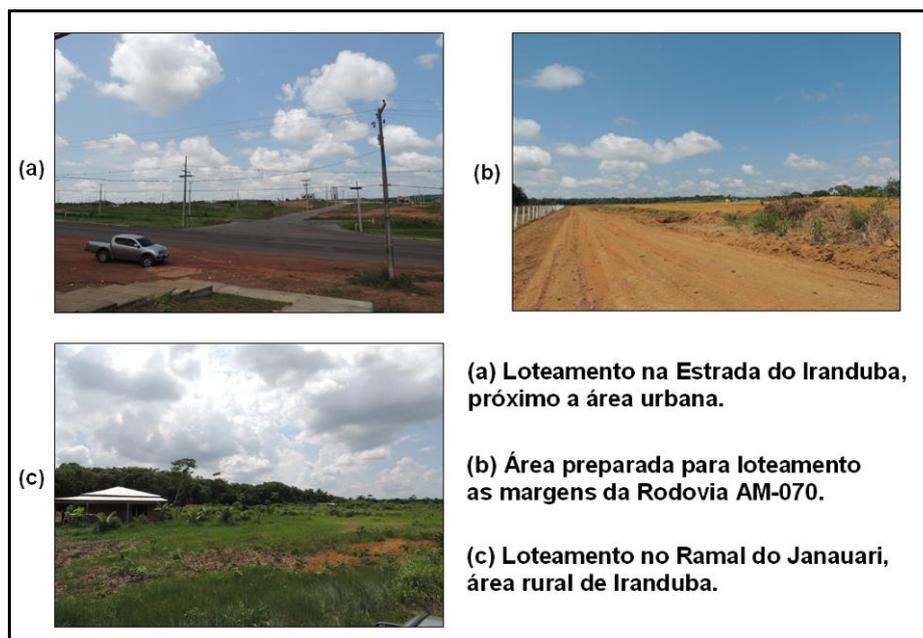


Figura 53. Loteamentos no município de Iranduba (13/Dez/ 2014).

Observando uma série temporal de imagens de alta resolução espacial do Google Earth, constatou-se a evolução do desmatamento no loteamento no Ramal do Januári, visitado em campo no dia 13 de dezembro de 2014. Foram analisadas imagens do ano de 2007, 2011 e 2013 (Figura 54).

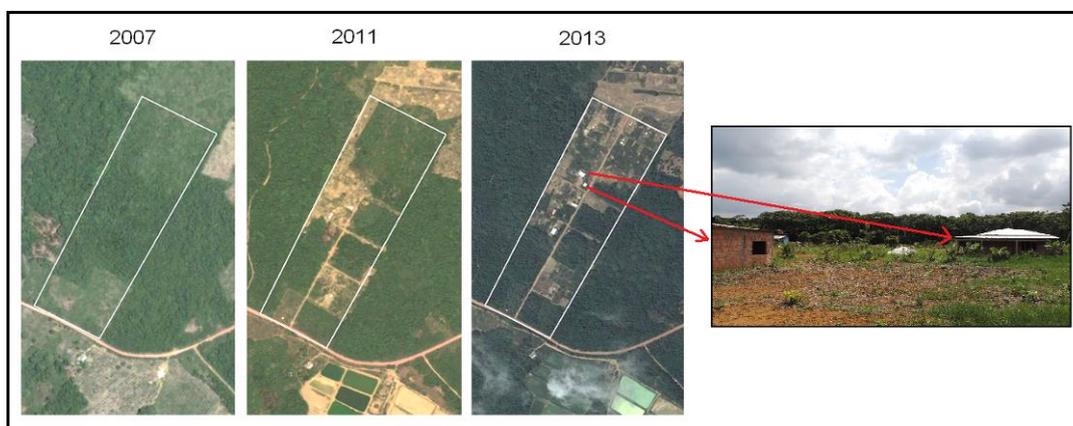


Figura 54. Evolução temporal do desmatamento no loteamento visitado no Ramal do Januári, zona rural de Iranduba-AM  
Fonte: Imagens Google Earth.

## b. Duplicação da Rodovia AM 070

Os impactos ambientais causados pela construção de estradas são motivos de preocupação em regiões onde redes de infraestrutura estão expandindo rapidamente em áreas de alto valor ecológico na Bacia Amazônica (ARIMA, 2005)

Como obra complementar a Ponte Rio Negro, a duplicação da rodovia AM-070 foi iniciada em abril de 2013 e seu asfaltamento já alcançou o km 15 da rodovia

(Figura 55). O serviço de duplicação da rodovia compreende 78 quilômetros, interligando as cidade de Manaus e Manacapuru.

O principal impacto ambiental observado nas imagens R99-SAR e em campo foi a remoção total da cobertura vegetal nas áreas da construção da nova pista.



Figura 55. Obras de Duplicação da Rodovia AM-070  
Fonte: Rodrigues et al., 2014.

### c. Construção da Cidade Universitária da UEA

No dia 12 de julho de 2012, foi lançado pelo Governo do Estado do Amazonas o projeto da Cidade Universitária da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), a ser construída no município de Iranduba-AM (UEA, 2012). Pelo planejamento, a Cidade Universitária irá ocupar uma área de aproximadamente 1.200 hectares (Figura 56).

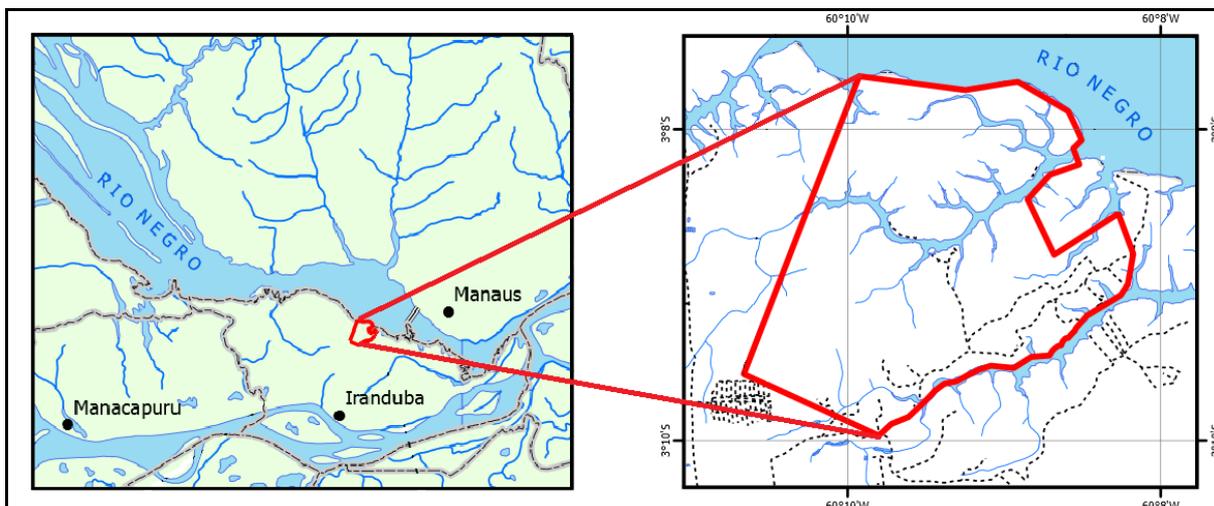


Figura 56. Localização da área onde será construída a Cidade Universitária da Universidade Estadual do Amazonas  
Fonte: Adaptado de IPAAM, 2012.

Apesar de estar pautada numa concepção de Cidade Sustentável, a obra já causa impactos diretos que podem ser observados no alargamento e pavimentação da estrada que dá acesso a cidade universitária. Trata-se de uma faixa de aproximadamente 100 metros de largura e 5.000 metros de extensão. O acesso está localizado no km 07 da rodovia AM-070 (Figura 57).



Figura 57. Via de acesso à Cidade Universitária em Iranduba-AM (13/dez/2014).

Observando as especificações do projeto, conclui-se que futuramente haverá perda da cobertura vegetal nos locais onde serão construídos prédios para funcionamento da estrutura interna do Campus (reitoria, salas de aula, laboratórios e alojamentos). Além da estrutura interna, as obras no entorno também causarão supressão de áreas verdes.

As obras de infraestrutura recentes influenciaram na mudança da configuração espacial em Iranduba-AM, aumentando sua área urbana. Analisando o crescimento urbano de Iranduba-AM, percebe-se uma tendência de que futuramente sua malha urbana junte-se a cidade de Manaus-AM, formando uma única mancha urbana, separadas apenas pela Ponte Rio Negro, caracterizando assim um processo de conurbação. Esse processo é a unificação da malha urbana de duas ou mais cidades, em consequência de seu crescimento geográfico (IBGE, 2014).

## CAPÍTULO 5

### 5. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos neste estudo, pode-se afirmar que as imagens R99-SAR/SIPAM podem contribuir como dados complementares ao Programa de Monitoramento Florestal Brasileiro.

A metodologia aplicada através da interpretação visual das imagens R99-SAR/SIPAM para identificar polígonos do DETER mostrou-se adequada para qualificação dos Alertas, considerando a média de identificação de 90,6% dos dados analisados.

A grande ocorrência de nuvens sobre a Amazônia durante mais da metade do ano dificulta sobremaneira a aquisição de dados ópticos e conseqüentemente o monitoramento do desmatamento.

A pesquisa revelou que as imagens de alta resolução do R99-SAR/SIPAM, além de não sofrerem interferência de nuvens, podem mapear áreas desmatadas menores que 6,25 hectares, identificando áreas que não são detectadas pelos sensores utilizados na qualificação dos alertas DETER.

Em Iranduba-AM, os trabalhos de campo revelaram que existem grandes áreas desflorestadas sem cultivo ou pecuária. Além disso, houve um aumento no surgimento de novos loteamentos, possivelmente incentivados pelas obras de infraestrutura recentes no município.

Para implementação dos dados R99-SAR/SIPAM no programa Monitoramento da Amazônia por Satélites do INPE, sugere-se que as imagens passem pelo processo de correção do padrão de antena, técnica de correção radiométrica que garante uma homogeneização do brilho da imagem no sentido de alcance.

Considerando que o processo de interpretação visual requer analistas experientes e dependendo da dimensão da área de estudo e da escala de análise, pode consumir uma grande quantidade de horas de trabalho, sugere-se que novas pesquisas sejam realizadas com classificadores automáticos destinados a imagens de radar, visando automatizar o processo de mapeamento do desmatamento utilizando imagens R99-SAR/SIPAM.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABER, J. D.; MELILLO, J. M. **Terrestrial ecosystems**. San Diego: Academic Press, 2001. 556p.

ABOUD NETA, S. R. **Uso de imagens ALOS/PALSAR multipolarizadas para detecção de incremento de desflorestamento na Amazônia**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos. 2009.

AGEITEC. Agência EMBRAPA de Informação Tecnológica. **Latossolos Amarelos**. Disponível em <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONT000fzyjaywi02wx5ok0q43a0r58asu5l.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000fzyjaywi02wx5ok0q43a0r58asu5l.html)> acesso em 23/03/2015.

ALMEIDA FILHO, R.; ROSENQVIST, A.; SHIMABUKURO, Y. E.; SILVA GOMEZ, R. **Detecting deforestation with multitemporal L-band SAR imagery: a case study in western Brazilian Amazon**. International Journal of Remote Sensing, v.28, n. 6, 2007.

ALVES, D. S. **Space-time dynamics of Amazonian deforestation**. International Journal of Remote Sensing. 2002, vol. 23, nº 14.

AMAZONAS - 2011. Site oficial do Governo do Estado. **Governo do Amazonas inaugura ponte Rio Negro, um marco para a integração da Região Metropolitana de Manaus**. Disponível em <http://www.amazonas.am.gov.br>. Acesso em 26/03/2014.

ANDRADE, N. S. O., SANTA ROSA, A. N. **O novo sistema SAR multipolarimétrico aerotransportado brasileiro**. In: 1a Reunião de Coordenação das Atividades de Planejamento, Execução e Produção de Imagens de Missões de Sensoriamento Remoto Realizadas Pelas aeronaves R-99 B e R-95. 2005. Brasília – DF. CD-Rom. 24p.

ANGELIS, C.F., FREITAS, C.C., VALERIANO, D.M. and DUTRA, L.V., 2002, **Multitemporal analysis of land use/land cover JERS-1 backscatter in Brazilian tropical rainforest**. International Journal of Remote Sensing, 23, pp. 1231–1240.

AMARAL, S.; VALERIANO, D.M.; GILDARDO, A. S.; XIMENES, A. C.; SOUZA, A. F. **Imagens ALOS/PALSAR Kyoto & Carbon no programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Natal, RN, Brasil, 2009, INPE p.5065-5072.

ARPA. **Programa Áreas Protegidas da Amazônia, Manual Operacional - fase 2** 2010/2015. Brasília, 2011. Disponível em [http://www.programaarpa.gov.br/wp-content/uploads/2012/10/mop\\_arpa\\_16jan2012.pdf](http://www.programaarpa.gov.br/wp-content/uploads/2012/10/mop_arpa_16jan2012.pdf) (acessado em 21/10/2013)

ASNER, G. P. **Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon**. International Journal of Remote Sensing, preview article, p. 1-8, 2001.

BRASIL (1989). Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas 1961-1990**. Brasília. 1992.

BRASIL – Ministério da Integração Nacional. **Plano de Desenvolvimento Regional Sustentável do Lago de Tucuruí**. Brasília-DF. Disponível em <http://www.integracao.gov.br/publicacoes-sdr> acesso em 18/04/2015.

CCRS. Canada Centre for Remote Sensing. Tutorial: **Fundamentals of remote sensing**. 2007. Disponível em <[http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals\\_e.pdf](http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf)>. Acesso em 26 nov 2014.

CÂMARA, G.; VALERIANO, D. M.; SOARES, J. V. **Metodologia para o cálculo da taxa anual de desmatamento na Amazônia Legal**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais–INPE. São José dos Campos. 2006. (Revisado por Marisa da Motta em abril de 2010 e por Luis Maurano em outubro de 2013)

CENSIPAM- Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia. **Relatório Técnico Final Missão SIPAM/SAR-MMA 2008**. Brasília-DF, Dezembro de 2008.

CONGALTON, R. G. e GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**. New York: Lewis Publishers. 1999. 137 p.

COSTA, J. A. L. **Avaliação de dados de radar do sensor SAR-R99B no mapeamento do uso e cobertura da terra na Amazônia Central, município de Manaus, AM**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) Universidade Federal do Amazonas, 2011.

COSTA, S. S.; CAMPOS, M. A. A.; ROGÉRIO, A. P. C. **Imageamentos realizados pelo sistema aerotransportado SAR/SIPAM**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil. 2007, INPE, p. 6661-6665.

COSTA, S. S. . et al.. **Operação Arco Verde: Análise do desmatamento por meio de imagens do SIPAM R99/SAR**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto -SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 2011, INPE p.2997.

DALLEMAND, J.F.; LICHTENEGGER, J.; RANEY, R.K.; SCHUMANN, R. **Radar imagery: theory and interpretation: lecture notes**. Rome: FAO/ESA, 1993. (RSC Series 67).

INPE - COORDENAÇÃO GERAL DE OBSERVAÇÃO DA TERRA. **Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites**. SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 20 DE JUNHO DE 2008.

DETER, 2014 (Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real) Disponível em: < <http://www.obt.inpe.br/deter/>> Acesso em 21 de março de 2014.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPQ, 2006. 306p.

ESCADA, M. I. S.; MAURANO, L. E.; RENNÓ, C. Dom; AMARAL, S.; VALERIANO, D. M. **Avaliação de dados dos Sistemas de Alerta da Amazônia: DETER e SAD**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. Anais. São José dos Campos: INPE, 2011. P. 2934-2943. DVD.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcGis Resource Center - Stretch function**. 2013. Disponível em <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0> acesso em 21/12/2014.

FIGUEIREDO, G. C. **Exatidão posicional e temática de imagens orbitais**. 2007. Dissertação de Mestrado . Viçosa, MG , 2007.

FONSECA, J. S. 2005. **Aeronaves de sensoriamento remoto do Sistema de Vigilância da Amazônia**. In: 1a Reunião de Coordenação das Atividades de Planejamento, Execução e Produção de Imagens de Missões de Sensoriamento Remoto Realizadas Pelas aeronaves R-99 B e R-95. Brasília – DF. CD-Rom. 10 p.

GLOBE SAR. **Canada Centre for Remote Sensing**. Disponível em: [http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/rd/programs/globsar/gsarmain\\_e.html](http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/rd/programs/globsar/gsarmain_e.html). Acesso em: 28 de setembro de 2014.

GUERRA, Júlio Bandeira; MURA, José Claudio and FREITAS, Corina da Costa. **Discriminação de incrementos de desflorestamento na Amazônia com dados SAR R99B em banda L**. *Acta Amazonica*. 2010, vol.40, n.3, pp. 557-565. ISSN 0044-5967.

HALL, A. **Environment and Development in Brazilian Amazonia: From Protectionism to Productive Conservation**. In: HALL, A. (Ed.) Amazonia at the Crossroads: The challenge of sustainable development. London: ILAS, 2000, p. 99-114.

IBGE, 2002a. **Mapa de Geomorfologia** – Manaus – Folha SA20.

IBGE, 2002. **Mapa de Vegetação do Brasil**. Atlas Nacional do Brasil - 4ª edição

IBGE, 2006 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) Acesso em: 19 de março de 2014.

IBGE, 2014 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) – **IBGE Cidades**. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) Acesso em: 21 de março de 2014.

IBRACON. **Ponte estaiada sobre o Rio Negro**. 2010. Disponível em [www.ibracon.org.br/eventos/52cbc/henrique\\_domingues.pdf](http://www.ibracon.org.br/eventos/52cbc/henrique_domingues.pdf) acesso 19/07/2014.

Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON). **Boletim Transparência Florestal**. Agosto de 2010. Disponível em: <http://www.imazon.org.br/>. Acesso em 14 de dezembro de 2013.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. BDMEP – **Banco de Dados meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em <http://www.inmet.gov.br.portal/index.php> acesso em 28 jan 2015.

INPE. **Relatório Técnico Científico**. S.J. dos Campos – 2008.

INPE. **PRODES 2014: Divulgação da taxa estimada de desmatamento da Amazônia Legal para período 2013-2014**. Brasília/DF, 26 de novembro de 2013. Disponível em [http://www.obt.inpe.br/prodes/Prodes\\_Taxa2014\\_estimativa.pdf](http://www.obt.inpe.br/prodes/Prodes_Taxa2014_estimativa.pdf). Acesso em 15 set 2014.

INPE. **PROJETO TERRACLASS 2012. Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra na Amazônia Legal Brasileira**. Brasília. 2014a. Disponível em [http://www.inpe.br/cra/projetos\\_pesquisas/TerraClass\\_2012\\_26nov2014.pdf](http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/TerraClass_2012_26nov2014.pdf) acesso em: 25 ago 2014.

IPAAM – Estudo Prévio de Impacto Ambiental- Cidade Universitária, Iranduba-AM. 2012. Disponível em < <http://www.ipaam.am.gov.br/arquivos/download/> > acesso em 21/03/2015.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução da 2a. edição. J. C. N. EPIPHANIO (org.). São José dos Campos: Parêntese Editora.

JUNIOR, H. N. M.; SILVA, M. C.; WATANABE, N. Y.; ESTEVES, L. R. **Aplicações de sensoriamento remoto para o monitoramento do desmatamento da Amazônia**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 6835-6842.

KUNTZ, S., SIEGERT, F. (1999). **Monitoring of deforestation and land use in Indonesia with multitemporal ERS data**. International Journal of Remote Sensing. n.20, p.2835-2853.

KUPLICH, T. M. 2003. **Estudos florestais com imagens de Radar**. Espaço & Geografia, v. 6, n. 1, 65:90, ISSN: 1516-9375, p. 71-96.

KUX, H.J.H.; SANTOS, J.R.; AHERN, F.J.; PIETSCH, R.W.; LACRUZ, M.S.P. **Evaluation of RADARSAT-1 for Land Use and Land Cover Dynamics in the Southwestern Brazilian Amazon State of Acre**. Canadian Journal of Remote Sensing, v.24, n.4, p.350-359, Dec. 1998.

LECKIE, D. G., RANSON, K. J. (1998). **Forestry applications using imaging radar**. In: **Principles and Applications of Imaging Radar**. (F. M. Henderson, and A. J. Lewis, Eds.). New York: John Wiley, p. 435-509.

LE TOAN, T., PICARD, G., MARTINEZ, J. M., MELON, P., DAVIDSON, M.. **On the relationships between radar measurements and forest structure and biomass**. In: III International Symposium on Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR data for Land Applications. 2002. Sheffield, UK: ESA (ESA SP-475), p. 3-12.

LUCKMAN, A., BAKER, J., KUPLICH, T. M., YANASSE, C. C. F., FRERY, A. **A study of the relationship between radar backscatter and regenerating tropical forest biomass for spaceborne SAR instruments.** Remote Sensing of Environment. 1997. n. 60, p.1-13.

MMA- Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal.** Disponível em <http://www.mma.gov.br/florestas/controle-e-prevencao-do-desmatamento/plano-de-acao-para-amazonia-ppcdam>> acesso em 18/01/2015.

MURA, J.C. **Geocodificação automática de imagens de radar de abertura sintética interferométrico: sistema Geo-InSAR.** 2000. 160 p. (INPE-8209-TDI/764). Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2000.

NEPSTAD, D., SOARES, B. S., MERRY F., LIMA, A., MOUTINHO, P., CARTER, J., BOWMAN, M., CATTANEO, A., RODRIGUES, H., SCHWARTZMAN, S., McGRATH, D. G., STICKLER, C. M., LUBOWSKI, R., PIRIS-CABEZAS, P., RIVERO, S., ALENCAR, A., ALMEIDA, O., STELLA, O.: **The end of deforestation in the Brazilian Amazon,** Science, 326, 5958 doi:10.1126/science, 2009.

NEPSTAD, D.; CARVALHO, G.; BARROS, A. C.; ALENCAR, A; CAPOBIANCO, J. B.; BISHOP, J; MOUTINHO, P.; LEFEBVRE, P.; SILVA, U. L.. **Road Paving, Fire Regime Feedbacks, and the Future of Amazon Forests.** *Forest Ecology and Management*, 5524, pp. 1-13. 2001.

PARADELLA, W.R.; SANTOS, A.R; VENEZIANI, P.; CUNHA, E.S. **Radares Imageadores nas Geociências: Estado da Arte e Perspectivas.** Revista Brasileira de Cartografia, n. 57/01, p.56-62, 2005.

PRODES, 2007 (**Projeto PRODES - Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**) Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>> Acesso em: 19 de março de 2014.

PRODES, 2013 (Projeto PRODES - Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite) Disponível em: <[www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php](http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php)> Acesso em: 19 de março de 2014.

Portal Amazônia: **Autorizada início das obras da ponte sobre o Rio Negro** (4 de Dezembro de 2007). Página visitada em 20 de março de 2014.

RIGNOT, E., SALAS, W. A., SKOLE, D. L.. **Mapping deforestation and secondary growth in Rondonia, Brazil, using imaging radar and Thematic Mapper data.** Remote Sensing of Environment. 1997. n. 59, p.167-179.

ROSENQVIST, A.; MILNE, A.; LUCAS, R.; IMHOFF, M.; DOBSON, C. **A review of remote sensing technology in support of the Kyoto Protocol.** Environment Science & Policy, v. 6, n. 5, p. 441-455, out. 2003.

SAATCHI, S. S.; SOARES, J. V.; ALVES, D. S. **Mapping deforestation and land use in Amazon rainforest by using SIR-C imagery**. Remote Sensing of Environment, 1997. (59)2: 191-202.

SABINS JR, F. F. **Remote sensing: principles and interpretation**. 3. ed. New York: W.H. Freeman and Company, 1996. 494p.

SANT'ANNA, S. J. S. **Avaliação do desempenho de filtros redutores de "speckle" em imagens de radar de abertura sintética**. 1995. 209 p. (INPE-6125-TDI/586). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1995.

SANTOS, J. R., LACRUZ, M. S. P., ARAÚJO, L. S.. **Savanna and tropical rainforest biomass estimation using JERS-1 data**. International Journal of Remote Sensing. 2002. n.23, p.1217-1229.

Shimabukuro, Y.E.; Duarte, V.; Moreira, M. A.; Arai, E.; Rudorff, B.F.T.; Anderson, L.O.; Espírito Santo, F.D.; Freitas, R.M.; 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**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005, 54p. (INPE-12288-RPE/796).

Shimabukuro, Y.E.; Duarte, V.; Anderson, L.O.; Valeriano, D.M.; Arai, E.; Freitas, R.M.. **Near real time detection of deforestation in the Brazilian Amazon using MODIS imagery**. Revista Ambi-Agua, v. 1, 37-47, 2006.

SKOLE, D.L.; CHOMENTOWSKI, W.H.; SALAS, W.A.; NOBRE, A.D. **Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia**. 1994. Disponível em: <<http://www.trfic.msu.edu/overview/papers/bioscience1/>> Acesso em: 22 de julho. de 2014.

SOARES, P.C., FIORI, A.P. 1976. **Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia**. Noticiário Geomorfológico, v.16, n.32, p. 71-104.

SPRING-DPI/INPE. **Tutorial de Geoprocessamento**. Novembro 2014. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao\\_sen.html](http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_sen.html)>

ULABY, F.T.; BATLIVALA, P.P. **Optimum radar parameters for mapping soil moisture**. IEEE Transactions Geoscience Electronics, v. 14, n. 2, p. 81-93, 1976.

ULABY, F.T.; MORE, R.K.; FUNK, A.K. **Microwave remote sensing: active and passive**. Reading, Addison-Wesley, 1982. v.2. 360p.

ULABY, F.T.; DOBSON, M.C. **Handbook of radar scattering statistics for terrain**. Norwood, MA, Artech House, 1989. 357p.

USGS- United States Geological Survey. **LANDSAT Missions**. 2013. Disponível em <<http://earthexplorer.usgs.gov/>> Acesso em 24 out 2013.

VALERIANO, D. M.; SHIMABUKURO, Y. E.; DUARTE, V.; ANDERSON, L. O.; ESPIRITO-SANTO, F.; ARAI, E.; MAURANO, L. E.; SOUSA, R. C.; FREITAS, R. M.; AULICINO, L. **Detecção do desflorestamento da Amazônia Legal em tempo real - Projeto DETER**. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3403-3409.

VENEZIANI, P., ANJOS, C. E. 1982. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia**. São José dos Campos: (INPE2227-MD/014).

VIEIRA, C. A. O.; P. M. MATHER e P.A.F. BORGES. **Assessing the positional accuracy of remotely sensed products**, In Anais 5th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, Melbourne, Australia, 2002.

VIEIRA, I. C. G., SILVA, J. M. C. e TOLEDO, P. M. **Estratégias para evitar a perda de biodiversidade na Amazônia**. Estudos Avançados, v. 19, n. 54, p. 153-164, 2005.